



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

*ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS  
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*

***“Diseño y construcción de un sistema de Aire  
Acondicionado para prácticas estudiantiles en la carrera  
de Ing. Electromecánica de la U.N.L.”***

**Tesis de Grado previa la  
Obtención del Título de  
Ingeniero en Electromecánica**

**AUTORES:**

*Julio Amideo Jumbo Quichimbo  
Ramiro Homero Macas Curipoma*

**DIRECTOR:**

*Ing. Darwin Gionanny Tapia Peralta*

*Loja-Ecuador  
2009*



## CERTIFICACIÓN

Ing. Darwin Tapia P.

DIRECTOR DE TESIS

### CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA PRÁCTICAS ESTUDIANTILES EN LA CARRERA DE ING. ELECTROMECAÁNICA DE LA U.N.L.**”, previa a la obtención del titulo de Ingeniero Electromecánico, realizado por los señores egresados: *Julio Amideo Jumbo Quichimbo* y *Ramiro Homero Macas Curipoma*, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Enero de 2009

---

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta

DIRECTOR DE TESIS

*Julio Amideo Jumbo Quichimbo*

*Ramiro Homero Macas Curipoma*



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

La investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo de tesis les corresponden exclusivamente a sus autores y el patrimonio intelectual a la Universidad Nacional de Loja, autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables y por ende a la carrera de Ingeniería Electromecánica; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

\_\_\_\_\_  
Julio Amideo Jumbo Quichimbo

\_\_\_\_\_  
Ramiro Homero Macas Curipoma



## **PENSAMIENTO**

Libre, y para mi sagrado, es el derecho de pensar... La educación es fundamental para la felicidad social; es el principio en el que descansan la libertad y el engrandecimiento de los pueblos.

*Benito Juárez*



## **DEDICATORIA**

De todo corazón le dedico este trabajo a mis padres: Emerida Quichimbo Mena y Julio Jumbo Ruiz, quienes fueron el pilar fundamental para lograr alcanzar este objetivo que me trace en la vida, sin ellos no hubiera sido posible esta meta. A mis queridos hermanos Yadira Alexandra y Darwin Alfredo quienes siempre me supieron apoyar en los momentos más difíciles. De manera especial a Blanca Castillo y a mi pequeño David, quienes son parte de mi vida y por quienes me esfuerzo día a día.

Gracias a todos Uds. y gracias Dios.

**Julio Amideo Jumbo Quichimbo**

Este trabajo lo dedico de todo corazón a mi madre: Lina Alegría Macas, quien hizo posible que llegara a la culminación de esta meta que un día me propuse y he llegado a cumplirla, también quiero agradecer a Germán Shinin quien supo apoyarme de una o de otra manera en los momentos más difíciles. Agradezco también a mis hermanos, compañeros y a todos mis amigos quienes en su momento supieron apoyarme.

Gracias

**Ramiro Homero Macas Curipoma**



## **AGRADECIMIENTO**

No es grato expresar nuestros sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Electromecánica, a los docentes que de manera desinteresada aportaron para que durante estos cinco años de estudio se cristalice nuestra formación académica

Al Ing. Darwin Tapia Peralta, por su acertada dirección e invaluable colaboración para la realización de este trabajo

### **Los Autores**



## **RESUMEN**

Este trabajo de tesis tiene el propósito fundamental de contribuir en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los sistemas de acondicionamiento de aire en los estudiantes de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, el objetivo propuesto es el de apoyar en la formación técnica de los estudiantes. En virtud de esto se a logrado diseñar y construir un banco de pruebas para el laboratorio de Fluidos de nuestra carrera, con el que esperamos se pueda hacer las respectivas prácticas de esta clase de sistemas (enfriamiento, calefacción, humidificación y deshumidificación), además sistematizamos temas selectos que serán de gran ayuda al momento de entender y estudiarlo. Por otra parte elaboramos las guías que permitan las prácticas respectivas siguiendo los Lineamientos de desarrollo para actividades prácticas de unidades, laboratorio y talleres de la carrera de Ing. Electromecánica, con lo que logramos presentar un trabajo claro y conciso que fácilmente se lo entenderá. Queda expuesta la posibilidad de que futuros estudiantes mejoren este banco de pruebas y por ende sus guías, para de esta forma lograr tener un buen currículo de estudios que situé a la carrera y a nuestra profesión entre las mejores.



## **SUMMARY**

This thesis work has the fundamental purpose of contribute in the teaching learning process of the air conditioning systems in the students of Electromechanical Engineering of National University of Loja, the proposed objective is to support in the technical formation of the students. In virtue of this it have been able to design and built a bank of tests of fluids to the laboratory of our career, with which we hope to make the respective practices of this type of systems (cooling, heating, humidification and dehumidification), moreover we systematize select topics that will be of great help at moment to understand and study it. On other hand we elaborate the guides that allow the respective practices following the and development lineaments for practical activities of units, laboratory and workshops of the Electromechanical Engineering career, with what we obtain to present a clear and concise work that easily will understand it. It is exposed the possibility that future students improve this bank of tests and their guides, for this way be able to have a good curriculum of studies that it located to the career and our profession among the best.



## **INDICE GENERAL**

<b>PORTADA</b> .....	I
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	II
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	III
<b>PENSAMIENTO</b> .....	IV
<b>DEDICATORIA</b> .....	V
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VII
<b>SUMMARY</b> .....	VIII
<b>INDICE GENERAL</b> .....	IX
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XV
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	XVI
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	XVII
<b>INTRODUCCION</b> .....	18
<b>METODOLOGÍA</b> .....	20
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	23
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	23
<b>1.2 Problemática</b> .....	24
<b>1.3 Problema de Investigación</b> .....	27
<b>1.3.1 Problema general</b> .....	27
<b>1.3.2 Problemas Específicos</b> .....	27
<b>1.4 Justificación</b> .....	27
<b>1.5 Viabilidad</b> .....	28
<b>1.6 Objetivos de la Investigación</b> .....	28



1.6.1	Objetivo general.....	28
1.6.2	Objetivos Específicos.....	29
1.7	Hipótesis de la Investigación.....	29
1.7.1	Hipótesis general.....	29
1.7.2	Hipótesis Específicas.....	29
<b>CAPITULO II: PRINCIPIOS DE LA REFRIGERACIÓN</b>		
2.1.	Proceso de refrigeración.....	30
2.2.	Componentes del ciclo de refrigeración.....	32
2.3.	Principios de transferencia de calor.....	33
2.3.1.	Estado de la materia.....	33
2.3.2.	Densidad y gravedad especifica.....	35
	Densidad.....	35
	Densidad Absoluta.....	35
	Densidad Relativa.....	35
	Densidad Especifica.....	36
2.4.	Principios de la termodinámica.....	36
2.4.1.	Primera Ley de la termodinámica.....	36
2.4.2.	Segunda ley de la termodinámica.....	37
2.5.	Medición y conversión de la temperatura.....	37
2.5.1	Temperatura.....	37
2.6.	Comportamiento de la materia y el calor.....	38
2.6.1.	Calor sensible y calor latente.....	38
2.7.	Transferencia de calor.....	39
2.7.1.	Conducción.....	39



2.7.2. Convección.....	39
2.7.3. Radiación.....	40
2.8. Fluidos y presión.....	40
2.8.1. Presión de los fluidos.....	40
2.8.2. Volumen Especifico.....	41
2.8.3. Presión Atmosférica absoluta.....	41
2.8.4. Medición de la presión.....	42
2.8.5. Relación Temperatura- presión (líquidos).....	42
2.8.6. Relación Temperatura- presión (gases).....	43
2.8.7. Punto de ebullición.....	44
2.8.8. Temperatura de condensación.....	44
2.8.9. Punto de fusión.....	45
2.8.10. Temperatura de saturación.....	45
2.8.11. Vapor sobrecalentado.....	45
2.8.12. Líquidos Subenfriados.....	45
2.9. Controles del flujo refrigerante.....	46
2.10. Evaporadores.....	46
2.10.1. Tipos de evaporadores.....	48
2.10.2. Diagrama presión-calor.....	48
2.11. Compresores.....	49
2.11.1. Funciones de los compresores.....	49
2.11.2. Capacidad en función de la carga.....	50
2.11.3. Tipos de compresores.....	51
2.12. Condensadores.....	53



2.12.1. Operación de los condensadores.....	54
2.12.2. Tipos de condensadores.....	55
2.12.3. Capacidad de los condensadores.....	56
2.13. Diagramas de presión-entalpia.....	57
2.13.1. Efecto refrigerante.....	57
2.13.2. Diagramas del ciclo.....	59
2.13.3. Coeficiente de rendimiento.....	61
<b>CAPITULO III: SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO</b>	
3.1. Fundamentos del aire acondicionado.....	62
3.2. Parámetros para el confort.....	62
3.3. Psicometría.....	62
3.3.1. Humedad del aire.....	62
3.3.2. Temperatura del bulbo seco.....	62
3.3.3. Temperatura del bulbo húmedo.....	62
3.3.4. Punto de rocío.....	63
3.3.5. Entalpia del aire húmedo.....	63
3.4. Grafica Psicométrica.....	63
3.4.1. Procesos térmicos en el diagrama.....	65
3.5. Humidificación y deshumidificación.....	69
3.6. Bombas de calor.....	69
3.6.1. Principios y componentes básicos.....	70
3.6.2. Ciclos de la bomba de calor.....	72
3.6.3. Componentes.....	73
Acumuladores.....	74



Tuberías de refrigerante.....	75
<b>CAPITULO IV: PARAMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ACONDICIONAMIENTO DE UN LOCAL</b>	
4.1.Calculo de la carga.....	77
4.2.Cargas de calefacción y enfriamiento residencial.....	77
4.2.1. Perdidas de calor.....	77
4.2.2. Ganancia de calor.....	79
4.2.3. Condiciones de diseño exterior.....	79
4.2.4. Rango diario.....	79
4.2.5. Almacenamiento.....	80
4.2.6. Ganancias del edificio o el espacio a ser acondicionado.....	80
4.3.Procedimiento para el cálculo de la carga.....	81
4.3.1. Calculo de la transmisión de calor.....	88
4.3.2. Carga térmica por infiltraciones.....	88
4.3.3. Carga térmica por misceláneos.....	91
4.4.Parámetros para la selección del equipo.....	93
4.4.1. Determinación del punto C.....	94
4.4.2. Calculo del aire seco de suministro.....	96
4.4.3. Determinación del punto D.....	97
4.4.4. Determinación del punto R.....	98
4.4.5. Determinación factor de by-pass f.....	98
4.4.6. Potencia calorífica absorbida por los serpentines.....	98
<b>CAPITULO V: EVALUACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN</b>	
5.1. Características generales del sistema de acondicionamiento de aire.....	99



5.1.1. Compresor.....	99
5.1.2. Unidad Exterior.....	100
5.1.3. Unidad Interior.....	100
5.1.4. Dispositivo de expansión (tubo capilar).....	101
5.1.5. Válvula inversora de 4 vías.....	101
5.1.6. Mirilla o visor de líquido.....	102
5.1.7. Acumulador.....	103
5.1.8. Manómetros.....	103
5.1.9. Termómetros.....	104
5.1.10. Refrigerante R-22.....	104
5.2. Propuesta alternativa y guías para prácticas experimentales.....	106
5.2.1. Propuesta Alternativa.....	106
5.2.2. Cálculos Matemáticos que validan la Propuesta Alternativa.....	108
5.3. Guías para el desarrollo de Prácticas Experimentales.....	117
5.4. Validez, Confiabilidad y Seguridad del Equipo.....	137
<b>CAPITULO VI: VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y AMBIENTAL</b>	
6.1 Valoración técnico-económica.....	138
6.2 Valoración ambiental.....	142
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>154</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo de refrigeración de compresión mecánica.....	30
Figura 2.2 Circuito frigorífico.....	33
Figura 2.3 Diagrama de presión-calor, que muestra el efecto refrigerante en el evaporador.....	48
Figura 2.4 Curvas típicas de capacidad para los compresores.....	50
Figura 2.5 Diagrama de presión-entalpía, que muestra el calor eliminado por el condensador.....	55
Figura 2.6 Diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración.....	58
Figura 2.7 Cambios en la presión-entalpía a través de un ciclo de refrigeración.....	60
Figura 3.1 Diagrama Psicrométrico.....	64
Figura 3.2 Diagrama Psicrométrico Conceptual.....	64
Figura 3.3 Procesos que se pueden seguir en el diagrama Psicrométrico.....	65
Figura 3.4 Proceso de deshumidificación.....	66
Figura 3.5 Proceso de calentar y humectar el aire con agua líquida.....	66
Figura 3.6 Proceso de inyectar vapor a una temperatura dada.....	67
Figura 3.7 Proceso de enfriamiento y humectación.....	67
Figura 3.8 Proceso de enfriamiento y deshumidificación.....	68
Figura 3.9 Proceso de calentamiento con deshumidificación.....	68
Figura 3.10 Componentes de una bomba de calor.....	71
Figura 3.11 Válvula reversible-enfriamiento.....	72
Figura 3.12 Válvula reversible-calefacción.....	72
Figura 4.1 Esquema de instalación de U.A.A.....	94



## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 4.1 Coeficientes típicos de transmisión de calor.....	83
Tabla 4.2 Valores de $h_o$ , $h_i$ .....	83
Tabla 4.3 Propiedades Termo físicas del aire a presión atmosférica.....	84
Tabla 4.4. Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para paredes.....	85
Tabla 4.5 Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para techos.....	86
Tabla 4.6 Ganancia de calor solar (BTU/h pie <sup>2</sup> de área de ventana).....	87
Tabla 4.7 Infiltraciones.....	89
Tabla 4.8 Ventilación (CFM).....	89
Tabla 4.9 BTU/h de algunos motores.....	91
Tabla 4.10 Ganancia de calor por los ocupantes.....	92
Tabla 4.11. Propiedades termodinámicas del aire.....	95
Tabla 5.1 Características del refrigerante R-22.....	105



## SIMBOLOGÍA

A	Area	INEC	Instituto Nacional de
ACCA	Air Conditioning Contractors of America	K	Estadística y Censos
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers	ma	conductividad térmica
BH	temperatura del bulbo húmedo	Pe	gasto másico del aire
BS	temperatura del bulbo seco	PR	perímetro humedecido
BTU	unidad de calor	Pr	temperatura del punto de rocío
CCS	coeficiente de calor sensible	PSI	número de Prandtl
CFM	pies cúbicos por minuto	Q	unidad de presión
CO <sub>2</sub>	anhídrido carbónico	R	transferencia de calor
COP	coeficiente de rendimiento	Re	resistividad térmica
DTE	diferencial de temperatura equivalente	RSE	número de Reynolds
f	factor de corrección para cristales	T	Región Sur del Ecuador
GE	gravedad específica	U	temperatura del aire
H	entalpia	U.A.A.	coeficiente de transferencia de calor
h	coeficientes de convección	Vt	unidad de aire acondicionado
HVAC/R	sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración	Vinf	volumen total de un local a acondicionar
i	entalpía del aire	Vvent	volumen de infiltraciones
I	número de infiltraciones	W	volumen de ventilación
		X	humedad absoluta
		$\Delta U$	espesor de paredes y techos
		$\emptyset$	incremento de energía de un sistema
		$\rho$	humedad relativa
		$\mu$	densidad del aire
		v	Viscosidad dinámica
			viscosidad cinemática



## **INTRODUCCIÓN**

Una de las áreas de vital importancia es sin duda la Energética, en la actualidad son varias las perspectivas que se desarrollan en la industria de los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración (HVAC/R). Por ejemplo, haciendo énfasis a un crecimiento vertiginoso de mercado, panorama de trabajo y oportunidad ocupacional podemos estar hablando que se vuelve indispensable estudiar a fondo esta temática. Ya en el plano de la formación académica de los estudiantes de la carrera de ingeniería Electromecánica se ha partido de algunas investigaciones a fines a la nuestra, sin embargo surge la necesidad de nuevos campos de estudio y experimentación que hace necesario no solo plantear una premisa subjetiva sino objetiva, que este orientada a que tanto estudiantes como docentes tengamos la oportunidad de adquirir conocimientos no solo teóricos sino prácticos. Sin lugar a dudas esta forma traerá consigo buenos resultados

Los estudiantes con nuestros trabajos ya sea en el Proceso de Investigación Formativa y/o Tesis aportamos a estas reformas, y en uno de los casos prácticos que por varias ocasiones se ha tratado es el equipamiento de los diferentes laboratorios de la carrera. Consientes de esta problemática hemos diseñado y construido un equipo para experimentación de sistemas de acondicionamiento de aire utilizando bomba de calor, cuyo objetivo se lo encamina como se dijo anteriormente en el sentido de relacionar la teoría y la practica e inmiscuirnos en este amplio campo de la ingeniería.

Situados en el objetivo principal y haciendo referencia a características constructivas se puede acotar que se inicio desde un cálculo matemático, el cual nos arrojó los datos técnicos necesarios para la selección de cada uno de las partes que conforman el sistema. Una vez obtenidos los elementos procedimos a su armado y consiguiente verificación de funcionamiento.

Cabe recalcar que a este sistema se lo ha construido para prácticas de enfriamiento, calefacción y deshumidificación; que se manifiesta con la sensación en el cuerpo de quienes estén dentro del cuarto y estén realizando la respectiva práctica. Además está equipado con instrumentos mecánicos y eléctricos que permitan la verificación visual y la comparación matemática de los cálculos realizados teóricamente.



En este contexto y explicados los principales tópicos que se relacionan con el equipo de aire acondicionado que se construyo, culminamos señalando que estamos en un constante y fructífero cambio, lo que involucra que nosotros como estudiantes debemos colaborar y así estructurar un currículo para la carrera de ingeniería electromecánica de tal forma que tanto estudiantes como docentes podamos interrelacionar la teoría y la práctica que a la postre significara un desarrollo importante tanto en el ámbito académico como desde el punto de vista social.



## **METODOLOGÍA**

Tomando como referencia las matrices construidas en el primer momento de nuestra investigación y siguiéndolas minuciosamente hemos llegado a cumplir con todos y cada uno de los objetivos planteados; a continuación detallamos la metodología que se siguió para cada actividad:

### **Metodología para alcanzar el Objetivo específico 1**

- Se accedió a diferentes páginas Web en el internet
- Se selecciono párrafos, lecturas, análisis del tema en distintas bibliotecas dentro y fuera de la ciudad
- Realizamos entrevistas a docentes tanto de la U.N.L. como de la ESPOL, a si mismo con dueños de almacenes distribuidores de equipos de aire acondicionado en la ciudad de Guayaquil, Quito y Piura. Vía correo electrónico también se pudo obtener información de algunos expertos de la ciudad de Lima, Buenos Aires, Santiago de Chile, México y Madrid
- Se clasifico toda la información recopilada en las distintas investigaciones

### **Metodología para alcanzar el Objetivo específico 2**

- Se realizo un levantamiento de la infraestructura y características del equipo idóneo y que reúna las características planeadas en el proyecto.
- Se indago los sitios donde se venden los accesorios necesarios para la construcción. En nuestro caso fue necesario remitirnos a los siguientes almacenes: Frio Brasilerero, Frio Francés S.A., Refricentro, Eduardo Donoso e hijos C. Ltda. Centuriosa S.A. Frio record S.A. (Guayaquil), Anglo Ecuatoriana (Quito), Cold Import S.A. (Piura)
- Una vez reunidos los accesorios y siguiendo el esquema del diseño se procedió a la construcción definitiva del banco.

### **Metodología para alcanzar el Objetivo específico 3**

- Se visualizo plenamente la efectividad del banco en cuanto a resultados para no descuidar partes o accesorios que puedan faltar
- Se definió estrategias necesarias para obtener el máximo provecho de la practica



- Una vez redactadas las diferentes guías para prácticas se tomo en cuenta de los vicios sintácticos, pragmáticos y semánticos que pudieron existir.
- Mediante prácticas realizadas por estudiantes de la carrera se estableció la efectividad del banco y de las respectivas guías, que servirán a los estudiantes de la carrera.

#### **Metodología para alcanzar el Objetivo específico 4**

- Se obtuvo un documento claro y conciso que detalle los resultados obtenidos durante el proceso de ejecución de la tesis
- Se siguió el respectivo esquema para la elaboración de ponencias de la carrera de Ing. Electromecánica
- Con una exposición clara y comunicativa a los asistentes, en nuestro caso estudiantes y público en general, se expuso los resultados de todo este trabajo de tesis.

#### **Métodos**

Los métodos que estamos utilizando son los Empíricos y Teóricos; con el primero de ellos estudiamos las características fundamentales y esenciales del proceso de acondicionamiento del aire, es la etapa de acumulación de información (libros, revistas, Internet, etc.), entrevistas, entre otras que nos permitió delinear los referentes teóricos del tema y problema de tesis.

En tanto que con el método teórico interpretamos los datos empíricos encontrados acerca del tema, y de esta manera desarrollar los objetivos planteados en el proyecto de tesis.

#### **Técnicas e instrumentos**

Para la ejecución del proyecto de tesis hemos optado por realizar las siguientes actividades:



PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICA UTILIZADA
Inexistencia de información copilada y concreta del proceso de acondicionamiento de aire	Entrevista con los docentes y personas entendidas del tema
	Investigación bibliográfica en libros, revistas e Internet
	Trabajo de campo, que consiste en acudir a sitios donde existan instalaciones de aire acondicionado
Falta de un equipo para la demostración de los procesos de acondicionamiento de aire el Laboratorio de fluidos de la carrera de Ing. Electromecánica	Acudir a catálogos referentes a aire acondicionado
	Procesamiento de datos que permitan un diseño adecuado del equipo
	Observaciones, sean estas fotografías, grabaciones que existan sobre estos equipos
No existen Guías para actividades prácticas que permitan validar un equipo de experimentación construido.	Entrevista con los docentes de la carrera
	Investigación bibliográfica, acudiendo a los lineamientos de desarrollo de guías de la carrera
Poca socialización de los trabajos investigativos que se realizan en la carrera de Ing. Electromecánica	Entrevista con los docentes y personas para que expliquen la forma de llevar a cabo la socialización clara y entendible



## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

El acondicionamiento del aire es el proceso que enfría, limpia y circula el aire, controlando, además, su contenido de humedad; en condiciones ideales logra todo esto de manera simultánea.

El aire acondicionado se lo considera hoy en día como uno de los descubrimientos más significativos del siglo XX. Su capacidad de controlar la temperatura, la humedad, polvo; de varios sectores agrícolas, residenciales, comerciales e industriales tiene un gran efecto en el confort y rendimiento humano.

Por lo tanto no ha de extrañar que los principios de funcionamiento en los que se basa el aire acondicionado sean una parte crucial de muchos cursos de ingeniería y ciencias. A medida que vamos avanzando en el siglo XXI la necesidad de reducir el consumo de energía, ozono y emisiones de gas invernadero de las plantas de aire acondicionado, aumenta el requerimiento del estudio en este campo.

Haciendo una breve descripción histórica del aire acondicionado, describimos que en el año 1902 Willis Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna y al encontrarse con los problemas de la excesiva humidificación del aire enfriado, desarrolló el concepto de climatización de verano. Carrier se puso a investigar con tenacidad para resolver el problema y diseñó una máquina específica que controlaba la humedad por medio de tubos enfriados, dando lugar a la primera unidad de refrigeración de la Historia.

En 1922 Carrier lleva a cabo uno de los logros de mayor impacto en la historia de la industria: “la enfriadora centrífuga”. En 1928 se fabricó un equipo de climatización doméstico que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire y cuya principal aplicación era la doméstica.



*Capítulo 1*

Es sin duda, que la investigación es el pilar fundamental para alcanzar grandes logros; y en efecto, con el transcurrir de los tiempos muchas han sido las investigaciones que se han hecho en el tema del aire acondicionado, y desde aquel año de 1902 hasta nuestros días se ha revolucionado esta tecnología; sin embargo en nuestro medio no es muy común el hablar técnicamente del tema, y de ahí que nace la importancia de diseñar y construir un sistema de aire acondicionado con tecnología local para prácticas de laboratorio en nuestra carrera.

## **1.2 Problemática**

Los procesos de experimentación son muy importantes en la formación académica de un profesional ya que con ello se logra relacionar lo teórico con la práctica y de esta manera reafirmamos los conocimientos adquiridos en las aulas.

En este contexto, y observando la necesidad de realizar prácticas, creímos conveniente el diseño y la construcción de un sistema de aire acondicionado de laboratorio; que básicamente es un proceso de tratamiento del aire ambiente de los locales habitados; que consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura (calefacción o refrigeración), humedad y limpieza (renovación, filtrado). Aclarando que si no se trata la humedad, sino solamente la temperatura, podría llamarse climatización.

Entre los sistemas de acondicionamiento se cuentan los autónomos y los centralizados. Los primeros producen el calor o el frío y tratan el aire (aunque a menudo no del todo). Los segundos tienen un/unos acondicionadores que solamente tratan el aire y obtienen la energía térmica (calor o frío) de un sistema centralizado. En este último caso, la producción de calor suele confiarse a calderas que funcionan con combustibles. La de frío a máquinas frigoríficas, que funcionan por compresión o por absorción y llevan el frío producido mediante sistemas de refrigeración.

El propósito del acondicionamiento del aire es obtener una situación de confort termo higrométrico para el personal ubicado en un área, salvo en aquellas situaciones que requieran determinadas condiciones de temperatura o humedad, en cuyo caso estos parámetros vendrán fijados por criterios diferentes al confort. El



Capítulo 1

ambiente general puede ser acondicionado actuando sobre la temperatura, la humedad relativa, el índice de ventilación y la humedad del aire, teniendo en cuenta los condicionantes propios del sitio que se quiera climatizar.

Por otra parte, haciendo un breve análisis desde el punto de vista de la calidad de aire que necesita el ser humano, acotamos que el aire contiene un 0.03% de CO<sub>2</sub>, que al ser respirado por el organismo humano sale a 37°C con un 4% de CO<sub>2</sub>. Asimismo, el ser humano en reposo absorbe 25 litros de O<sub>2</sub> por hora, equivalentes a 400 litros de aire por hora, consumo que crece con la actividad.

El aire de una habitación cerrada se llega a enrarecer por la presencia de un 2% de CO<sub>2</sub>, llevando a la gente a un estado de excitación; para un 3% de CO<sub>2</sub> se llega a un estado de depresión general que puede llegar al desfallecimiento. En ambientes habituales, no industriales, se considera como índice de habitabilidad un % de CO<sub>2</sub>, que es fácil de medir y que da una idea bastante exacta de la pureza del ambiente; el límite máximo admisible es de 0,1%, llegándose a admitir en situaciones excepcionales (refugios), porcentajes de hasta un 3%, no exigiéndose situaciones ideales en casos así.

El cuerpo humano goza de un sistema regulador de su temperatura, que es de 37°C, pudiendo vivir en ambientes cuyas temperaturas oscilan entre -70°C y +50°C. La temperatura varía de una a otra parte del cuerpo, consiguiéndose este equilibrio mediante un consumo de energía interior y de aislamiento con vestidos.

La temperatura ambiente más agradable al cuerpo humano, con respecto a una situación de actividad nula, es del orden de 20°C. Respecto a la respiración, la temperatura ideal del aire oscila entre 15°C y 18°C. El ser humano elimina al exterior calor y humedad por medio de la respiración y la transpiración, cuestiones a tener en cuenta a la hora de proyectar una instalación. La cantidad total de calor que elimina el cuerpo humano en forma de calor sensible (radiación y convección), y calor latente (transpiración), viene repartido en la siguiente forma. El agua eliminada por una persona en reposo, a 22°C de temperatura ambiental, y con una humedad relativa comprendida entre un 30 % y un 70%, es de 50 gr/hora.



Capítulo 1

El calor sensible que una persona elimina al exterior, a una temperatura media de 18°C, sin esfuerzo físico alguno se compone de 35 Kcal/hora por radiación; 25 Kcal/hora por convección; despreciable por conducción

Lo anteriormente citado se refiere a datos técnicos generales que nos permiten validar el desarrollo de este tema de Tesis. Complementario a esto, se debe analizar la importancia de este trabajo desde el punto de vista del desarrollo de la sociedad, en particular de la Región Sur del Ecuador, que es donde tiene influencia la Universidad Nacional de Loja.

Si bien es cierto, la ciudad de Loja cuenta con un clima agradable y fresco la mayor parte del año, también es incuestionable que la mayoría de cantones de la provincia gozan de un clima cálido; sumado a esto la provincia de Zamora Chinchipe y el Oro, que forman parte de RSE (Región Sur del Ecuador). Por datos estadísticos proporcionados por el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), estos son el número de viviendas particulares que existen: *Catamayo 8091, Gonzanama 5740, Macara 5013, Puyango 4735, Zapotillo 3008, Pindal 1904* (estos son los cantones mas cálidos de la provincia de Loja); *Zamora Chinchipe 22743, El Oro 146675 viviendas*. Esta información es útil, ya que con ella conocemos a ciencia cierta, los posibles sectores donde podamos aplicar, explotar y desarrollar este tipo de sistemas, claro está que no en su mayoría pero si en un buen porcentaje. Y con ello estaremos ya vinculándonos para subsanar la problemática del *ESCASO DOMINIO DE LOS PROCESOS DE MONTAJE E INSTALACIONES CON SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS* de nuestra área de estudio y por consiguiente enrumbándonos en las políticas de desarrollo e influencia que tenemos como estudiantes de la U.N.L.

Analizados estos parámetros generales influyentes en nuestro trabajo, concluimos que es importante la implementación de este tipo de equipo para el laboratorio de la carrera de Ing. Electromecánica, pues será un mecanismo suficiente de experimentación, que tanto estudiantes como docentes lo utilizarían para fines académicos y profesionales.



En síntesis nuestra problemática la hemos planteado de la siguiente manera: ***“Falta de conocimientos teóricos y habilidades técnicas en los estudiantes de la carrera de Ing. Electromecánica de la U.N.L. para operar y mejorar sistemas de acondicionamiento de aire”***

### **1.3 Problema de Investigación**

#### **1.3.1 Problema general**

Falta de un sistema para la demostración y aprendizaje del proceso de acondicionamiento de aire en el laboratorio de fluidos de la carrera de Ing. Electromecánica de la U.N.L.

#### **1.3.2 Problemas Específicos**

- Inexistencia de información copilada y concreta del proceso de acondicionamiento de aire
- Falta de un equipo para la demostración de los procesos de acondicionamiento de aire el Laboratorio de fluidos de la carrera de Ing. Electromecánica
- No existen Guías para actividades prácticas que permitan validar un equipo de experimentación construido.
- Poca socialización de los trabajos investigativos que se realizan en la carrera de Ing. Electromecánica

### **1.4 Justificación**

Uno de los principales retos que hoy en día se nos presenta es investigar problemáticas del campo industrial para por medio de esto plantear soluciones que estén enmarcadas en la aplicación de la teoría; de tal forma que nos permita incorporarnos poco a poco a nuestra área profesional, y es precisamente que ahí surge la idea de trabajar en el diseño y construcción de un equipo de Aire Acondicionado, que por un lado contribuye en parte a solucionar el déficit de equipos en los laboratorios de la carrera de ingeniería Electromecánica y por otro para realizar prácticas profesionales.



*Capítulo 1*

Éstas últimas serian las más beneficiadas con la implementación del mencionado equipo, ya que tanto estudiantes como docentes van a poder asimilar de mejor manera los fundamentos teóricos que tengan relación con sistemas de refrigeración y climatización.

Además como futuros ingenieros Electromecánicos nos relacionamos con este tipo de problemáticas permitiéndonos plantear soluciones que satisfagan necesidades prioritarias que son como la de nuestro tema de tesis; el confort humano, y que en la mayoría de cantones de nuestra provincia y de la RSE que gozan de un clima cálido necesitan de su implementación y por supuesto con tecnología no muy costosa; sin lugar a dudas este equipo será de significativa importancia una vez realizado.

### **1.5 Viabilidad**

Este proyecto de tesis es de considerable importancia dentro de nuestro campo profesional y de estudio; contamos con el apoyo de las autoridades de la carrera de Ing. Electromecánica, además de docentes y personas conocedores de la materia. Los recursos económicos serán fondos propios de los autores; planeamos hacer un equipo que sea de accesibilidad a toda la sociedad

En lo que respecta a la disponibilidad de bibliografía se cuenta con una buena información, es sugestivo y de actualidad tecnológica y permite la correlación de teoría-practica, tanto en estudiantes como en docentes que lo utilicen; el tiempo es suficiente para desarrollar el proyecto y además permite adentrarnos en el campo profesional de nuestra carrera y en el área de influencia de la Universidad Nacional de Loja. Por todo esto se considera viable este tema de tesis.

### **1.6 Objetivos de la Investigación**

#### **1.6.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un sistema de aire acondicionado didáctico para el Laboratorio de la carrera de Ing. Electromecánica de la U.N.L.



### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Sistematizar la información de la temática para tener conocimientos claros y concisos del fenómeno
- Implementar un equipo experimental para demostrar el proceso de acondicionamiento de aire en el Laboratorio de fluidos del AEIRNNR
- Elaborar guías que permitan el desarrollo de prácticas de los procesos de acondicionamiento de aire por parte de los estudiantes de la carrera de Ing. Electromecánica
- Socializar los resultados de la investigación a lo interno y externo de la carrera de Ing. Electromecánica y de la U.N.L.

### 1.7 Hipótesis de la Investigación

#### 1.7.1 Hipótesis general

Aplicando los conocimientos adquiridos en la etapa de aprendizaje y el empleo de tecnología local es posible construir un equipo de aire acondicionado, el mismo que posibilitará aprendizajes significativos en los estudiantes de Ing. Electromecánica de la U.N.L.

#### 1.7.2 Hipótesis Específicas

- La investigación sistematizada nos permitirá comprender de manera sencilla el fenómeno de la Climatización y regulación de la Humedad Ambiental
- Es factible la construcción de un equipo para ensayos experimentales que demuestren el proceso de acondicionamiento de aire en el Laboratorio de fluidos del AEIRNNR
- Con una adecuada elaboración de las guías para actividades prácticas se posibilitará la correlación teoría-práctica en los estudiantes de la carrera
- Una adecuada difusión del trabajo permitirá socializar a lo interno y externo de la U.N.L. los resultados obtenidas



## CAPITULO II: PRINCIPIOS DE LA REFRIGERACIÓN

### 2.1. Proceso de refrigeración

La refrigeración mecánica se usa para remover calor de un medio más frío y expulsarlo a un medio más cálido usando las propiedades de calor latente del refrigerante. El sistema de refrigeración debe proporcionar una temperatura de refrigerante inferior a la temperatura del medio que se va a enfriar y elevar la temperatura del refrigerante a un nivel superior a la temperatura del medio que se utiliza para la expulsión.

Un esquema del ciclo de refrigeración se ilustra en la siguiente gráfica.

**Fig. 2.1** Ciclo de refrigeración de compresión mecánica

(Posición 1.) El refrigerante se ha sobrecalentado algo en el circuito final del evaporador. El sobrecalentamiento es el proceso de continuar el calentamiento del refrigerante después de haber agregado suficiente calor latente para vaporizar todo el líquido. El sobrecalentamiento asegura que ningún embolo líquido llegara al compresor causando daño a válvulas y pistones. El refrigerante entra en el compresor como un vapor sobrecalentado a baja temperatura y baja presión.

(Posición 2.) El refrigerante sale del compresor como un vapor sobrecalentado a alta presión y alta temperatura. El calor de la compresión también ha sido absorbido por el refrigerante.



Capítulo II

(Posición 3.) Conforme el refrigerante entra dentro del condensador, la primera porción del calor existente en el condensador es eliminada y la temperatura del refrigerante llega a la temperatura de saturación. Conforme se elimina calor latente adicional, el vapor se condensa. Llegado a este punto, el refrigerante es una mezcla de líquido y vapor saturado a alta presión.

(Posición 4.) En la porción inferior del condensador, el refrigerante se ha condensado totalmente y es ahora un líquido a alta presión.

(Posición 5.) El refrigerante esta en el mismo estado que el de la posición 4. Todo el refrigerante es líquido; sin embargo algo de subenfriamiento ha ocurrido en el paso final a través del condensador. Conforme se elimina calor adicional del refrigerante, se subenfriará. El subenfriamiento es el proceso de continuar la eliminación de calor del refrigerante una vez extraído todo el calor latente y cambiado todo el vapor a estado líquido. El subenfriamiento reduce la temperatura del líquido por debajo de su punto de ebullición, a una presión en particular. Un subenfriamiento adecuado evitara que el refrigerante empiece a hervir conforme experimente pequeñas caídas de presión al pasar por la tubería o por ciertos componentes. Este proceso de ebullición genera *gasificación repentina* (la rápida vaporización del refrigerante a gas debido a una caída repentina de presión y un incremento de volumen a la entrada del evaporador) y puede reducir la capacidad del sistema. Es deseable subenfriar el refrigerante líquido ya sea en el condensador o en la tubería de líquidos antes del dispositivo medidor. El subenfriamiento del refrigerante líquido reduce la gasificación repentina e incrementa el flujo de masas.

(Posición 6.) Al pasar a través del dispositivo medidor hacia la zona de baja presión, parte del refrigerante se evapora, enfriando el líquido restante. En este punto el refrigerante es una mezcla.

(Posición 7.) El calor del aire ambiente o existente en el producto que se está enfriando dentro del evaporador es absorbido por el refrigerante líquido, haciendo que el refrigerante hierva o se evapore. Conforme el compresor extrae gas evaporado del evaporador, el dispositivo medidor admite más refrigerante,



continuando así el proceso. El refrigerante en este punto es una mezcla, igual que en la posición 6

Para todos los fines prácticos éstas son las dos presiones del sistema: la presión del lado de baja y la presión del lado de alta. A partir del dispositivo medidor, le evaporador y la tubería de succión hasta la entrada al compresor representan el lado de baja del sistema. El compresor, la tubería de descarga al condensador, la tubería de líquidos y el dispositivo medidor se consideran el lado de alta del sistema. El compresor se considera del lado de alta y el dispositivo medidor del lado de baja del sistema.

Hay otros elementos adicionales que puede tener el sistema y se instalan en sistemas de aire acondicionado y refrigeración sólo con el fin de tener mayor control como lo es el filtro secador que es el encargado de retener la humedad que pueda contener el sistema. La mirilla o visor de líquido nos da la indicación de presencia de humedad en el sistema y se puede ver si la cantidad de refrigerante en el sistema es el adecuado. Otro elemento adicional es el tanque acumulador de líquido que por lo general se instala en los sistemas de refrigeración con el fin de garantizar y tener una cantidad de refrigerante remanente o de reserva en el sistema.

## 2.2. Componentes del ciclo de refrigeración

Se hace referencia a los componentes de un ciclo de refrigeración ya que estos son generalmente, los mismos de los acondicionadores de aire. Es decir, éstos funcionan según un ciclo frigorífico similar al de los frigoríficos y congeladores domésticos. Los equipos de refrigeración poseen cuatro componentes principales:

- Evaporador
- Compresor
- Condensador
- Dispositivo de expansión

Todos estos componentes aparecen ensamblados en el siguiente esquema:

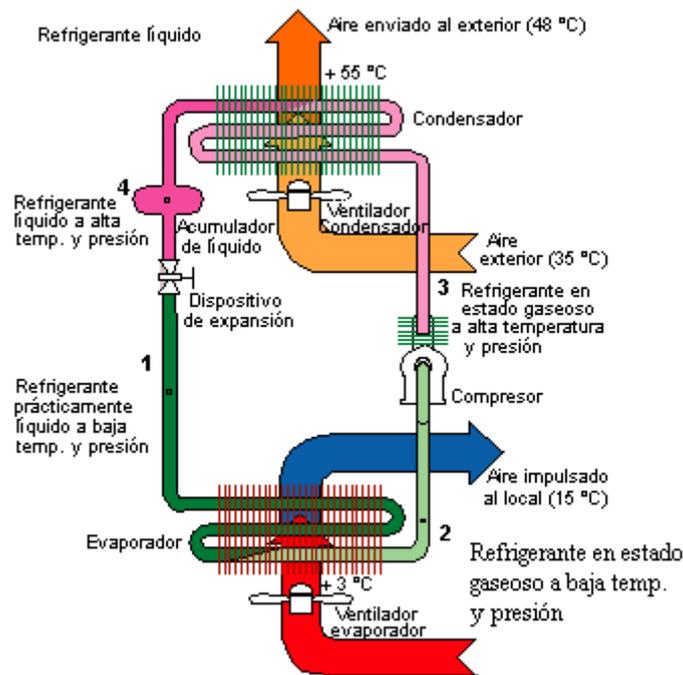


Fig. 2.2 Circuito frigorífico

## 2.3. Principios de transferencia del calor

### 2.3.1. Estado de la materia

El estado físico de una sustancia puede ser controlado mediante la temperatura y la presión. Por ejemplo, muchas pistas de hielo a la intemperie están diseñadas para cuando el tiempo pasa a temperaturas bajo cero. El peso de un patinador sobre la superficie de hielo provoca que el hielo bajo la superficie dura de los patines se funda, haciendo que el hielo sea resbaloso. En la naturaleza, bloques pesados de hielo, como los glaciares, presionando sobre la superficie dura de la tierra puedan hacer que la parte inferior el hielo se funda. Este proceso lubrica los glaciares apoyados en pendientes, permitiéndolos así moverse.

La materia existe en tres estados: solido, líquido y vapor o gas.

Un ejemplo común es el agua, que existe en los tres estados. El agua está en estado sólido (hielo) por debajo de los 32 °F (0 °C), en estado líquido desde temperaturas de 32 °F (0 °C) hasta 212 °F (100 °C) y en forma de vapor o gas a 212 °F (100 °C) y superior



Los diversos estados de la materia tienen características únicas.

Un **sólido** es una sustancia que tiene una forma definida, que mantendrá bajo un cierto grado de esfuerzo o de presión, dependiendo del material y del tipo de alteración. Deberá estar soportado o caerá al siguiente nivel de soporte. Esta situación requiere el diseño de una base o cimiento adecuado al tratar con sólidos.

Los sólidos de una densidad suficiente conservaran su tamaño y peso. En ciertas condiciones los sólidos de baja densidad perderán cantidades moleculares perdiendo peso y cantidad. El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en estado sólido (conocido como hielo seco) pasará de estado sólido al estado gaseoso baja ciertas condiciones.

Un **líquido** es una sustancia que puede tomar la forma de cualquier recipiente cuando se le permite moverse con libertad, manteniendo el volumen constante. Se considera no compresible. Cuando un líquido llena un recipiente ejerce una presión a la vez vertical y horizontal sobre el recipiente. Por ejemplo, las válvulas que se localizan en las tuberías en el sótano de un sistema de calefacción por agua caliente de un edificio de muchos pisos tienen que ser capaces de soportar la presión ejercida por la columna de agua que tiene encima.

Si un pie cúbico de agua en un recipiente que tenga un pie por lado es transferido a un recipiente de dimensiones distintas, la cantidad y el peso del agua se conservara igual, aunque las dimensiones cambien. Con el transcurso del tiempo, los líquidos de densidad baja, como el agua, gradualmente perderán cantidad y peso debido a pérdidas moleculares por estado gaseoso.

Un **vapor** o **gas** es una sustancia que no tiene forma o volumen fijo, y por tanto debe estar contenido en un recipiente o escapará a la atmosfera. Un



buen ejemplo es el recipiente de un refrigerante en forma de vapor. Ciertos refrigerantes que son destructores para el ambiente están siendo remplazados y no deben ser purgados hacia la atmosfera.

Si un cilindro de 1 pie cúbico que contiene agua en estado gaseoso, llamado vapor o cualquier otro vapor, se conecta a un cilindro de 2 pies cúbicos del cual, teóricamente, se ha hecho un perfecto vacio, el vapor se expandirá para ocupar el volumen del cilindro más grande así como del original.

### 2.3.2. Densidad y gravedad especifica

#### Densidad.

El término densidad ( $\rho$ ) es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, sinónimo de «masa volúmica», y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

#### Densidad absoluta

La densidad absoluta o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen. Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término densidad suele entenderse en el sentido de densidad absoluta. La densidad es una propiedad intensiva de la materia producto de dos propiedades extensivas:

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

#### Densidad relativa

La densidad relativa o aparente expresa la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua, resultando una magnitud adimensional. La densidad del agua tiene un valor de 1 kg/ltr. (a las condiciones de 1 atm y 4 °C) equivalente a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Aunque la unidad en el SI es kg/m<sup>3</sup>, también es costumbre expresar la densidad de los líquidos en g/cm<sup>3</sup>



### Gravedad Específica.

La gravedad específica (GE) es un tipo particular de densidad relativa definido como el cociente entre la densidad de una sustancia dada, y la densidad del agua (H<sub>2</sub>O). Una sustancia con una gravedad específica mayor a 1 es más densa que el agua, mientras que si la GE es menor a 1 dicha sustancia será más ligera que el agua.

$$GE = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

## 2.4. Principios de la termodinámica

La Termodinámica es una rama de la ciencia que trata sobre la acción mecánica del calor. Hay ciertos principios fundamentales de la naturaleza, llamados Leyes Termodinámicas, que rigen nuestra existencia aquí en la tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración.

### 2.4.1. Primera Ley de la termodinámica

También conocido como principio de conservación de la energía para la termodinámica, establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna.

La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}}$$

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma:

$$\Delta U = Q - W$$



### 2.4.2. Segunda ley de la termodinámica

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

Esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, La Segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el Primer Principio. Esta ley apoya todo su contenido aceptando la existencia de una magnitud física llamada entropía tal que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero.

## 2.5. Medición y conversión de la temperatura

**2.5.1. Temperatura.** Es la escala usada para medir la intensidad de calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor. También puede definirse como el grado de calor sensible que tiene un cuerpo en comparación con otro.

La temperatura se puede medir en diferentes escalas pero en esta aplicación, se usaran grados Fahrenheit y centígrados.

$$^{\circ} \text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ} \text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C} + 32)$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ} \text{K} = ^{\circ} \text{F} + 460$$

Al nivel del mar, el agua se congela a 0 °C o a 32 °F; y el punto de ebullición es de 100 °C o 212 °F.



## 2.6. Comportamiento de la materia y el calor

Toda materia está compuesta de pequeñas partículas conocidas como moléculas, y la estructura molecular de la materia (según se estudia en química) se puede a su vez subdividir en átomos.

Las moléculas varían en forma, tamaño y peso. En física aprendemos que las moléculas tienden a unirse. El carácter de la sustancia de la materia misma depende de la forma, tamaño y peso de las moléculas individuales con las cuales está formada y también el espacio o distancia que las separa, ya que son, en un amplio grado, capaces de moverse de un lado a otro.

Cuando se aplica energía interna a una sustancia se incrementa la energía interna de las moléculas, que aumentan su movimiento o su velocidad de movimiento. Con este incremento en el movimiento de las moléculas, también aparece una elevación o incremento en la temperatura de la sustancia

Cuando se quita calor de la sustancia, la velocidad del movimiento molecular disminuirá y también habrá una disminución o descenso de la temperatura interna de dicha sustancia.

El calor es una forma de energía que genera un incremento en la temperatura de un cuerpo o porciones de un cuerpo o de su entorno cuando se agrega, y una reducción de temperatura cuando se elimina, siempre y cuando no haya cambio de estado. Cuando se utiliza calor para cambiar el estado de una sustancia no hay cambio en la temperatura.

La transferencia de calor ocurre entre dos cuerpos a temperaturas distintas. El movimiento por lo general se considera que ocurre de lo caliente a lo frío.

### 2.6.1. Calor sensible y calor latente

**Calor sensible.** Es la cantidad de calor seco introducido o extraído en la mezcla aire-vapor, para cambiar su temperatura pero sin variar su estado.



Expresado en Btu por libra de aire; se refleja por la temperatura de bulbo seco.

**Calor latente.** Es el calor requerido para evaporar la humedad que contiene una cantidad específica de aire. Esta evaporación ocurre a la temperatura de bulbo húmedo. También, se expresa en Btu por libra de aire. El calor, en este caso, no provoca un aumento de temperatura, sino un cambio de fase

**Calor total.** El contenido de calor total de la mezcla de aire y vapor de agua, también se conoce como entalpía. Es la suma de los valores de calor sensible y latente, expresado en Btu por libra de aire.

## 2.7. Transferencia de calor

El paso de calor de unos cuerpos a otros, o lo que es igual, que un cuerpo pierda su propio calor hasta establecerse el equilibrio térmico, puede verificarse por conducción, convección y radiación.

### 2.7.1. Conducción

En conducción, el calor circula desde un cuerpo de alta temperatura a otro de menor temperatura, a través de las superficies en contacto de los cuerpos.

### 2.7.2. Convección

La propagación por convección se verifica cuando el calor se transmite de un sólido caliente a un fluido, recíprocamente, de un fluido caliente a un sólido.

Un fluido que se halle rodeando un foco calorífico se calentara en las capas más próximas al foco, las cuales disminuyen de densidad y ascienden transportando a otras capas el calor tomado del foco; a su vez, porciones frías del fluido caliente y frio que se denominan corrientes de convección.



### 2.7.3. Radiación

En la radiación, el calor se desplaza en línea recta a lo largo del espacio, desde un cuerpo de temperatura elevada a otro de temperatura inferior. La propagación del calor por radiación sucede de igual manera que la propagación de la luz; se desplaza en línea recta en todas las direcciones desde la fuente.

Para Prevost, todo cuerpo radia calor cuando su temperatura absoluta es mayor de 0K, y el calor radiado es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura del cuerpo siendo independiente de la temperatura, forma y naturaleza de los cuerpos que le rodean.

## 2.8. Fluidos y presión

Un fluido por lo general es cualquier sustancia líquida o gaseosa que puede fluir. Un refrigerante puede por lo tanto clasificarse como un fluido, ya que en el interior del ciclo de refrigeración, existe tanto en forma líquida como en forma de vapor o gas.

Aunque, el hielo, que es un sólido, también es utilizado en la extracción de calor, su uso en refrigeración ha sido superado en cierto modo debido al descubrimiento de la versatilidad de los productos químicos y sus combinaciones hoy día como refrigerantes.

### 2.8.1. Presión de los fluidos

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza, conocidas que puede ser la de una columna líquida un resorte, un embolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.



### 2.8.2. Volumen específico

El volumen específico de una sustancia se define como el número de centímetros (pies) cúbicos ocupados por un kilo (libra) de esta sustancia, en el caso de líquidos y gases, varía con la temperatura y presión.

### 2.8.3. Presión atmosférica, absoluta

#### Presión Absoluta

Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios

#### Presión Atmosférica

El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg<sup>2</sup> (101,35Kpa), disminuyendo estos valores con la altitud.

#### Presión Manométrica

Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que se define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede



abstenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión Manométrica} + \text{Presión Atmosférica.}$$

### **Vacío**

Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, que normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se miden las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente. Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general se expresa a modo de centímetros de mercurio (cmHg), metros de agua, etc.

#### **2.8.4. Medición de la presión**

Para medir la presión empleamos un dispositivo denominado manómetro. Como A y B están a la misma altura la presión en A y en B debe ser la misma. Por una rama la presión en B es debida al gas encerrado en el recipiente. Por la otra rama la presión en A es debida a la presión atmosférica más la presión debida a la diferencia de alturas del líquido manométrico.

$$p = p_o \pm g * h$$

#### **2.8.5. Relación Temperatura- presión (líquidos)**

La temperatura a la cual hierve un líquido depende de la presión sobre este líquido. Al nivel del mar, el agua hierve a 100 °C, pero a 1525 metros hierve a 95 °C. Si usamos algún medio para variar las presiones sobre la superficie del agua en un recipiente cerrado, por ejemplo un compresor, el punto de ebullición podrá cambiarse según nuestros deseos.



Puesto que todos los líquidos reaccionan en la misma forma, aunque a diferentes temperaturas y presiones, la presión es un medio para regular la temperatura de refrigeración. Manteniendo en un serpentín de enfriamiento una presión equivalente a la temperatura de saturación (punto de ebullición) del líquido con la temperatura de enfriamiento deseada, dicho líquido hervirá a esa temperatura mientras esté absorbiendo calor, consiguiéndose entonces la refrigeración.

### 2.8.6. Relación Temperatura-Presión (gases)

Uno de los fundamentos de la termodinámica es la llamada “ley del gas perfecto”. Esta describe las relaciones existentes entre los tres factores básicos que controlan el comportamiento de un gas (presión, volumen y temperatura). En la práctica el aire y los gases refrigerantes altamente sobrecalentados pueden considerarse gases perfectos y sus comportamientos siguen las siguientes relaciones:

$$\frac{P1 * V1}{T1} = \frac{P2 * V2}{T2}$$

Aunque la relación gas perfecto no es exacta, nos da una aproximación al efecto causado en un gas por el cambio de uno de los tres factores. En esta relación, tanto la presión como la temperatura deben expresarse en valores absolutos, la presión en PSIA, la temperatura arriba del cero absoluto ( $^{\circ}\text{C} + 273$ , ó,  $^{\circ}\text{F} + 460$ ). Uno de los problemas de la refrigeración es deshacerse del calor que ha sido absorbido durante el proceso de enfriamiento, y una solución práctica consiste en aumentar la presión del gas para que la temperatura de saturación sea suficientemente mayor que la temperatura del agente enfriante (aire o agua) para asegurarse de este modo un intercambio de calor eficiente. Cuando el gas a baja presión (baja temperatura de saturación) es succionado hacia el cilindro de un compresor, el volumen del gas es reducido por la carrera del pistón, condensándose rápidamente debido a su alta temperatura de saturación.



### 2.8.7. Punto de ebullición

El punto de ebullición de una sustancia es la temperatura que debe alcanzar ésta para pasar del estado líquido al estado gaseoso; para el proceso inverso se denomina punto de condensación. La definición exacta del punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor iguala a la presión atmosférica. Por ejemplo, a nivel del mar la presión atmosférica es de 1 atm. o 760 mmHg, el punto de ebullición del agua a esta presión será de 100°C porque a esa temperatura la presión de vapor alcanza una presión de 1 atm.

La temperatura a la que una sustancia cambia de líquido a gas se llama punto de ebullición y es una propiedad característica de cada sustancia.

Al tratar con la acción en un sistema de refrigeración es el "punto de ebullición" del líquido (refrigerante) dentro del sistema. Al bajar el punto de ebullición se hace que el refrigerante absorba calor y se vaporice, es decir que hierva. Correspondientemente, al elevar el punto de ebullición el vapor cede calor y se condensa. Básicamente, el sistema de refrigeración funciona controlando el punto de ebullición.

### 2.8.8. Temperatura de condensación

Con un líquido en estado de vapor, y para que este se conserve como un vapor, la temperatura sensible debe ser más alta que la temperatura de condensación. Si se elimina energía térmica del vapor hasta el punto en que la temperatura sensible pudiera caer por debajo de la temperatura de condensación del vapor, el vapor se licuara o condensara.

El punto de ebullición y la temperatura de condensación del líquido son los mismos. Solo hay una diferencia implícita en la acción que está ocurriendo. El punto de ebullición supone pasar de líquido a vapor; la temperatura de condensación implica pasa de vapor a líquido. En todo caso, la temperatura a la cual este cambio de estado ocurre varía en función de la presión a la cual está sujeta el líquido. Al bajar la presión se reduce el punto de



ebullición o la temperatura de condensación. Si se eleva la presión se eleva el punto de ebullición o la temperatura de condensación.

### **2.8.9. Punto de fusión**

El punto de fusión es la temperatura a la cual el estado sólido y el estado líquido de una sustancia, coexisten en equilibrio térmico, a una presión de 1 atmósfera.

Igual que en el punto de ebullición, se produce un cambio de estado, el agua pasa del estado sólido (hielo) al estado líquido (agua) y todo el calor se invierte en ese cambio de estado, no variando la temperatura, que recibe el nombre de punto de fusión. Se trata de una temperatura característica de cada sustancia.

### **2.8.10. Temperatura de saturación**

Saturación es la condición de temperatura y presión en la cual el líquido y el vapor pueden existir simultáneamente. Un líquido o vapor está saturado cuando está en su punto de ebullición (para el nivel del mar, la temperatura de saturación del agua es de 100 °C o 212 °F). A presiones más altas la temperatura de saturación aumenta, y disminuye a temperaturas más bajas.

### **2.8.11. Vapor Sobrecalentado**

Cuando un líquido cambia a vapor, cualquier cantidad adicional de calor aumentará su temperatura (calor sensible), siempre y cuando la presión a la que se encuentre expuesto se mantenga constante. El termino vapor sobrecalentado se emplea para denominar un gas cuya temperatura se encuentra arriba de su punto de ebullición o saturación.

### **2.8.12. Líquidos Subenfriados**

Cualquier líquido que tenga una temperatura inferior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión existente, se dice que se encuentra



subenfriado. El agua a cualquier temperatura por debajo de su temperatura de ebullición (a 100 °C al nivel del mar) está subenfriada

## 2.9. Controles del flujo refrigerante

Un componente fundamental e indispensable de cualquier sistema de refrigeración es el control del flujo, es decir, el dispositivo par reducción de la presión. Sus objetivos principales son:

1. Mantener la presión y el punto de ebullición adecuado en el evaporador para manejar la carga térmica deseada.
2. Permitir el flujo de refrigerante hacia el evaporador a la rapidez requerida para eliminar el calor de la carga.

El dispositivo de reducción de presión es uno de los puntos de separación en el sistema. El principal dispositivo que se tenía para controlar el flujo del refrigerante en los primeros años de la refrigeración era una primitiva válvula de mano.

Los ocho tipos principales de dispositivos para reducción de presión que se utilizan hoy en día en las diversas fases de la refrigeración son:

1. Válvula de expansión operada a mano
2. Válvula de expansión automática
3. Válvula de expansión electrónica
4. Válvula de expansión termostática
5. Tubo capilar
6. Orificio fijo
7. Flotador de lado de baja
8. Flotador de lado de alta

Todos ellos son utilizados con la finalidad de reducir la presión del líquido refrigerante y en algunos casos, parta controlar el volumen del flujo.

## 2.10. Evaporadores

El evaporador tiene la función de sustraer el calor sensible y latente del aire aspirado, y consiste en un intercambiador de calor entre el fluido frigorífico y el



*Capítulo II*

aire. Están condicionados por el tipo de aplicación y, por consiguiente, pueden ser de ventilación forzada o de ventilación natural o estática.

El evaporador es un cambiador de calor dispuesto para que un medio distinto, aire en el presente caso, del fluido frigorífico, ceda calor a este, provocando su vaporización (evaporador) o su calentamiento (enfriador). Por consiguiente, la evaporación de un líquido o cambio de fase liquido/vapor va acompañada de la absorción de calor del aire. Aquí el evaporador toma calor de su entorno y lo transfiere al fluido frigorífico en el cual se convierte en calor latente de vaporización, manteniéndose en estado de vapor en la mayor parte del circuito.

Los evaporadores suelen estar contruidos, por tubos de cobre doblados de una longitud y un diámetro interior determinados. Además se complementan con paneles armados que llevan aletas de aluminio para una mejor adecuación de la transferencia de calor. Por un extremo se alimenta, por intermedio de una válvula, del fluido frigorífero contenido en un recipiente a presión. Por el exterior del tubo de cobre y ayudado en su labor por las aletas de aluminio, se distribuye el aire que circula impulsado por un ventilador o simplemente el aire atmosférico. El fluido frigorífero, que está a baja temperatura y presión, entre 4 °C y 10 °C, recibe un viento que tiene un nivel térmico de unos 25°C -30 °C

Al encontrarse el aire más caliente que el fluido refrigerante, el primero cede calor al segundo, por lo que el aire pierde calor y se enfría, cediendo su energía calorífica al refrigerante, el cual hierve, en lugar de calentarse pasando del estado liquido al gaseoso, es decir, transformándose en vapor.

A la salida del evaporador el aire, lógicamente, habrá bajado de temperatura estando más frio que a la entrada, y el fluido frigorífero se hallara totalmente vaporizado. Como el enfriamiento del aire es tan acentuado, sucede que sobre la superficie del evaporador quedara una parte del vapor de agua que contenía, reduciendo su humedad y, como consecuencia, el aire será más seco o poseerá menos humedad cuando salga que la que traía a la entrada.

Hay que señalar que el evaporador de cualquier sistema de aire acondicionado precede al compresor en el sentido del flujo del fluido refrigerante. Cuando el

compresor está en marcha tiende a vaciar el interior del evaporador. De esta manera, la presión interna del evaporador se mantiene dentro de unos valores pequeños, exactos y determinados conforme a su uso.

### 2.10.1. Tipos de evaporadores

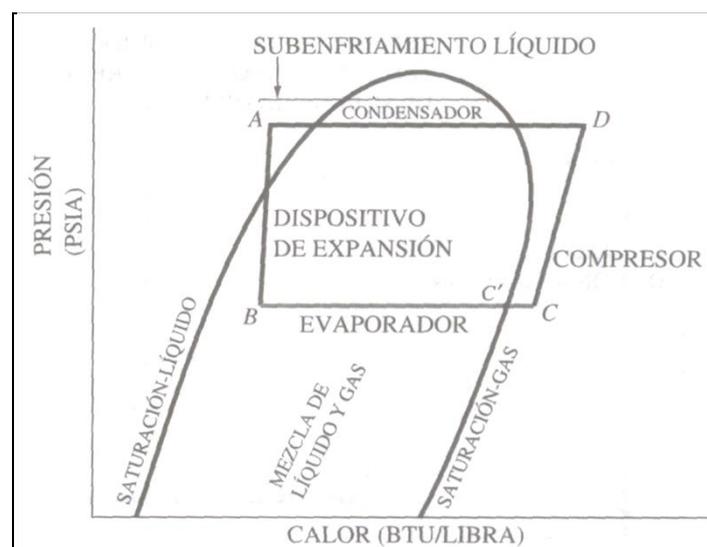
Existen tres tipos principales de evaporadores:

1. De tubos desnudos
2. De superficie extendida
3. De placas

En el ciclo de refrigeración por compresión de vapor la totalidad de los refrigerantes tienen que mantenerse confinados dentro del sistema mediante componentes y sistema de tuberías de interconexión lo suficientemente resistentes para soportar las presiones, temperaturas y vibraciones que se imponen al sistema.

### 2.10.2. Diagrama presión-calor

El diagrama presión-calor (figura 2.3) permite tener una clara idea del proceso de enfriamiento dentro del evaporador. Inicialmente un líquido a alta presión debe subenfriarse de 8 a 10°F, o más de ser posible.



**Fig. 2.3** Diagrama de presión-calor, que muestra el efecto refrigerante en el evaporador



*Capítulo II*

Cuando el líquido subenfriado en el punto *A* fluye a través del dispositivo de expansión su flujo queda controlado y su presión se reduce a la presión del evaporador. Aproximadamente el 20% del líquido hierve y se convierte en gas, enfriando la mezcla restante de líquido y gas. El calor total (entalpía en el punto *B*) no ha sufrido cambios en relación con el punto *A*. No se ha intercambiado energía calorífica externa. De los puntos *B* a *C* el resto del líquido hierve, absorbiendo el calor que fluye hacia adentro de la carga del evaporador (aire, agua o producto). En el punto *C* todo el líquido se ha evaporado y el refrigerante ahora es 100% un vapor a la temperatura de saturación correspondiente a la presión en el evaporador.

El subenfriamiento aumenta la eficiencia del ciclo y puede evitar el gas emergente debido a pérdidas de presión provenientes de componentes, fricción en tuberías, así como un incremento en el tirante de presión.

## **2.11. Compresores**

Es el elemento principal de la instalación y aunque su cometido es diverso, siempre tiene como actividad la compresión del fluido refrigerante gaseoso a presión que precede del evaporador, disminuyendo su volumen y aumentando su temperatura, hasta una presión superior para que pueda ser condensado y así aprovechar, en el ciclo frigorífico, el intercambio doble de calor entre el evaporador y el condensador.

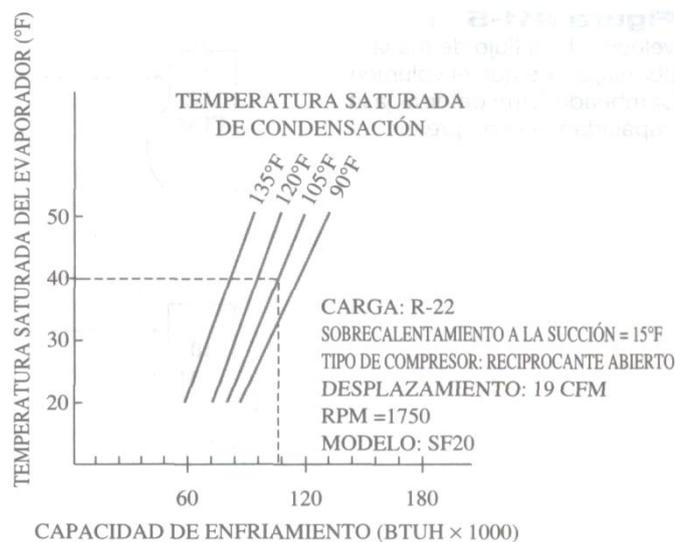
### **2.11.1. Funciones de los compresores**

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración: en primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante.

### 2.11.2. Capacidad en función de la carga

Se seleccionan los compresores con el fin de que tengan capacidad suficiente para hacer frente a la carga máxima de enfriamiento. Dada que la mayoría de las cargas varía, la mayor parte del tiempo el compresor estará sobredimensionado. Así, ¿qué ocurre cuando el compresor produce más enfriamiento de lo necesario?

En la figura 2.4 aparece un trazo de la capacidad de enfriamiento de compresor en relación con las temperaturas de evaporación y de descarga. Cuando los compresores tienen menos carga, funcionan a una presión de succión inferior, reduciéndose su capacidad. Cuando se incrementa la carga, se eleva la presión de succión, incrementando la capacidad del compresor.



**Fig. 2.4** Curvas típicas de capacidad para los compresores

El compresor típico que el técnico de servicio encontrara es un dispositivo de desplazamiento positivo que opera a velocidad constante. Esto significa que desplaza un volumen de flujo constante, digamos 10 pies<sup>3</sup> de gas refrigerante por minuto (cfm). Esto no significa que se trata de un compresor de capacidad constante. La capacidad depende de la velocidad del flujo de masa, es decir libras de refrigerante por minuto (lb/min)



Capítulo II

¿Qué sucede cuando un compresor maneja una carga que fluctúa? Suponga que un compresor de 10 cfm ha estado manteniendo una temperatura de evaporador de 40°F hasta que disminuye la carga y la temperatura del evaporador se desliza hacia abajo hasta 30° F. conforme se reduce la carga, la válvula de expansión térmica (TXV) detecta una caída en el sobrecalentamiento y cierra hasta una nueva posición para restaurar un sobrecalentamiento constante. La velocidad de flujo se estabiliza a una velocidad inferior. El compresor sigue bombeando 10 cfm y la temperatura de succión se estabiliza en una temperatura nueva inferior.

El cambio en la velocidad de flujo de masa (lb/min) aun flujo volumétrico constante continuado (cfm) da como resultado menos libras de refrigerante por pie cubico de desplazamiento. En otras palabras, cambia el volumen específico. El volumen específico y la densidad son recíprocos

A una temperatura de evaporación de 40° F y a 10 cfm, el refrigerante tenía un volumen específico de aproximadamente 0.7 cf/lb. El evaporador estaba manejando aproximadamente 14.3 lb/min de refrigerante. Al bajar la carga, la válvula TXV se cerró y la temperatura se estabilizo en 30° F. El gas tenía un volumen específico de 0.8 cf/lb y la velocidad de flujo de masa era de 12.5 lb/min, es decir una reducción en capacidad de 12.5 por ciento.

### 2.11.3. Tipos de compresores

Los compresores pueden ser de **pistón, rotativos o centrífugos.**

Los de **pistón** están basados en la compresión mecánica de un pistón que se mueve dentro de un cilindro. Alternativamente el pistón se desplaza para comprimir el gas. En el momento que alcanza la presión deseada se abre la válvula de escape y el fluido gaseoso sale por la línea de descarga.

Un sistema de válvulas, de admisión y descarga situadas en la parte superior del cilindro, que se abren y se cierran turnándose, admiten el vapor al final de la carrera del pistón y lo descargan en el tramo superior. Los



Capítulo II

compresores de pistón llevan uno o dos pistones dependiendo de la compresión que se precise.

Los compresores **rotativos** establecen su funcionamiento en el giro de un rotor que es excéntrico con relación al estator. El rotor cilíndrico está colocado excéntricamente dentro del hueco tubular del estator. La compresión se realiza gradualmente mientras la rotación continua, debido a que el espacio puesto a disposición del gas ira poco a poco disminuyendo y, por lo tanto, su presión aumentara por la progresiva reducción del volumen provocando la correspondiente compresión. En el momento en que llega a la abertura de expulsión, el gas se descarga.

El compresor **centrifugo** está basado en el giro de una turbina con alabes que, por la fuerza centrifuga, lanza el refrigerante contra una pared que disminuye rápidamente su volumen comprimiendo el gas. Estos compresores se aplican en industrias muy especiales, petroquímicas, empresas farmacéuticas, etc., dado que mueven grandes cantidades de refrigerante con unos ratios de compresión muy bajos.

Estos compresores funcionan siempre con derivados halogenados de los hidrocarburos, lo que comercialmente se conoce por freones. El mas universalmente adoptado es el refrigerante R-22.

En el aire acondicionado los compresores de mayor uso son los de pistón y rotativos, imponiéndose los dos en los equipos domésticos, de ventanas y consolas, ya que el bajo nivel de ruido los hace especialmente indicados para esta aplicación.

Tanto los compresores de pistón como los rotativos están accionados por motores eléctricos, clasificándose en:

- Abiertos.
- Herméticos
- Semiherméticos



Capítulo II

En las unidades **abiertas** el motor de accionamiento del cigüeñal es independiente del compresor, pudiendo estar enlazados mediante correas o por acoplamiento directo.

Referente a los **herméticos**, el motor y el compresor se encuentran directamente montados en el interior de una carcasa común que los envuelve.

Los **Semiherméticos o herméticos accesibles** tienen una envolvente o tapa atornillada desmontable que permite tener acceso al motor y al resto de las partes mecánicas móviles para su revisión y reparación.

En los dos casos últimos, el gas frío se encarga de actuar como refrigerante del motor del compresor, ya que los gases fríos que provienen del evaporador a una baja temperatura fluyen a través del devanado del compresor refrigerándolo.

## 2.12. Condensadores

El condensador es un cambiador de calor dispuesto para pasar al estado líquido un refrigerante gaseoso comprimido, por cesión de calor a un medio distinto del fluido circulado. Es decir, en lugar de absorber calor del aire ambiente, lo dispersa en la atmosfera que le rodea. Su cometido es, pues, inverso al del evaporador.

El condensador está situado después del compresor, con respecto al sentido de circulación del fluido frigorífero. Este sale del compresor, que ha elevado la presión del refrigerante en estado gaseoso y ha aumentado su temperatura por efecto de la compresión a una temperatura que la suponemos en 55 °C, y entra en el condensador. Tenemos dentro del condensador un gas refrigerante con una elevada temperatura que debemos rebajar.

Un ventilador o ventiladores toman aire del exterior y lo impulsa a través de los tubos de cobre y las aletas que lo conforman. Suponiendo que el aire exterior este a 35 °C tendremos enfrentados a dos fluidos con temperaturas diferentes. Por consiguiente, el que tiene más calor traspasa su energía al de menos calor



(refrigerante/aire) y el aire que pasa por el condensador se habrá calentado siendo expulsado nuevamente a la atmosfera.

A la vez, el gas refrigerante al ceder su energía calorífica al aire, se condensa transformándose en líquido que es acumulado en un depósito, estando de esta manera listo para intervenir nuevamente en el ciclo de refrigeración. Generalmente el depósito está integrado dentro del cuerpo del propio condensador.

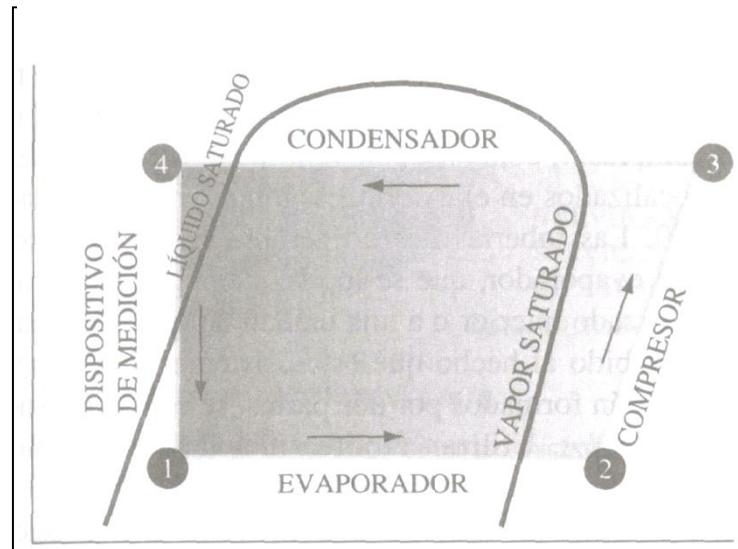
En las unidades compactas de gran capacidad y en los sistemas centrales se emplea normalmente un condensador enfriado por agua. Están rodeados por una camisa que contiene el agua que circula en dirección opuesta a la del flujo refrigerante.

### **2.12.1. Operación de los condensadores**

El condensador está localizado del lado de la descarga del compresor. El vapor del refrigerante caliente entra al condensador proveniente del compresor y sale del condensador como un refrigerante líquido subenfriado.

La función del condensador es transferir calor que ha sido absorbido por el sistema hacia el aire o el agua. En un condensador enfriado por aire, el aire externo que pasa sobre la superficie del condensador disipa este calor hacia la atmosfera. Si se utiliza un condensador enfriado por agua, el agua será enviada a una torre de enfriamiento donde el calor será transferido a la atmosfera por evaporación.

El diagrama presión-calor que se muestra en la figura 2.5 ilustra lo que lleva a cabo el condensador. El gas caliente de descarga del compresor entra al condensador en el punto 3. Primero se elimina el sobrecalentamiento; a continuación se condensa el vapor; finalmente el líquido es subenfriado, hasta que llega al punto 4.



**Fig. 2.5** Diagrama de presión-entálpia, que muestra el calor eliminado por el condensador

Aun cuando el subenfriamiento solo representa una pequeña porción de rechazo total de calor, son importantes dos razones:

1. Asegura que entrara al dispositivo de medición una corriente continua de líquido.
2. Agrega o aumenta la capacidad de enfriamiento del sistema en razón aproximadamente de 0.5% sobre la capacidad de enfriamiento total por cada grado de subenfriamiento. Por ejemplo, con 10°F de subenfriamiento, se le agrega 5% (.5% x 10°F) de capacidad adicional al sistema.

### 2.12.2. Tipos de condensadores

Se utilizan tres tipos de condensadores en los sistemas HVAC/R

1. Enfriados por aire.
2. Enfriados por agua.
3. Evaporativos, que son una combinación de los dos anteriores.

Realmente, un condensador es una aplicación muy útil de un intercambiador de calor. El calor tomado de diversas fuentes dentro del sistema es expulsado mediante el condensador. Los intercambiadores de calor se fabrican de metal para permitir una transferencia de calor rápida y eficiente.



Capítulo II

El vapor caliente de refrigerante está en contacto con un lado de la superficie del intercambiador de calor, y el medio de transferencia, como por ejemplo el aire o el agua, del otro lado.

El uso de un condensador enfriado por aire es normalmente la disposición más sencilla, particularmente si está localizado fuera del sistema o de la unidad. A pesar de que el condensador enfriado por agua es más eficiente, es de instalación más costosa. Los condensadores evaporativos se utilizan principalmente en aplicaciones industriales.

### 2.12.3. Capacidad de los condensadores

Dado que el condensador es uno de los componentes principales del sistema de refrigeración, cualquier problema al instalar la capacidad adecuada de condensador puede afectar la operación de todo el sistema. Un número de factores puede hacer que la temperatura de condensación sea demasiado alta, dando como resultado una capacidad reducida:

1. Error de diseño: cualquier sub dimensionamiento.
2. Obstrucción o recirculación del flujo de aire: condensador enfriado por aire, torre de enfriamiento y condensador evaporativo.
3. Obstrucción del flujo de agua: condensador enfriado por agua.
4. Serpentin del condensador sucio: cualquier tipo.

Si el sistema anteriormente ha funcionado bien, la selección no será problema. Normalmente el problema será una temperatura de descarga alta. Puede ser ocasionado por obstrucción del aire o del agua, o un condensador sucio.

Un tirante de presión excesivo es una de las causas principales de fallas del compresor. Incluso si no ocurre la falla del compresor, un alto tirante de presión puede producir cargas altas en los cojinetes y mal reducida



eficiencia. Una temperatura excesiva puede incrementar la reacción química entre los contaminantes y causar daños a las partes esenciales.

## 2.13. Diagramas de presión-entalpia

### 2.13.1. Efecto refrigerante

Si en un sistema o en un ciclo de refrigeración debe hacerse un trabajo específico, cada una de las libras de refrigerante circulando en el sistema deberán hacer su parte del trabajo. Deben absorber una cantidad de calor en el serpentín o evaporador de enfriamiento, y disipar este calor (además del que se añade en el compresor) hacia fuera a través del condensador ya sea enfriado por aire, agua, o de manera evaporativa. El trabajo efectuado por cada una de las libras de refrigerante que pasa a través del evaporador se refleja por la cantidad de calor que absorbe de la carga de refrigeración, principalmente cuando el refrigerante sufre un cambio de estado de líquido a vapor.

Como se mencionó anteriormente, para que un líquido pueda cambiar a vapor, se le debe agregar calor o debe absorberlo. Esto es lo que ocurre (o debe ocurrir) en el serpentín de enfriamiento. El refrigerante entra al dispositivo de medición como líquido y pasa a través del dispositivo hacia el evaporador, donde absorbe calor al irse convirtiendo en vapor, el cual, sigue su camino a través del tubo de succión hacia el compresor, donde es comprimido y cambia de vapor a baja temperatura y baja presión, a vapor a alta temperatura y alta presión; luego pasa por la tubería de alta presión o de descarga hacia el condensador, donde sufre otro cambio de estado, de vapor a líquido, en cuya condición fluye hacia fuera, por la tubería de líquidos, y de nuevo encuentra su camino al dispositivo medidor, para hacer otro recorrido a través del evaporador. En la figura 2.6 se muestra el diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración, que describe este proceso.

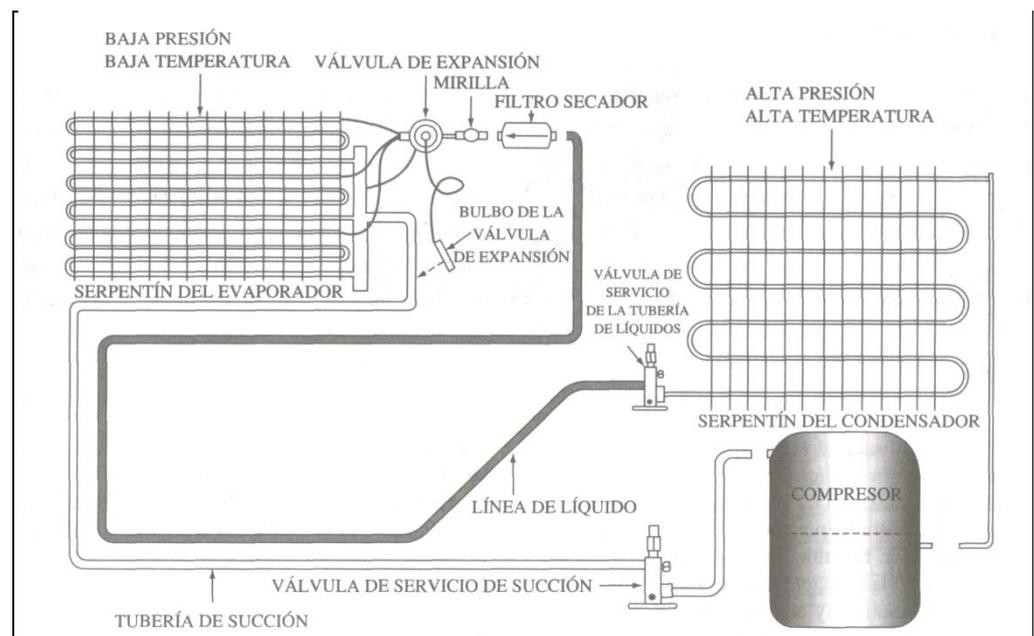
Cuando el refrigerante líquido sale del condensador, puede pasar a un receptor mientras es requerido en el evaporador; o puede pasar directamente de la tubería de líquidos al dispositivo de medición, y de ahí al serpentín

Capítulo II

evaporador. El líquido que entra al dispositivo de medición justo por delante del serpentín del evaporador tendrá cierto contenido de calor (*entalpia*), que depende de su temperatura al entrar al serpentín. El vapor que sale del evaporador también tendrá un contenido dado de calor (*entalpia*) de acuerdo con su temperatura, según se muestra en las tablas de refrigerantes.

La diferencia entre estos dos contenidos de calor es la cantidad de trabajo que se está efectuando por cada libra de refrigerante, al pasar a través del evaporador y absorber calor. La cantidad de calor absorbida por cada libra de refrigerante se conoce como *efecto refrigerante* del sistema, o del refrigerante dentro del sistema.

Este efecto refrigerante se mide en Btu por libra de refrigerante (Btu/lb); si se conoce la carga de calor total (dada en Btu/h), podemos encontrar el número total de libras de refrigerante que deben circular en el sistema por cada hora de operación. Esta cifra puede ser subdividida adicionalmente en la cantidad que deba circular por minuto, al dividir entre 60 la cantidad circulada por hora.



**Fig. 2.6** Diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración



### 2.13.2. Diagramas del ciclo

La figura 2.6 muestra un diagrama esquemático de flujo de un ciclo básico en refrigeración, mostrando cambios en fases o en procesos. Primero el refrigerante pasa de la etapa líquida a la etapa de vapor conforme absorbe calor dentro del serpentín del evaporador. La etapa de compresión, donde el vapor refrigerante aumenta su temperatura y presión, viene a continuación; luego el refrigerante cede su calor en el condensador al medio de enfriamiento circundante, y el vapor refrigerante se vuelve a condensar al estado líquido y queda listo para ser usado de nuevo dentro del ciclo.

El anexo 1 es una reproducción de un diagrama de Mollier (conocido comúnmente como *gráfica (P-t)* del R-22, que muestra características de presión, calor y temperatura de este refrigerante. Se pueden utilizar diagramas de presión-entalpia para el trazo del ciclo que se muestra en la figura 2.6, aunque una grafica básica o proforma aparece en la figura 2.7, y puede ser utilizada como ilustración preliminar de las diversas fases del circuito refrigerante. Existen tres áreas básicas en la grafica que indican los cambios de estado entre la línea de líquido saturado y la línea de vapor saturado de la parte central de la grafica. El área a la izquierda de la línea de líquido saturado es el área subenfriada, donde el líquido refrigerante ha sido enfriado por debajo de la temperatura que corresponde a su presión; en tanto el área a la derecha de la línea de vapor saturado es el área de sobrecalentamiento, donde el vapor refrigerante ha sido calentado mas allá de su temperatura de vaporización correspondiente a su presión.

La elaboración del diagrama, o más bien un conocimiento y comprensión del mismo, puede facilitar una interpretación más clara de lo que ocurre en el refrigerante durante las diversas etapas del ciclo de refrigeración. Si se conoce el estado y cualesquiera dos propiedades de un refrigerante y puede este punto situarse en la grafica, se podrán determinar fácilmente las demás propiedades a partir de la misma Si el punto está situado en cualquier parte entre las líneas de líquido saturado y de vapor saturado, el refrigerante estará en forma de mezcla de líquido y vapor. Si el punto está más cerca de la línea

Capítulo II

de líquidos, la mezcla será más líquido que gas y un punto localizado en el centro del área, a una presión en particular, indicaría una situación de 50% de líquido y 50% de vapor.

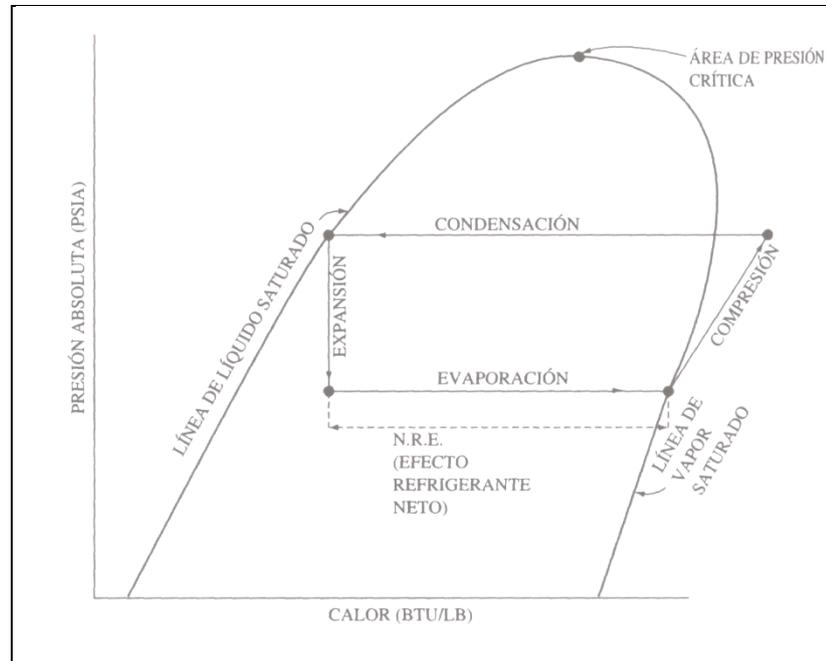


Fig. 2.7 Cambios en la presión-entalpía a través de un ciclo de refrigeración

Si hacemos referencia a la figura 2.7, el cambio de estado de un vapor a líquido, es decir el proceso de condensación, ocurre conforme se desarrolla la trayectoria del ciclo de derecha a izquierda; en tanto que el cambio de estado de líquido a vapor, el proceso de evaporación, se mueve de izquierda a derecha. La presión absoluta aparece indicada en el eje vertical a la izquierda, y el eje horizontal indica el contenido de calor, es decir la entalpía en Btu/libras.

La distancia entre las dos líneas saturadas a una presión dada, según se observa en la línea de contenido de calor, representa el *calor latente de vaporización* del refrigerante a la presión absoluta dada. La distancia entre las dos líneas de saturación no es la misma a todas las presiones, ya que no siguen curvas paralelas. Por tanto, existen variaciones en el calor latente de vaporización del refrigerante, dependiendo de la presión absoluta. También existen variaciones en las graficas de presión-entalpía entre distintos



refrigerantes y las variaciones dependerán de las varias propiedades de cada uno de los refrigerantes individuales.

### 2.13.3. Coeficiente de rendimiento

Dos factores anteriormente mencionados en este capítulo son de máxima importancia para decidir que refrigerante debe utilizarse en un proyecto dado para eliminar el calor. Por lo general, esta decisión se toma durante la fase de diseño del sistema de refrigeración y de acondicionamiento del aire acondicionado.

Los dos factores que determinan el *coeficiente de rendimiento* (COP) de un refrigerante es el *efecto refrigerante* y el *calor de compresión*. La ecuación se puede escribir de la forma:

$$COP = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

El COP es por tanto una tasa o medida de la eficiencia de un ciclo de refrigeración en el uso de la energía gastada durante el proceso de compresión, en relación con la energía absorbida en el proceso de evaporación. Como se puede observar en la ecuación anterior mientras menos sea la energía utilizada en el proceso de compresión, mayor será el COP del sistema de refrigeración. Así, el refrigerante con el COP más alto probablemente sería el seleccionado, siempre y cuando otras cualidades y factores sean iguales.



## CAPITULO III: SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

### 3.1. Fundamentos del aire acondicionado

Acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del aire atmosférico que coordina los cinco factores que le son propios, para que las personas que estén ocupando un ambiente acondicionado se encuentren acogidos confortablemente. Los agentes que intervienen son:

- Temperatura (calefacción o refrigeración)
- Grado de humedad (humidificación o deshumidificación)
- Velocidad del aire (movimiento y circulación)
- Limpieza del aire (filtrado)
- Ventilación (renovación del aire)

Si se controla exclusivamente la temperatura máxima, se dice que el acondicionamiento es de verano o refrigeración; y si se controla la temperatura mínima, acondicionamiento de invierno o calefacción

### 3.2. Parámetros para el confort

### 3.3. Psicometría

#### 3.3.1. Humedad del aire

**Humedad específica.** Es el peso de vapor de agua en el aire, se expresa en granos o libras de agua por libra de aire seco, dependiendo de los datos usados.

**Humedad absoluta.** Es el peso del vapor de agua, referido a Kg, contenido en un Kilogramo de aire seco

**Humedad relativa.** Es la relación del vapor de agua real en el aire, comparado a la máxima cantidad que estaría presente a la misma temperatura, expresada como un porcentaje (%).

**Volumen específico.** Es el número de pies cúbicos, ocupados por una libra de la mezcla de aire y vapor de agua.

#### 3.3.2. Temperatura del bulbo seco

Es la temperatura medida con un termómetro ordinario.

#### 3.3.3. Temperatura del bulbo húmedo

Es la temperatura que resulta de la evaporación del agua, en una gasa húmeda, colocada sobre un termómetro común.



### 3.3.4. Punto de rocío

Es la temperatura de saturación, a la cual tiene lugar la condensación del vapor de agua. Un ejemplo es la humedad sobre un vaso de agua con hielo. El vidrio frío reduce la temperatura del aire por debajo del punto de rocío y la humedad que se condensa forma gotas sobre la superficie del vidrio.

### 3.3.5. Entalpia del aire húmedo

Es la suma del calor sensible y el latente en kilocalorías, por kilogramo de una sustancia, entre un punto arbitrario de referencia y la temperatura y estado considerado.

## 3.4. Grafica Psicométrica

La carta psicrométrica es probablemente el mejor modo de mostrar lo que sucede al aire y al vapor de agua, cuando cambian estas propiedades. La carta es publicada por ASHRAE y es la más comúnmente usada en la industria. Algunos productores han desarrollado sus propias cartas las cuales varían únicamente en estilo y construcción, pero las relaciones de las propiedades del aire son las mismas.

Para hacer esta carta, todo lo que hacemos es arrancar con la escala de temperatura ordinaria, llamada la temperatura de bulbo seco. Luego se extiende la escala del termómetro. Note sobre la carta real que estas líneas no son realmente perpendiculares. Esto se hace así para que otras líneas sean rectas en vez de curvas.

En seguida, se coloca la escala vertical de acuerdo a la cantidad de vapor de agua mezclado con cada libra de aire seco. Esta escala llamada la razón de humedad, se expresa en libras de humedad por libras de aire seco. Sabemos que el aire puede contener diferentes cantidades de humedad, dependiendo de su temperatura; si contienen toda la humedad que puede (100%), se dice que está saturado.

Es un diagrama que relaciona múltiples parámetros relacionados con una mezcla de aire: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

El diagrama no es constante, ya que es variable con la altura sobre el nivel del mar. Es usual en la bibliografía encontrarlo para la altura a nivel del mar.

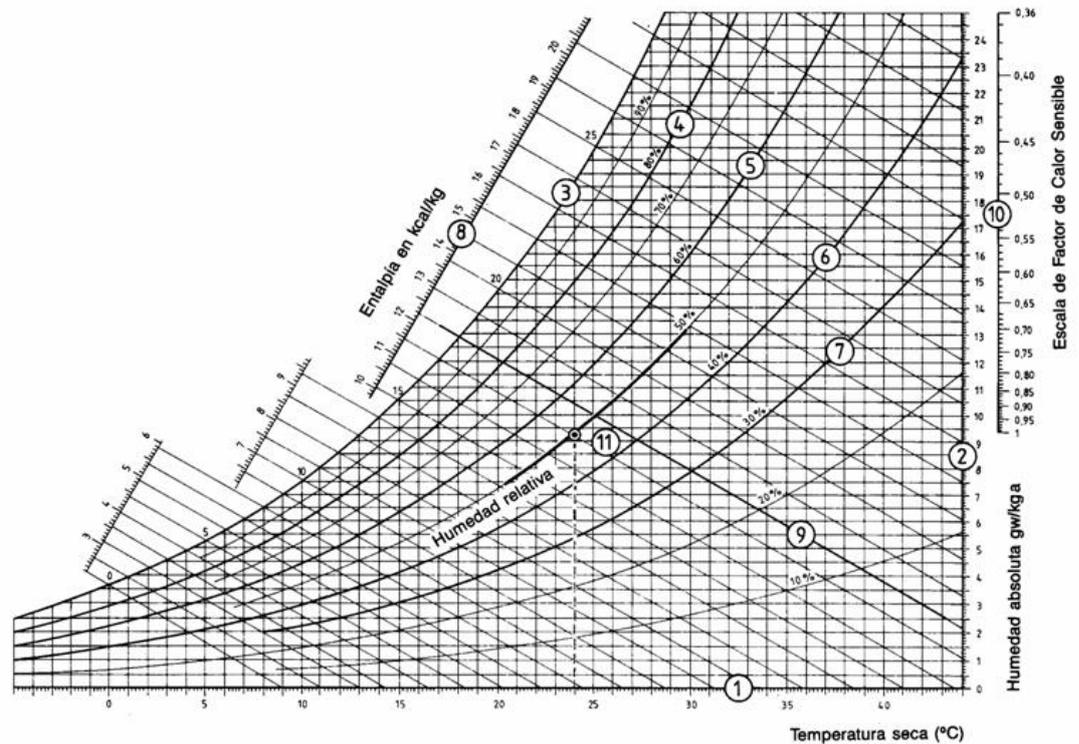


Fig. 3.1 Diagrama Psicrométrico

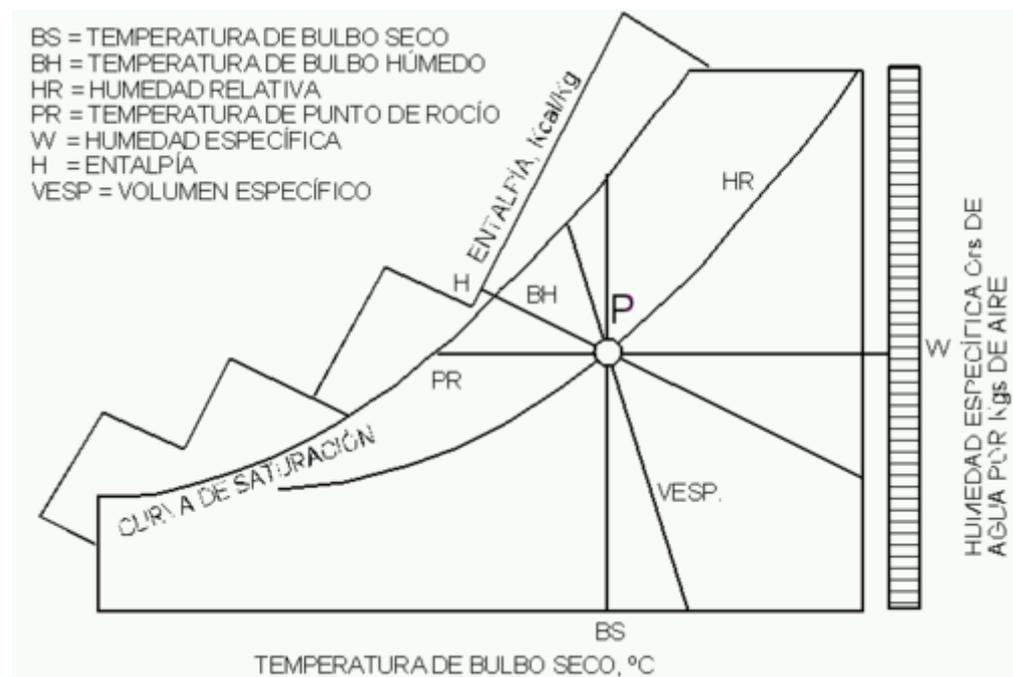


Fig. 3.2 Diagrama Psicrométrico Conceptual

### 3.4.1. Procesos térmicos en el diagrama

Los procesos de calefacción, refrigeración, humidificación y deshumidificación que tienen lugar en el acondicionamiento del aire modifican la condición del aire desde la representada por el punto de estado inicial en el ábaco hasta una condición diferente, representada por un segundo punto en el ábaco.

Observemos los posibles caminos que puede seguir el aire al sufrir un proceso en el diagrama:

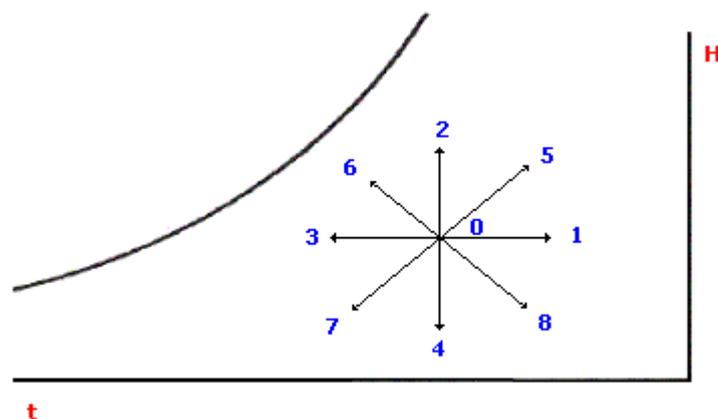


Fig. 3.3 Procesos que se pueden seguir en el diagrama Psicrométrico

#### Proceso 0-1

Este proceso consiste en un aumento de temperatura seca, manteniendo constante la humedad específica  $W$ .

Ejemplo: un aire pasando por una batería de flujos cruzados que contiene agua a una temperatura superior a la  $t_0$  (temperatura del aire).

#### Proceso 0-2

Se trata de un proceso isotérmico con aumento de vapor de agua, lo cual se consigue inyectando vapor de agua a la temperatura  $t_0$ .

#### Proceso 0-3

Consiste en una disminución de la temperatura con humedad específica constante.

Ejemplo: Hacer pasar aire por una batería cuya temperatura exterior sea superior a la temperatura de rocío del aire.

#### Proceso 0-4

Es otro proceso isotérmico durante el cual se produce deshumidificación, es decir, se le quita vapor de agua al aire, sin enfriarlo. Se consigue con sales deshidratantes, figura. 3.4

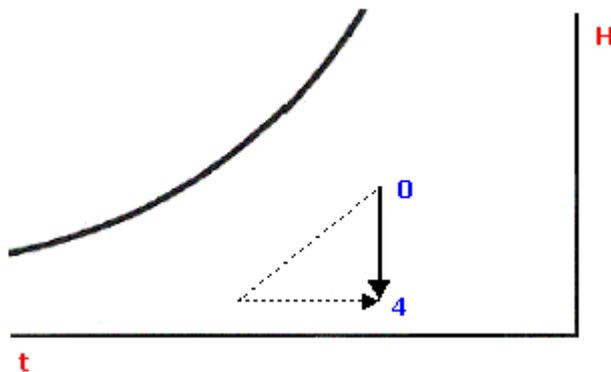


Fig. 3.4 Proceso de deshumidificación

#### Proceso 0-5

En este caso, lo que se produce es un calentamiento con humectación del aire. Se puede conseguir de varias formas:

- Calentando y humectando con agua líquida, figura 3.5

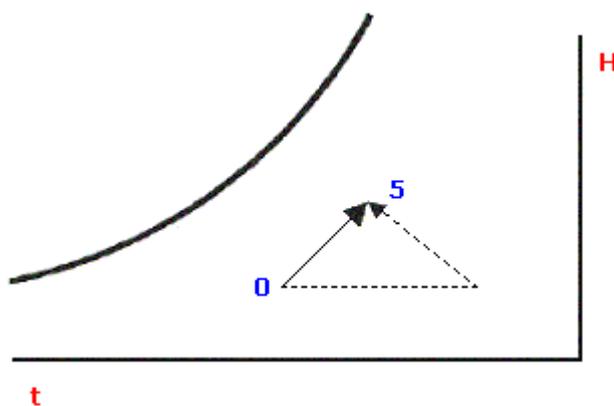


Fig. 3.5 Proceso de calentar y humectar el aire con agua líquida

- Inyectando vapor a una temperatura determinada superior a  $t_0$ . Es el proceso normal que sufre un aire impulsado a un local en verano: se calienta y gana humedad, figura 3.6

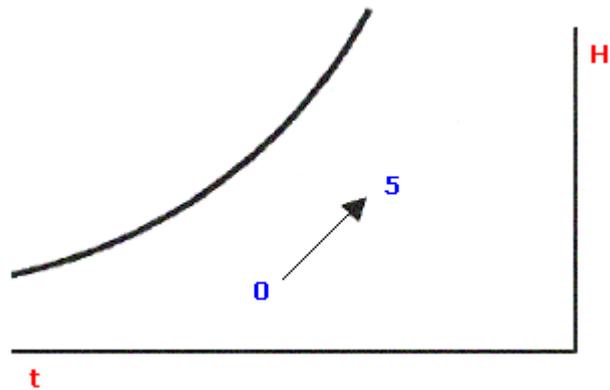


Fig. 3.6 Proceso de inyectar vapor a una temperatura dada

### Proceso 0-6

Al efectuar este proceso, el aire se enfría y se humecta, figura 3.7

Esto se puede lograr inyectando agua líquida, a una temperatura determinada. Se puede conseguir igualmente con otros procesos: calentamiento y humectación con agua líquida o enfriamiento y humectación con vapor. Es el proceso que sufre un aire impulsado en un local en invierno.

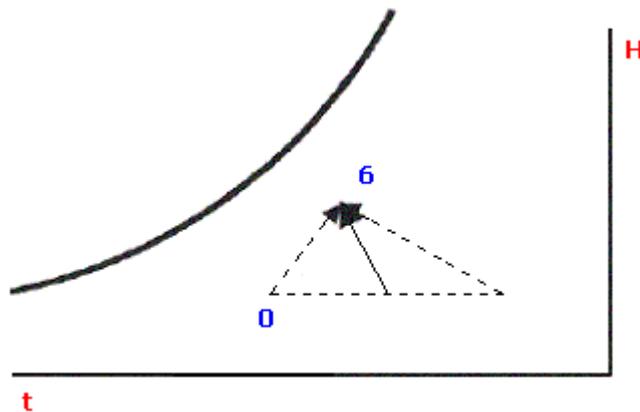
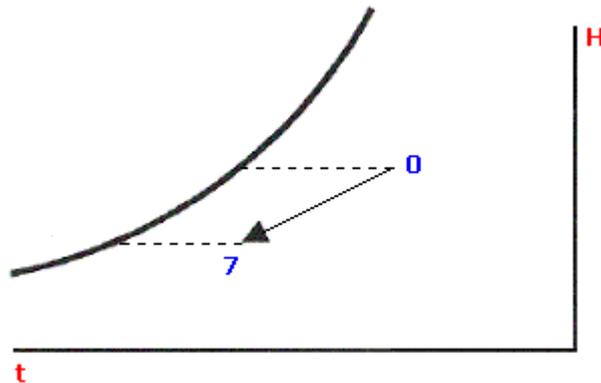


Fig. 3.7 Proceso de enfriamiento y humectación

### Proceso 0-7

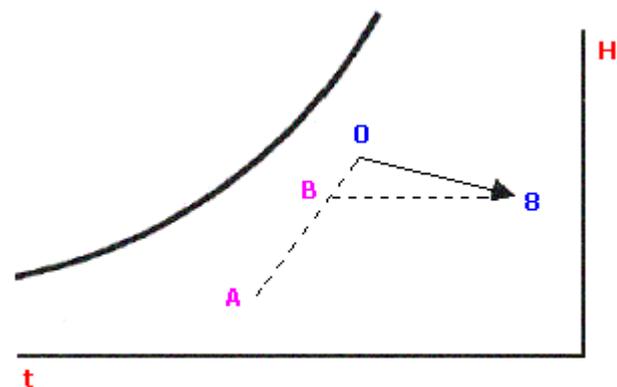
Enfriamiento con deshumidificación. Se consigue haciendo pasar un aire por una batería cuya temperatura superficial sea inferior a la temperatura de rocío del aire, figura 3.8



**Fig. 3.8** Proceso de enfriamiento con deshumidificación

### Proceso 0-8

Calentamiento con deshumidificación. Debemos tener en cuenta que el proceso normal de deshumidificación es mediante enfriamiento o mezclando con otro aire menos húmedo. Por ejemplo, mezclamos aire en las condiciones 0 con aire en las condiciones A; y la mezcla se encuentra en las condiciones B. Calentando dicha mezcla se obtienen las condiciones buscadas (punto 8), Figura 3.9



**Fig. 3.9** Proceso de calentamiento con deshumidificación

Para esto debe observarse nuevamente:

- Las líneas de bulbo seco son líneas de calor sensible constante.
- Las líneas de punto de rocío son líneas de calor latente constante.



- Las líneas de bulbo húmedo son líneas de calor total constante (entalpía constante).

### 3.5. Humidificación y deshumidificación

La humidificación o humectación del aire es un proceso cuya finalidad es incrementar el contenido absoluto de humedad de una masa de aire. La deshumidificación, es el proceso inverso: disminuir la humedad que el aire tiene dentro de sí.

La humidificación consiste en añadir al aire recién filtrado un cierto porcentaje de humedad, mediante el procedimiento de hacer posar la masa de aire en circulación por una cortina de agua en forma de fina lluvia, que se recicla continuamente, o nebulizada por medio de pulverizadores, o bien inyectando vapor acuoso, de modo que el aire se amolda previamente aumentando sus grados, y da lugar a una humidificación acompañada de un calentamiento del aire.

El secado del aire o deshumidificación tiene por objeto rebajar el grado de humedad del ambiente, y ello se logra empleando materias homogéneas higroscópicas, es decir, aquellas que tienen la propiedad de absorber la humedad, siendo muy común el sistema de absorción que efectúa el secado por intermedio de un absorbente sólido de naturaleza regenerable, por ejemplo, el sílice puro o la alúmina, que retiene, en un ciclo de absorción, el vapor de agua comprendido en el fluido, eliminando este vapor por un segundo ciclo de desabsorción, al ser sometido a dicho absorbente a una corriente de aire caliente encargado de evaporar el agua reactivándolo.

Este proceso se los aplica en áreas donde se desea una humedad establecida, ya que para uso corriente, humedades relativas que fluctúen entre el 40% y 60% son suficientes para el confort humano.

### 3.6. Bombas de calor

El sistema de bomba de calor puede transmitir el calor del entorno hacia las dependencias que se pretenden calefactar.



El principio de funcionamiento es el mismo que usa un aparato frigorífico. Un refrigerador consigue enfriar un recinto ya que quita energía del aire interior, a baja temperatura, y la cede al aire exterior, a mayor temperatura, calentándolo.

Si invertimos el funcionamiento de un refrigerador, enfriando el aire exterior y calentando el interior, obtenemos una bomba de calor. Por esta razón la mayoría de estos aparatos son reversibles y permiten refrigerar en verano y calefactar en invierno.

La bomba de calor se suele clasificar según el medio de origen y destino de la energía de tal forma que se denomina mediante dos palabras. La primera corresponde al medio que absorbe calor (foco frío) y la segunda al medio receptor (foco caliente).

### 3.6.1. Principios y componentes básicos

Si recordamos el ciclo de enfriamiento convencional, encontramos que el calor es absorbido por el evaporador interno y descargado por el condensador exterior enfriado por aire. Si se pudiera físicamente reversar los componentes y absorber calor del aire exterior y, por medio del refrigerante, descargarlo en el espacio interior, entonces se obtendría un sistema de calefacción.

Esto es exactamente lo que hace la bomba de calor con su ciclo reversible, excepto que realmente los serpentines del evaporador y condensador no son intercambiados de sitio. Esto se logra por medio de una válvula reversible, en la cual se puede controlar la dirección del flujo del refrigerante para que produzca frío o calor dentro del área acondicionada. Así pues, el ciclo de la bomba de calor queda conformado como lo ilustra la figura 3.10

De ahora en adelante nos referiremos a los serpentines únicamente como el serpentín interior y el exterior. La válvula reversible dirige la descarga y la succión del gas como lo indican las flechas. Válvulas cheque se instalan a la

Capítulo III

salida de cada serpentín para ayudar a controlar el flujo. Siga cuidadosamente las flechas que indican el flujo durante el enfriamiento. El gas de la descarga entra en el serpentín exterior de modo usual. Este gas es condensado y fluye hacia la derecha a través de la válvula check No.1 abierta, puesto que no es posible forzar refrigerante líquido a alta temperatura a través de la válvula de expansión en sentido inverso al normal. La válvula check No. 2 está cerrada, de modo que el refrigerante líquido pasa por la válvula de expansión interior (TVX o tubo capilar) y se evapora del modo usual. El gas de succión sale por la parte alta del serpentín interior y es llevado hasta el compresor a través de la válvula reversible.

Durante la calefacción, el sistema se invierte. El gas descargado por el compresor va hasta el serpentín interior donde entrega su calor y es condensado. La válvula check No. 2, abierta al flujo, hacia la izquierda. La válvula check No.1 está ahora cerrada al flujo y el líquido se ve obligado a pasar a través de la válvula de expansión hasta el serpentín exterior donde es evaporado absorbiendo el calor.

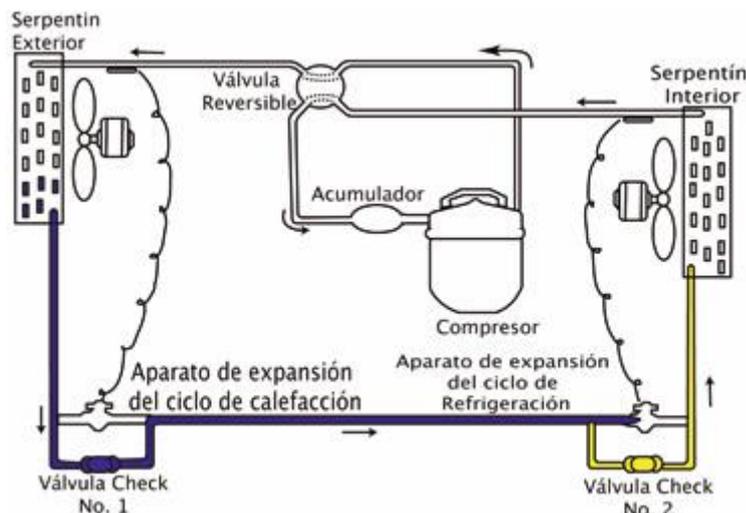


Fig. 3.10 Componentes de una bomba de calor

La explicación anterior ilustra cómo opera un sistema de bomba de calor. En los equipos de los distintos fabricantes hay algunas variaciones en el diseño del sistema y en los componentes, pero el resultado final es esencialmente el mismo.

### 3.6.2. Ciclos de la bomba de calor

A continuación se describen los ciclos de la bomba de calor; los cuales están maniobrados por la válvula reversible

Una válvula reversible típica internamente está compuesta de dos pistones que conforman un carrito que desplaza dentro de un cilindro con dos aberturas. La ilustración figura 3.11 y 3.12 muestra las fases de enfriamiento y calefacción respectivamente

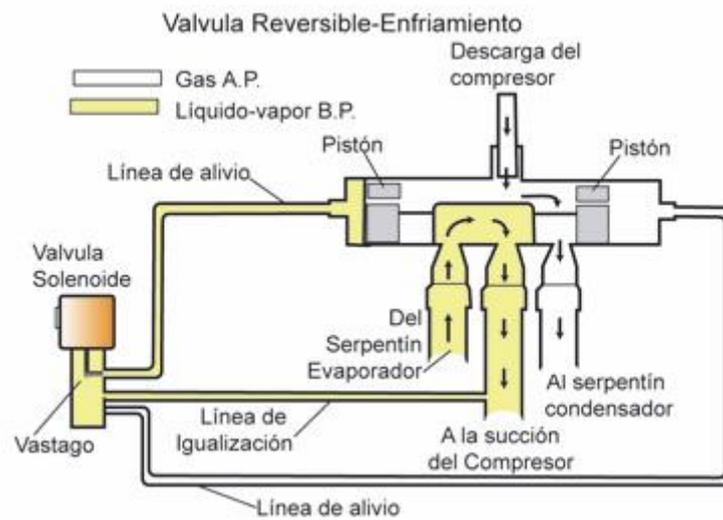


Fig. 3.11 Válvula reversible-enfriamiento

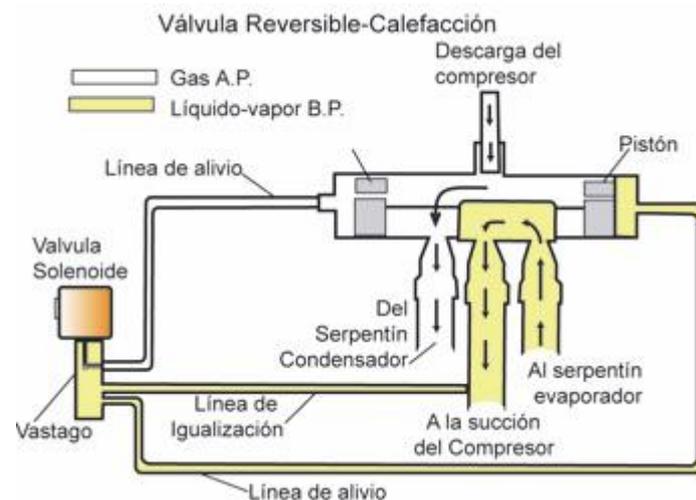


Fig. 3.12 Válvula reversible-calefacción



*Capítulo III*

La válvula de cuatro vías reversible es accionada por una válvula solenoide que usa el gas a alta presión del compresor para mover el carrete hacia la izquierda o derecha dependiendo de qué fase de la operación se necesite.

El vástago de la válvula solenoide cambia la línea de desfogue de acuerdo con el modo de operación. Las líneas blancas delgadas en los pistones representan orificios de diámetro muy reducido a través de los cuales el gas a alta presión puede pasar lentamente haciendo el accionamiento de la válvula mucho más suave y silenciosa.

En el momento del cambio de una fase a otra, una variación demasiado rápida en las presiones podría resultar en excesivo ruido y sacudidas del sistema.

Cuando la bomba de calor está operando en el ciclo de calefacción y el refrigerante se está evaporando en el serpentín exterior, la temperatura en la superficie del serpentín puede caer por debajo de los 0° C (32° F) y comenzará a aparecer escarcha sobre éste. Si se permite que el congelamiento continúe, aumentará gradualmente la capa de hielo hasta que el flujo del aire a través del serpentín quede obstruido.

Esto disminuirá la transferencia de calor y la eficiencia del sistema se verá seriamente afectada. Así pues, se hacen necesarios periódicos ciclos de descongelamiento para derretir el hielo.

### **3.6.3. Componentes**

El sistema básico de una bomba de calor está formado por dos intercambiadores de calor, un compresor, y dispositivos reductores de presión, para bajar el punto de ebullición del refrigerante.

Debido a que el sistema opera en distintas condiciones de temperatura en los modos de calefacción y de refrigeración, los dispositivos reductores de presión tienen que concordar con el serpentín que actuara como evaporador



Capítulo III

en las condiciones que encuentre. Por ejemplo, el dispositivo reductor de presión del serpentín interior debe responder a condiciones de aire de entrada al serpentín a 80°F temperatura de bulbo seco y 50% de humedad relativa, así como 95° de bulbo seco de entrada al serpentín exterior (el condensador). El dispositivo reductor de presión que se utiliza en conjunción con el serpentín exterior, cuando es el evaporador del ciclo de calefacción, debe responder a un aire a 45°F de entrada al serpentín, con 70°F de aire entrando al serpentín interior, que ahora actúa como condensador. Por lo que los dispositivos de reducción de presión, así como los serpentines en los intercambiadores de calor se espera deben operar de manera distinta que en un sistema normal de aire acondicionado.

### Acumuladores

Los *acumuladores* protegen al compresor contra derrames de líquido escapando del evaporador durante carga ligera o durante problemas de reducción de aire. Están conectados entre la salida de la succión de la válvula inversora y la entrada de succión del compresor.

En la bomba de calor, el acumulador se encuentra ante tres situaciones donde el compresor requiere de protección:

1. Inundación durante el ciclo de enfriamiento: si existe alguna restricción de aire, que cause una baja carga, ocurriendo inundación de líquido.
2. Inundación durante el ciclo de calefacción: cuando hay una excesiva acumulación de escarcha sobre el serpentín exterior o si hay problemas de aire y causan derrame de líquido.
3. Terminación del ciclo de descongelación: siempre ocurrirá inundación de líquido al terminar el ciclo de descongelación.

Para fundir la escarcha y el hielo del serpentín exterior, la bomba de calor emplea el método de gases calientes. La acción del sistema se invierte, se toma calor del serpentín interior, se eleva su presión y temperatura en el



*Capítulo III*

compresor, y es forzado al serpentín exterior frío. Con el soplador o ventilador exterior desconectado, el serpentín se calienta rápidamente, fundiendo la escarcha y/o el hielo de la superficie exterior del serpentín. Al ocurrir lo anterior el serpentín se llena de refrigerante líquido condensado. Antes de terminar la operación de descongelación, y que el líquido que sale por la parte inferior del condensador llegue a la temperatura de terminación correcta (55°F), la presión en el condensador puede alcanzar 350 psig y una temperatura de 142°F.

Al terminar el ciclo de descongelación y cambiar la válvula inversora, esta alta presión se descarga hacia el lado de succión del compresor. De inmediato, se formara mucho vapor en el circuito del condensador, forzando el refrigerante líquido fuera del serpentín, hacia la tubería de succión. Esta acción puede compararse a quitar el tapón del radiador de un automóvil al sobrecalentarse el motor.

Sin un acumulador para capturar y mantener el refrigerante líquido, una oleada de líquido entrando al compresor puede arruinar las válvulas. La protección de un acumulador en el sistema de bomba de calor ha alentado variaciones en la cantidad de refrigerante utilizado, lo que no debe tolerarse. La carga de refrigerante en un sistema de bomba de calor es de importancia decisiva.

### **Tuberías de refrigerante**

Las tuberías de refrigerante en un sistema de bomba de calor no son las mismas que en un sistema de aire acondicionado o de refrigeración, donde el refrigerante siempre esta fluyendo en una misma dirección: el refrigerante liquido del condensador al dispositivo reductor de presión; el vapor caliente del compresor al condensador; y el vapor frío del evaporador hacia el compresor.

En las bombas de calor, el flujo de refrigerante se invierte, dependiendo del modo de operación. La tubería de líquidos es siempre la tubería de líquidos,



*Capítulo III*

independiente del modo de operación. En cualquiera de los modos lleva el refrigerante líquido del condensador al evaporador, porque los intercambiadores de calor cambian sus características de operación. La presión del líquido en esta tubería es siempre la presión de operación del líquido del lado de alta.

La tubería de vapor grande del serpentín interior a la sección exterior de la bomba de calor juega un doble papel. Se trata de la tubería de vapor fría (tubería de succión) en el modo de enfriamiento, y de la tubería de vapor caliente (tubería de gases calientes) en el modo de calefacción. Para revisar las presiones de operación, y evitar daños a los indicadores, el técnico de servicio debe recordar que en esta tubería debe conectar un manómetro de alta presión.

Las únicas secciones de los sistemas de circulación de refrigerante que tienen un solo tipo de servicio son: (1) la tubería entre la válvula inversora y la admisión del compresor (tubería de succión), y (2) la tubería de salida del compresor a la válvula inversora (tubería de gases calientes). Para estar en condiciones de determinar problemas dentro del sistema del refrigerante, se requieren cuatro manómetros: (1) un manómetro compuesto, conectado a la tubería de succión, y manómetros normales, conectados a la (2) tubería de gases calientes, (3) a la tubería de líquidos y (4) a la tubería de vapor que va al serpentín exterior.

En los sistemas de aire acondicionado, la tubería de vapor de propósito doble (tubería de succión) se aísla para aumentar la vida del compresor y reducir sudoración en la tubería. En las bombas de calor, también es una necesidad aislar esta tubería de vapor de objetivo dual para reducir la pérdida de calor entre el compresor y el condensador interior. En caso de no existir aislamiento, se puede producir una pérdida de capacidad del sistema de hasta 20 por ciento.



## CAPITULO IV: PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ACONDICIONAMIENTO DE UN LOCAL

### 4.1. Calculo de la carga

La carga total de refrigeración o de aire acondicionado del sistema, expresada en BTU/h, proviene de muchas fuentes de calor. Se puede clasificar las fuentes como sigue:

1. Transmisión de calor.
  - a) Al considerar las fuentes de calor en un cuarto de almacenamiento refrigerado existe una diferencia de temperatura de 60 °F entre el aire exterior a 95 °F y la temperatura de la habitación a 35 °F que causa una gran conducción de calor
  - b) El efecto solar sobre el techo y paredes provoca la acumulación de calor radiante.
2. Infiltración de aire
  - a) El aire se introduce a la habitación como resultado de la apertura y cierre de puertas durante periodos de trabajo normal.
  - b) El aire se introduce en la habitación por grietas o alrededor de sellos en la estructura o en puertas
  - c) El aire es introducido voluntariamente para fines de ventilación
3. Cargas complementarias causadas por objetos que emiten calor como bulbos eléctricos, motores y herramientas, así como personas.

### 4.2. Cargas de calefacción y enfriamiento residencial

Los cálculos de carga residenciales tienen algunas características únicas que se resuelven mejor utilizando un procedimiento diseñado especialmente para aplicaciones residenciales. Hay muchos métodos disponibles, incluyendo algunos utilizados en operaciones de computadora. Un método que tiene una aceptación en la industria es el *Manual J: Load Calculation for Residential Winter and Summer Air Conditioning*, publicado por Air Conditioning Contractors of America (ACCA). Las dos divisiones del manual, una para perdidas de calor, la otra para ganancias de calor, proporcionan métodos prácticos así como datos para efectuar cálculos de carga. El material siguiente procede del manual J:



#### 4.2.1. Perdidas de calor

1. Condiciones de diseño interior y exterior: el manual describe cómo seleccionar los parámetros de diseño exterior a partir de datos meteorológicos ASHRAE, y recomienda una temperatura de diseño interior de 70°F.
2. Las pérdidas del edificio, que incluyen las asociadas con la envoltura del mismo, como:
  - a) Pérdidas de calor por conducción a través de ventanas y puertas de vidrio.
  - b) Pérdidas de calor por conducción a través de puertas sólidas.
  - c) Pérdidas de calor a través de paredes expuestas a la temperatura exterior, o a través de paredes por debajo del nivel del piso.
  - d) Pérdidas de calor a través de divisiones que separan espacios dentro de la estructura a temperaturas distintas.
  - e) Pérdidas de calor a través de techos a habitaciones o a áticos más fríos.
  - f) Pérdidas de calor a través de una combinación de techo y cielorraso.
  - g) Pérdidas de calor a través del piso a un sótano o a un subespacio más fríos, o hacia el exterior,
  - h) Pérdidas de calor a través de pisos de losa de concreto a nivel o a través de pisos del sótano.
  - i) Pérdidas de calor debido a infiltraciones a través de ventanas y paredes o a través de grietas y aberturas en la envoltura del edificio.
3. Pérdidas del sistema:
  - a) Pérdidas de calor a través de ductos ubicados en espacios no calentados.
  - b) Aire de ventilación que debe calentarse antes de entrar al espacio. (En estructuras anteriores la infiltración proveía de suficiente aire fresco hacia el espacio, haciendo innecesaria ventilación. En estructuras más modernas, una construcción más hermética puede requerir ventilación.)



Capítulo IV

- c) Los sistemas de escape de baños y de cocinas tienden a incrementar la infiltración, pero no son un factor en el diseño, porque se usan de manera intermitente.
- d) Normalmente, debe tomarse en consideración el aire de combustión para hornos de gas o petróleo. En residencias antiguas, la infiltración llenara las necesidades de aire de combustión. En residencias más modernas y más herméticas pudiera ser necesario introducir aire de combustión al área del horno o del quemador. En general, los códigos requieren 1 pulg<sup>2</sup> de apertura a una fuente de aire exterior, por cada 1000 Btu/h de entrada de combustible.

Para calefacción de garajes, el manual recomienda un calentador y control por separado.

#### 4.2.2. Ganancia de calor

El cálculo de *ganancia de calor* incluye tomar en consideración las condiciones siguientes:

1. La temperatura de diseño exterior en verano.
2. La radiación solar.
3. El calor y la humedad cedidos por el equipo y los aparatos.
4. El calor y la humedad cedidos por las personas.
5. El calor y la humedad obtenidos por infiltración.

Todas estas condiciones pueden o no ocurrir de manera simultánea.

#### 4.2.3. Condiciones de diseño exterior

Las *condiciones de diseño exterior* se seleccionan a partir de datos meteorológicos. Estos parámetros solo son sobrepasados de 50 a 100 h de junio a septiembre. Al utilizar los parámetros al 97.5% se impide un excesivo sobredimensionamiento del equipo para poder manejar una alta carga temporal.

#### 4.2.4. Rango diario

La diferencia entre las temperaturas alta y baja promedio es el  *margen diario*. La alta normalmente ocurre por la tarde y la baja aproximadamente



al amanecer. El margen diario afecta la carga de enfriamiento, ya que una temperatura nocturna baja puede reducir la carga diurna, debido al factor de almacenamiento. Los factores de margen diario se dan para tres intervalos: el rango "L" debajo de 15°F, el rango "M" para temperaturas entre 15 y 25°F y el grupo "H" que se refiere a un alcance por encima de 25°F.

#### 4.2.5. Almacenamiento

Cuando el sol incide sobre una ventana, su calor radiante es liberado al alcanzar la superficie interior de la casa. Este calor se almacena y luego gradualmente calienta el aire de la habitación. El mismo tipo de fenómeno ocurre en la parte exterior de las estructuras. El calor radiante del sol calienta las superficies y queda almacenado. Gradualmente, el calor llega al interior, donde calienta el aire interior. El efecto neto del *almacenamiento* es retardar y suavizar la carga solar. El efecto retardado de la carga solar está incorporado en los procedimientos utilizados para el cálculo de la ganancia de calor.

#### 4.2.6. Ganancias del edificio o del espacio a ser acondicionado

Las *ganancias del edificio* incluidas en los cálculos son las siguientes:

1. Calor ganado por radiación solar a través de vidrios.
2. Calor transmitido por conducción a través del vidrio.
3. Calor transmitido a través de paredes expuestas al aire exterior.
4. Calor obtenido a través de divisiones que separan espacios acondicionados y no acondicionados.
5. Calor ganado a través de techos desde el ático.
6. Calor ganado a través de techos o de combinaciones de techo y cielorraso.
7. Calor ganado a través de cielorrasos y pisos que separan espacios acondicionados y no acondicionados.
8. Calor ganado por infiltración a través de puertas y ventanas o a través de la envoltura del edificio.
9. Calor producido por las personas.
10. Calor producido por las luces.



#### 11. Calor producido por aparatos y equipos.

Las *ganancias del sistema* incluidas en los cálculos son las que siguen:

1. Calor ganado a través de ductos localizados en espacios no acondicionados.
2. Ganancias de calor asociadas con el aire de ventilación introducido de manera mecánica a través del sistema.
3. Escapes de baños y cocinas que tienden a incrementar la infiltración. Estos dispositivos solo funcionan una pequeña parte del tiempo. Las paredes por debajo del nivel del piso y las losas de concreto no están incluidas en los cálculos de ganancia de calor. Las cargas por humedad debido a la introducción de aire exterior o infiltraciones, personas o aparatos están incluidas en la carga

### 4.3. Procedimiento para el Cálculo de la Carga

Los pasos para el cálculo de las cargas de enfriamiento, pueden seguirse, utilizando los siguientes procedimientos:

#### 4.3.1. Cálculo de la transmisión de calor.

La ganancia térmica a través de paredes, piso y techo varía de acuerdo con:

- El tipo de construcción
- El área expuesta a temperaturas diferentes
- El tipo y espesor del aislante
- La diferencia de temperatura entre el espacio acondicionado y aire ambiente

La conductividad térmica (k) varía directamente con el tiempo, el área y la diferencia de temperatura. Se expresa en BTU/h, por pie<sup>2</sup> de área, por pulgada de espesor y por °F de diferencia de temperatura

Al fin de reducir la transferencia de calor, el factor de conductividad térmica (basado en la composición del material) deberá ser tan pequeño como posible y el material aislante tan grueso como económicamente factible



Capítulo IV

La transferencia térmica a través de cualquier material también es afectada por la resistencia superficial al flujo de calor causada por el tipo de superficie (rugosa o lisa), su posición (vertical u horizontal), sus propiedades reflejantes y la velocidad de flujo de aire sobre la superficie

La pérdida de calor se mide por resistencia (R), que es la resistencia al flujo de calor, ya sea de 1" de material, o de un espesor especificado, de un espacio de aire, de una película de aire o de todo un conjunto. Este valor se expresa como la diferencia en temperatura en °F por BTU por hora, por pie<sup>2</sup>.

Un valor alto de R indica baja velocidad de flujo de calor. Para obtener la resistencia total de varios componentes de una pared pueden sumarse las resistencias de los componentes:

$$R = R1 + R2 + R3+. .... \quad (4.1)$$

De donde la resistencia térmica (R) que es el reciproco de la conductancia se la obtiene de la siguiente relación:

$$R = \frac{1}{ho} + \frac{Xm}{Km} + \frac{Xc}{Kc} + \frac{1}{hi} \quad (4.2)$$

Donde:

R resistividad térmica (h\*pie<sup>2</sup>\*F/BTU)

Km conductancias de los materiales para paredes (BTU/ h\*pie\*F)

Kc conductancias de los materiales para techos

ho coeficiente de convección del aire interior (BTU/ h\*pie\*F)

hi coeficiente de convección del aire exterior

Xm y Xc espesor de paredes y techos respectivamente (pulg)

**Nota.** Los valores de Km y Kc se dan en la tabla 4.1; mientras que ho, hi se obtienen de la tabla 4.2 o mediante cálculos matemáticos

**Tabla 4.1** Coeficientes típicos de transmisión de calor

Material	Densidad	Temp. media (°F)	Conduc. k	Conduc. C	Resistencia, R	
					Por pulg.	General
<i>Materiales aislantes</i>						
Hoja de lana mineral	0.5	75	0.32			
Hoja de fibra de vidrio	0.5	75	0.32			
Tablero de caucho	6.5-8.0	0	0.25			
Tablero de fibra de vidrio	9.5-11.0	-16	0.21			
Uretano expandido, R-11		0	0.17			
Poliestireno expandido	1.0	0	0.24			
Tablero de lana mineral	15.0	0	0.25			
Cubierta aislante para techo, 2 pulg		75		0.18		5.56
		0	0.23			
Lana mineral, relleno suelto	2.0-5.0	0	0.32			
Perlita, expandida	5.0-8.0					
Madera dura	45	75	1.1			0.81
Madera blanda	45	75	0.8			1.25
<i>Materiales de mampostería</i>						
Concreto, arena y grava	140					
Tabique común	120	75				
Tabique de fachada	130	75	12.0			0.08
Teja hueca, de 2 celdas de 6 pulg		75	5.0			0.20
		75	9.0	0.66		0.11
Bloque de concrete, arena y grava de 8 pulg		75		0.90		1.11
Bloque de concrete, de cenizas, 8 pulg Recubrimiento de plástico y arena	105	75	5.6	0.58	0.18	1.72

**Tabla 4.2** Valores de ho, hi

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance					
		Non-reflective		Reflective			
		e=0.90		e=0.20		e=0.05	
		hi	R	hi	R	hi	R
STILL AIR							
Horizontal	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping -45	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping -45	Downward	1-32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55
MOVING AIR (Any position)		ho	R	ho	R	ho	R
15 mph Wind	Any	6.00	0.17	-	-	-	-
(for winter)							
7.5 mph Wind	Any	4.00	0.25	-	-	-	-
(for summer)							



### Relaciones matemáticas para determinar el Coeficiente pelicular del aire $h_o, h_i$

$$Re = \frac{Pe \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (4.3)$$

Donde:

- Re número de Reynolds (adimensional)
- Pe Perímetro humedecido (m)
- $\rho$  Densidad del aire en función de la temperatura ( $\text{kg/m}^3$ )
- v velocidad media del viento en la ciudad de Loja (m/s)
- $\mu$  Viscosidad dinámica ( $\text{Ns/m}^2$ )

**Nota.** Los valores de las constantes  $\rho, v, \mu$  se dan en la Tabla 4.3 Estos valores se evalúan a temperatura exterior e interior del local en grados absolutos (K). Los valores de la velocidad media del viento se puntualizan en la tabla del anexo 4

$$h = 0.023 * \frac{Ka}{Pe} * Re^{0.8} * Pr^{0.4} \quad (4.4)$$

Donde:

- h coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
- Ka conductividad térmica del aire ( $\text{W/mK}$ )
- Pr número de Prandtl (adimensional)

**Nota.** Los valores de las constantes Ka, Pr se dan en la Tabla 4.3 Estos valores se evalúan a temperatura exterior e interior del local

**Tabla 4.3** Propiedades Termofísicas del aire a presión atmosférica

T (K)	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$c_p$ (J/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ )	$\nu \cdot 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Pr
100	3,5562	1.032	71,1	2,00	9,34	2,54	0,786
150	2,3364	1.012	103,4	4,426	13,8	5,84	0,758
200	1,7548	1.007	132,5	7,590	18,1	10,3	0,737
250	1,3947	1.006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,720
300	1,1614	1.007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	0,9950	1.009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,700
400	0,8711	1.014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,690
450	0,7740	1.021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686
500	0,6964	1.030	270,1	38,79	40,7	56,7	0,684



**Coefficiente total de transferencia de calor (U).** Es la cantidad de calor transmitido a través de un material compuesto de paredes paralelas, resulta después de considerar la conductividad, conductancia y coeficientes peliculares de la superficie

$$Um = \frac{1}{R} \quad (4.5)$$

$$Q = A * U * DTE \quad (4.6)$$

Donde:

Um        coeficiente de transferencia de calor (BTU/h\*pie<sup>2</sup> F)

Q        transferencia de calor para paredes y techos (BTU/h)

A        área de transferencia de calor de paredes y techo (pie<sup>2</sup>)

DTE      diferencial de temperatura equivalente (°F)

**Nota.** Los valores DTE para paredes son tomados de la Tabla 4.4; y para el techo de la Tabla 4.5; restando 14.6 al valor seleccionado, en ambos casos. Para los cálculos considerar una construcción liviana y bajo techo

**Tabla 4.4.** Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para paredes

Construcción de la pared	Hora estándar	NE		E		SE		S		SO		O		NO		N (con sombra)	
		osc.	claro	osc.	claro												
CONSTRUCCION LIVIANA	9 a.m.	28	17	35	20	29	17	16	10	18	12	18	12	15	10	14	9
	Mediodía	27	17	38	22	38	23	27	17	24	15	24	15	20	14	17	12
	3 p.m.	24	17	29	20	31	21	32	21	37	24	34	22	26	18	20	15
	6 p.m.	23	17	26	19	26	18	26	18	41	25	47	30	37	24	21	16
CONSTRUCCION MEDIO - LIVIANA	3 a.m.	12	8	14	9	11	7	6	4	8	5	9	5	7	5	7	5
	Mediodía	25	14	34	13	27	15	11	7	9	7	9	6	9	4	10	6
	3 p.m.	29	18	35	23	39	22	26	16	21	16	18	12	15	11	16	11
	6 p.m.	30	20	37	24	39	25	36	24	41	24	38	25	29	20	22	17
CONSTRUCCION MEDIO - PESADA	9 a.m.	14	11	17	13	16	12	14	11	18	12	20	16	17	11	12	10
	Mediodía	17	11	21	14	19	12	13	9	15	10	16	11	14	10	11	8
	3 p.m.	21	14	28	19	25	15	16	11	14	11	17	11	14	10	12	9
	6 p.m.	25	16	32	19	30	18	23	15	23	15	22	15	18	12	15	11
CONSTRUCCION PESAOA	9 a.m.	20	14	26	16	23	15	20	14	24	16	26	17	21	15	15	11
	Mediodía	19	13	24	15	22	14	19	13	24	15	24	15	20	14	14	11
	3 p.m.	20	13	24	16	22	15	18	13	22	14	23	15	19	13	14	10
	6 p.m.	20	14	26	16	25	16	19	13	22	14	23	15	18	13	14	11

Para ejemplos de cada tipo de construcción vea las notas debajo



NOTAS:

1. Tabla basada en una temperatura exterior de diseño de 95 °F y en una temperatura interior de diseño de 75 °F
2. Cuando la diferencia de temperatura entre interior y exterior sea de mas (o menos) de 20 °F, sume el exceso (o reste la diferencia) a los valores de la tabla
3. Para calcular la pérdida o ganancia de calor a través de particiones que separan un espacio acondicionado de otro sin acondicionar, use una diferencia de temperatura de 5 grados menos que la diferencia de temperatura de diseño a menos que se espere que exista otra temperatura predominante
4. Todas la paredes incluyen un terminado interior de repello de 3/4" o de placas de asbesto-cemento

**Tabla 4.5** Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para techos

Construcción del techo <sup>2</sup>	HOHA E5TANOAR							
	a.m.				p.m.			
	9		12		3		6	
	Osc.	claro	osc.	claro	osc.	claro	osc.	claro
<b>CONSTRUCCION LIVIANA</b>								
Cubierta da acero con aislamiento da 1 a 2"	34	14	81	42	90	50	56	34
Estructura da madera de 1" con aislamiento do 1 a 2"	19	6	65	32	88	48	70	40
Estructura da madera de 2.5" can aislamiento de 1 a 2"	7	-1	38	17	68	35	73	40
<b>CONSTRUCCION MEDIANA</b>								
Estructura de madera de 4" con aislamiento da t a 2"	8	1	21	8	44	19	60	32
Concreto liviano de 4" (sin aislamiento)	8	1	40	17	70	38	75	41
Concreto pesado de 2" con 1 a 2" de aislamiento								
Concreto liviano de 6 a 8" (sin aislamiento)	32	62	19	41	8	16	-1	4
<b>CONSTRUCCION PESADA</b>								
Concrete pesada de 4" con aislamiento de 1 a 2"	11	3	21	8	39	19	53	23
Concreto pesado de 6" con aislamiento de 1 a 2"	18	9	21	9	33	15	44	22
<b>TECHOS BAJO SOMBRA</b>								
Livianos	3		11		18		17	
Medianos	2		7		15		17	
Pesados	3		5		11		15	

Los valores de esta tabla están basados en una diferencia de temperatura de 20 °F entre el interior y el exterior. Cuando la diferencia sea mayor (o menor) de 20 grados, sume el exceso (o reste la diferencia) a los valores de la tabla.



### Ganancia de calor solar por Cristales

$$Q = A * factor \quad (4.7)$$

Donde:

Q transferencia de calor por ventanas (BTU/h)

A área de transferencia de calor por ventanas (pie<sup>2</sup>)

f factor de corrección para cristales (adimensional)

**Nota.** El valor f se obtiene de la Tabla 4.6

**Tabla 4.6** Ganancia de calor solar (BTU/h pie<sup>2</sup> de área de ventana)

Dirección a la que mira la ventana	N	NEyNO	EyO	SEySO	S	Horiz.
Vidrio transparente (sencillo) o doble, sin protección	40	130	200	160	100	
Protegido completamente por marquesinas	12	48	56	45	29	265
Luces dentro de pers. o pers. venecianas	24	77	122	95	58	
Tabiques de vidrio sin protección	16	52	80	64	40	

### Calor total por transmisión

$$Q_{transmsion} = Q_p + Q_t + Q_c \quad (4.8)$$

Donde:

Q<sub>p</sub> ganancia de calor por paredes

Q<sub>t</sub> ganancia de calor por techo

Q<sub>c</sub> ganancia de calor solar por cristales



### 4.3.2. Carga térmica por infiltraciones

El aire exterior que entra al espacio acondicionado debe ser reducido a la temperatura de diseño, incrementando así la carga de refrigeración. Si el contenido de humedad de aire que entra esta por arriba del espacio, la humedad en exceso se condensara en el aire, aumentado así la carga de refrigeración.

Se utiliza las siguientes relaciones para determinar la carga térmica de infiltraciones

#### Volumen de infiltraciones

$$V_{inf} = \frac{V_t * I}{60} \quad (4.9)$$

Donde:

$V_{inf}$  volumen de infiltraciones (pie<sup>3</sup>/min)

$V_t$  volumen total del local a acondicionar (pie<sup>3</sup>)

$I$  número de infiltraciones

#### Volumen de ventilación

$$V_{vent} = \Sigma_{personas} * CFM \quad (4.10)$$

Donde:

$V_{vent}$  volumen de ventilación (pie<sup>3</sup>/min)

$\Sigma_{personas}$  número de personas que ocupan el local acondicionado

$CFM$  pies<sup>3</sup>/min\*persona de aire de ventilación

**Nota.** El valor de infiltraciones y los CFM se los obtiene de la tabla 4.7 y 4.8 respectivamente.



**Tabla 4.7** Infiltraciones

Tipo de ventana	Descripción de la ventana	Velocidad del viento (mph)	
		Verano	Invierno
		7 <sup>1/2</sup>	15
Marco de madera doble (sin cerrar)	Total por ventana promedio, no equipada con encintado intemperie, con separación de 1/16" y holgadura de 3/64"	14	39
	Lo mismo, pero con encintado intemperie	8	24
	Total para ventana mal ajustada, sin encintado intemperie, con separación de 3/32" y holgadura de 3/32"	48	111
	Lo mismo, pero con encintado intemperie	13	34
Doble Marco de metal	Sin encintado intemperie, cerrada.	33	70
	Sin encintado intemperie, sin cerrar	34	74
	Con encintado intemperie, sin cerrar.	13	32
Marco de acero rolado	Pivoteada de tipo industrial, separación de 1/16".....	80	176
	Proyectada tipo arquitectónico grieta o separación de 3/64"	36	88
	En instalación residencial, separación de 1/32". .....	23	52
	Sección del cajón pesado proyectado 1/32" de separación. ....	16	38
Descripción de la puerta			
Mal ajustada		96	222
Bien ajustada		48	111
Con encintado intemperie		24	56

**Tabla 4.8** Ventilación (CFM)

Aplicación	Ocup. Estimada máxima p/1000pies <sup>2</sup>	Necesidades de aire exterior	
		Pies <sup>3</sup> /min/ persona	Pies <sup>3</sup> /min/ persona
<i>Servicio de alimentos y de bebidas</i>			
Comedores	70	20	
Cafetería, comida rápida	100	20	
Cocinas (preparación de alimentos)	20	15	
<i>Garajes y estaciones de servicio</i>			
Garaje de estacionamiento cerrado			1.50



Salones de reparación automotriz			1.50
<i>Hoteles, moteles y sitios de entret.</i>			Cuarto
Dormitorios			30
Estancias			30
Baños			35
Recepción	30	15	
Salones de conferencia	50	20	
Salones de reunión	120	15	
Casinos de juego	120	30	
<i>Oficinas</i>			
Espacio de oficina	7	20	
Área de recepción	60	15	
Áreas de captura de datos	60	20	
Salones de conferencia	50	20	
<i>Tiendas de menudeo</i>			Pie <sup>2</sup>
En sótano o a nivel de piso	30		0.30
Pisos superiores	20		0.20
Centres comerciales	20		0.20
Elevadores			1.00
Supermercados	8	15	
Herrería, farmacia, telas	8	15	
Salones de belleza	25	25	
Barbería	25	15	
<i>Deportes</i>			
Áreas de espectadores	150	15	
Cuartos de juego	70	25	
Pistas de hielo (áreas de juego}			0.50
Piscinas			0.50
Gimnasio (entablado)	30	20	
Pistas de boliche (áreas de sentar)	70	25	
<i>Teatros</i>			
Antesala	150	20	
Auditorio	150	14	

### Calor sensible

$$Q_{Sensible} = 1.08 * V * (T_e - T_i) \quad (4.11)$$

Donde:

V volumen ya sea de infiltraciones o ventilación; se escoge el de mayor valor (pie<sup>3</sup>/min)

T<sub>e</sub> temperatura exterior del local (°F)

T<sub>i</sub> temperatura interior del local

### Calor latente

$$Q_{Latente} = 0.68 * V * (W_e - W_i) \quad (4.12)$$



Donde:

$W_e$  humedad absoluta exterior (gr/lb aire seco)

$W_i$  humedad absoluta interior

**Nota.** Los valores de  $W$  se obtienen de la carta Psicrométrica. Anexo 1

**Calor total por infiltraciones**

$$Q_{infiltraciones} = Q_{Sensible} + Q_{Latente} \quad (4.13)$$

**4.3.3. Cargas térmica por misceláneos**

En el estimado total de la carga de enfriamiento debe incluirse también la ganancia de calor por otras fuentes. Algunos ejemplos son:

1. Energía eléctrica disipada en el espacio refrigerado por luces y calentadores convertida a calor. Un watt de energía es igual a 3.41 BTU
2. En cuanto a un motor eléctrico dentro del espacio acondicionado, la tabla siguiente contiene los BTU/h aproximados

**Tabla 4.9** BTU/h de algunos motores

HP del motor	BTU/h	HP del motor	BTU/h
1/16	710	1	3220
¼	1000	1 ½	4770
1/3	1290	2	6380
½	1820	3	9450
¾	2680	5	15600

3. Respecto a personas que trabajan en un interior refrigerado

Las relaciones matemáticas que intervienen en estos cálculos son:

Por iluminación

$$Q_{iluminación} = 3.4 * Plámparas \quad (4.14)$$

Por personas

$$Q_{Spers} = \Sigma_{personas} * Calor sensible \quad (4.15)$$



$$QLpers = \Sigma personas * Calor latente \quad (4.16)$$

Calor total por personas

$$Qpersonas = QSpers + QLpers \quad (4.17)$$

Por equipos

$$Qequipos = 3.4 * Pequipos \quad (4.18)$$

Donde:

Qiluminación ganancia de calor por lámparas (BTU/h)

Plámparas potencia eléctrica de lámparas (W)

QSpers ganancia de calor sensible por personas (BTU/h)

QLpers ganancia de calor latente por personas

Qequipos ganancia de calor por equipos (BTU/h)

Pequipos potencia eléctrica de los equipos (W)

**Nota:** El calor sensible y latente de las personas se obtiene de la tabla 4.10

**Tabla 4.10** Ganancia de calor por los ocupantes

Grado de actividad	Aplicación típica	Calor sensible Btu/h	Calor latente Btu/h
Sentados en reposo	Teatro-Matinee	225	105
	Teatro-Nocturno	245	105
Sentados, trabajo de oficina muy ligero	Oficinas, hoteles, apartamentos	245	155
Trabajo de oficina moderadamente activo	Oficinas, hoteles, apartamentos	250	200
De pie, trabajo ligero; caminando lentamente	Tiendas de deptos., tiendas de menudeo	250	200
Caminando; sentados de pie; caminando lentamente	Farmacias, bancos	250	250
Trabajo sedentario	Restaurantes	275	275
Trabajo ligero de banco	Fabricas	275	475
Baile moderado	Salon de baile	305	545
Caminar 3 mph	Fabrica	375	625
Trabajo moderado pesado			
Boliche	Pista de boliche	580	870
Trabajo pesado			



### Calor total por misceláneos

$$Q_{\text{misceláneos}} = Q_{\text{iluminación}} + Q_{\text{personas}} + Q_{\text{equipos}} \quad (4.19)$$

Donde:

$Q_{\text{miscelaneos}}$  Calor total por misceláneos (BTU/h)

### Cargas totales sensibles y latentes

$$Q_{T\text{sensible}} = Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{iluminación}} + \\ + Q_{\text{Spers}} + Q_{\text{equipos}} \quad (4.20)$$

$$Q_{T\text{latente}} = Q_{\text{Latente}} + Q_{L\text{pers}} \quad (4.21)$$

Donde:

$Q_{T\text{sensible}}$  Calor total sensible (BTU/h)

$Q_{T\text{latente}}$  Calor total latente (BTU/h)

### Calor total que debe contrarrestar el equipo de acondicionamiento de aire

$$Q_T = Q_{T\text{sensible}} + Q_{T\text{latente}} \quad (4.22)$$

## 4.4. Parámetros para la selección del equipo

El proceso básico que se utiliza en el acondicionamiento de aire en verano es un enfriamiento con deshumidificación; el aire que sale de la (U.A.A), entra en el local, se calienta y carga de humedad, hasta las condiciones estacionarias del mismo; sin embargo, el aire que atraviesa la (U.A.A) se enfría hasta una temperatura y humedad determinadas, que son precisamente las condiciones de entrada al local, y que son las condiciones de suministro.

A las condiciones del aire de suministro (aire a la salida del aparato) la designamos por la letra C, a las condiciones estacionarias del local por la letra A, mientras que con la letra B a las condiciones del aire exterior y R al punto de rocío del aparato.

Un esquema sencillo de la instalación de la (U.A.A) junto con la representación gráfica de las líneas de maniobra del proceso, se muestra en la Figura 4.1

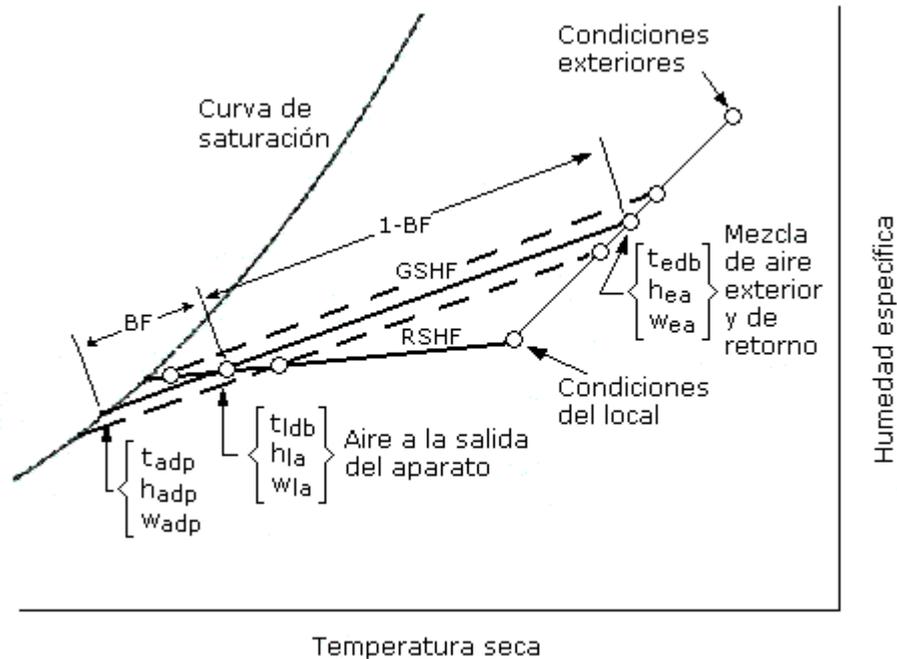


Fig. 4.1 Esquema de instalación de U.A.A

**4.4.1. Determinación del punto C.** Con la temperatura y la humedad relativa puede calcularse la humedad absoluta y la entalpia de los puntos A y B, mismos que corresponden a las condiciones estacionarias del local y del aire exterior respectivamente.

Para ello utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$W = 0.622 * \frac{\theta * PSA}{Patm - \theta * PSA} \quad (4.23)$$

$$i = 0.24 * t + (0.47t + 595)W \quad (4.24)$$

Donde:

W            humedad absoluta (kg agua/Kg aire)

Ø            humedad relativa (%)

PSA        presión de vapor correspondiente a la temperatura t (mm Hg)



- Patm presión atmosférica al nivel del mar (760mm Hg)
- i entalpía de aire (Kcal/Kg)
- t temperatura del aire (°C)

**Nota.** El valor de PSA se lo obtiene de la tabla 4.11

**Tabla 4.11.** Propiedades termodinámicas del aire.

Temperatura °C	Presión		Volumen v" m <sup>3</sup> /Kg	Densidad ρ" gramo/m <sup>3</sup>	Calor latente r Kcal/kg	Entalpía Kcal/kg
	mm (Hg)	mbar				
-10	2,15	2,87	433,50	2,31		
-9	2,33	3,10	393,00	2,55		
-8	2,51	3,35	365,00	2,74		
-7	2,71	3,62	339,20	2,95		
-6	2,93	3,91	315,40	3,17		
-5	3,16	4,22	293,40	3,41		
-4	3,41	4,54	273,10	3,66		
-3	3,67	4,90	254,50	3,93		
-2	3,96	5,27	237,20	4,22		
-1	4,26	5,68	221,10	4,52		
0	4,58	6,10	206,30	4,85	597,3	597,3
1	4,93	6,57	192,60	5,19	596,7	597,7
2	5,29	7,05	179,90	5,56	595,2	598,2
3	5,68	7,58	161,20	5,95	595,6	598,6
4	6,10	8,13	157,30	6,36	595,1	599,1
5	6,54	8,72	147,20	6,79	594,5	599,5
6	7,03	9,35	137,80	7,26	593,9	599,9
7	7,51	10,13	129,10	7,75	593,4	600,4
8	8,02	10,72	121,00	8,26	592,8	600,8
9	8,61	11,47	113,40	8,81	592,3	601,3
10	9,21	12,27	106,42	9,40	591,7	601,7
11	9,85	13,12	99,91	10,01	591,2	602,2
12	10,52	14,02	93,84	10,66	590,6	602,6
13	11,23	14,97	88,18	11,34	590,1	603,1
14	11,99	15,97	82,90	12,06	589,5	603,5
15	12,79	17,04	77,97	12,82	588,9	603,9
16	13,64	18,07	73,39	13,63	588,3	604,3
17	14,53	19,36	69,10	14,47	587,7	604,7
18	15,48	20,62	65,09	15,36	587,1	605,1
19	16,48	21,96	61,34	16,30	586,6	605,6
20	17,54	23,37	57,84	17,29	586,0	606,0
21	18,66	24,86	54,56	18,33	585,4	606,4
22	19,84	26,43	51,50	19,42	584,9	606,9
23	21,07	28,09	48,62	20,57	584,3	607,3
24	22,38	29,82	45,93	21,77	583,8	607,3



Para determinar el punto C, consideraremos que es el resultado de una mezcla adiabática de las corrientes A y B

#### 4.4.2. Cálculo del aire seco de suministro

Para ello se considera una temperatura de aire de suministro TD, y se utiliza la siguiente ecuación:

$$ma = \frac{QT_{sensible}}{1.004*(ti-TD)} \quad (4.25)$$

El gasto másico del aire seco de ventilación se lo considera de entre un 20% y 30% del aire de entrada; es decir.

$$mav = 0.20 * ma \quad (4.26)$$

El gasto de aire seco de recirculación es:

$$mar = ma - mav \quad (4.27)$$

Donde:

ma	gasto másico del aire de entrada (Kg/s)
mav	gasto másico del aire seco de ventilación (Kg/s)
mar	gasto de aire seco de recirculación (Kg/s)
QT <sub>sensible</sub>	Calor total sensible (KW)
ti	temperatura del aire interior del local (°C)
TD	temperatura del aire de suministro (°C)

#### Temperatura del punto C

$$TC = \frac{(mar*ti - mav*te)}{mar+mav} \quad (4.28)$$

#### Entalpia del punto C

$$iC = \frac{(mar*iA - mav*iB)}{mar+mav} \quad (4.29)$$



### Humedad absoluta del punto C

$$WC = \frac{(m_{ar} * W_A - m_{av} * W_B)}{m_{ar} + m_{av}} \quad (4.30)$$

### Humedad relativa del punto C

$$\theta_C = \frac{WC * P_{atm}}{P_C * (0.622 + WC)} \quad (4.31)$$

Donde:

TC	temperatura del aire de suministro (°C)
te	temperatura del aire exterior
iC	entalpía del aire de suministro (Kcal/kg)
iA	entalpía del aire correspondiente a las condiciones estacionarias del local (Kcal/kg)
iB	entalpía del aire exterior (Kcal/kg)
WC	humedad absoluta del aire de suministro (kg agua/Kg aire)
WA	humedad absoluta del aire correspondiente a las condiciones estacionarias del local
WB	humedad absoluta del aire exterior
ØC	humedad relativa del aire de suministro (%)
PC	presión de vapor correspondiente a la temperatura TC

**4.4.3. Determinación del punto D.** La inclinación de la recta AD, se puede determinar a partir del coeficiente de calor sensible (CCS) del local, cuyo valor es:

$$CCS = \frac{QT_{sensible}}{QT} \quad (4.32)$$

El CCS se puede expresar en función de las entalpías en la forma:

$$i_D = \frac{CCS * i_A - 1.004 * (t_i - T_D)}{CCS} \quad (4.33)$$

Cálculo de la humedad absoluta del punto D

$$WD = \frac{i_D - 0.24 * T_D}{0.47 * T_D + 595} \quad (4.34)$$



Humedad relativa del punto C

$$\theta D = \frac{WD * Patm}{PD * (0.622 + WD)} \quad (4.35)$$

**4.4.4. Determinación del punto R.**-Para calcular las condiciones del punto R (punto de rocío) hay que tener en cuenta que pertenece a la recta (RC) y a la curva de saturación; a su vez se conoce la intersección de las rectas (RC) y (AD), que es el punto D

$$iR = 0.24 * TR + (0.47TR + 595)WR \quad (4.36)$$

**4.4.5. Determinación del factor de by-pass f.** Aplicando a la mezcla de corrientes R y C que conforman D

$$f = \frac{TD - TR}{TC - TR} \quad (4.37)$$

**4.4.6. Potencia calorífica absorbida por los serpentines.**-El calor absorbido por los serpentines se lo determina a partir de la siguiente ecuación:

$$M = (1 - f) * ma \quad (4.38)$$

$$Q = M(iC - iR) \quad (4.39)$$

Donde:

PD presión de vapor correspondiente a la temperatura TD

TR temperatura del punto de rocío

f proporción de aire seco que no ha entrado en contacto con el serpentín

M caudal de aire seco que entra en contacto con los serpentines

Q potencia calorífica para seleccionar el UAA

## CAPITULO V: EVALUACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

### 5.1. Características generales del sistema de acondicionamiento de aire con bomba de calor

Considerando las sugerencias dadas por los técnicos de los diferentes almacenes y empresas distribuidoras de equipos de aire acondicionado que se visito tanto de la ciudad de Guayaquil, Quito y Piura, se selecciono los siguientes componentes para nuestro sistema:

#### 5.1.1. Compresor

El 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 baja a alta genera un aumento de temperatura y una reducción en volumen (es decir una compresión) del vapor.

La unidad instalada en este sistema cuenta con las siguientes características:

TIPO:	HERMETICO
MARCA:	TOSHIBA
MODELO:	PH195X2C-3FTU1
POTENCIA:	1Hp
REFRIGERANTE:	R-22
VOLTAJE:	208/230 V
FRECUENCIA	50/60 Hz
L.R.A.:	36



### 5.1.2. Unidad Exterior

El serpentín exterior es también un serpentín de alimentación superior con salida inferior, que opera como condensador en el ciclo de enfriamiento. Normalmente los condensadores se conectan de su parte superior a su parte inferior independientemente de la carga del circuito, dada que la operación no queda afectada por ningún desequilibrio de carga del circuito. Cuando sin embargo, es utilizado en el ciclo de calefacción como evaporador, debe operar con la circulación correcta para máxima capacidad



### 5.1.3. Unidad Interior

El serpentín interior está diseñado para actuar como alimentación superior de los gases calientes y de salida inferior de los líquidos, al ser utilizado como condensador, y por otra parte el intercambiador opera como un tipo de alimentación inferior del serpentín evaporador. Sus dimensiones generales y la superficie del intercambiador de calor son mayores que en los serpentines normales, ya que su función primaria es rechazar calor como condensador



#### 5.1.4. Dispositivo de expansión (tubo capilar)

El tubo capilar es un dispositivo que permite la expansión del refrigerante y la alimentación a la unidad exterior o a la unidad interior, según la fase de operación que se seleccione.

Nuestro sistema cuenta con un tubo capilar de 3mm de diámetro, el cual al recibir en su interior el refrigerante produce un diferencial de presión entre el lado de alta y el lado de baja del sistema y también regula el flujo del refrigerante. El tamaño de la restricción sirve para mantener una temperatura de condensación lo suficientemente alta por encima del medio condensante a fin de condensar el vapor a alta presión proveniente del compresor. El tubo capilar también se coloca para mantener un temperatura de evaporación lo suficientemente baja a fin de absorber el calor del medio que se está enfriando, y evaporar el refrigerante liquido que está entrando al evaporador.

Como se puede observar en el equipo se adiciona una válvula de 1 vía (check), esto con la finalidad de que en el ciclo de calefacción, cuando el serpentín interior actúa como condensador y el refrigerante fluye en dirección opuesta, esta válvula se abre para eliminar del circuito la restricción que presente el tubo capilar; en otras palabras se agrega mas longitud en el dispositivo de expansión. En el ciclo de refrigeración, se cierra y por lo tanto se ve reducida la longitud del componente



#### 5.1.5. Válvula inversora de 4 vías

La selección de la función del intercambiador de calor para tomar (evaporador) o ceder calor (condensador) queda determinada por la acción de la válvula inversora.

Capitulo V

La válvula de cuatro vías reversible es accionada por una válvula solenoide que usa el gas a alta presión del compresor para mover el carrito hacia la izquierda o derecha dependiendo de qué fase de la operación se necesite.

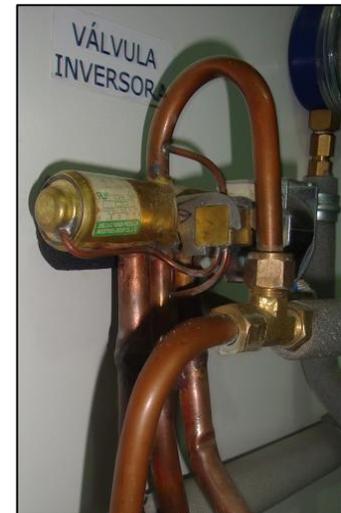
La válvula inversora instalada en este sistema reúne las siguientes características:

MARCA: DUNAM (Solenoid coil)

VOLTAJE: 220/240 V

FRECUENCIA: 50/60 Hz

POTENCIA: 4-6w



### 5.1.6. Mirilla o visor de líquido

Una mirilla es un tipo de ventana colocada en la tubería de líquidos para determinar el estado del refrigerante.

Se puede visualizar los estados del refrigerante:

- a.- Si la tubería de líquidos solo contiene líquidos o una mezcla de líquidos y vapores de refrigerante;
- b.- Si el refrigerante está seco o contiene humedad.

La mirilla está colocada en la tubería de líquidos entre el condensador y el evaporador, antes de que esta tubería entre en el dispositivo medidor. En un sistema operando correctamente es necesario en este punto, tener una corriente solida de refrigerante seco (libre de humedad)



En el sistema se han instalado 4 visores de líquido refrigerante

### 5.1.7. Acumulador

Un acumulador es un recipiente colocado en la tubería de succión delante del compresor para recolectar cualquier refrigerante líquido que no se haya evaporado antes de llegar a dicho compresor. Es un dispositivo muy sencillo, pero de gran importancia en ciertos tipos de instalación. Normalmente su selección es de importancia y se debe evitar incurrir en errores cuando se lo utiliza en sistemas de bomba de calor



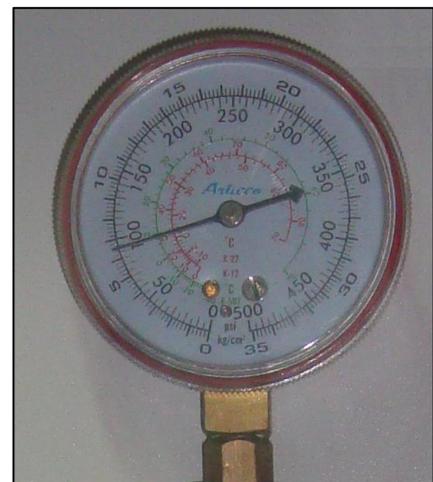
### 5.1.8. Manómetros

Es necesario en un sistema poder determinar el rendimiento, es decir saber qué es lo que está pasando dentro del sistema, y esto se lo logra a partir de las mediciones de presión respectivas. Generalmente existen dos tipos de manómetros utilizados con esta finalidad y se los idéntica como manómetro de alta presión y manómetro compuesto.

Los manómetros de alta presión nos sirve para determinar la presión del lado de alta, es decir de condensación. Normalmente viene graduado de 0-500PSI

Los manómetros compuestos se los utiliza del lado de baja (presiones de succión) y por lo general esta graduado desde un vacío de 30 in Hg a 120PSI; por tanto, puede medir presiones por encima y por debajo de la presión atmosférica.

De la misma forma en la caratula de cada uno de estos indicadores existe



una escala interna que da las lecturas correspondientes de refrigerante saturado a una presión particular. En caso de los instalados en este banco las caratulas están marcadas para refrigerante R12, R-22, R-502

El sistema tiene instalado 1 manómetro compuesto y 3 de alta presión.

### 5.1.9. Termómetros

En cualquier sistema de refrigeración o de acondicionamiento de aire es de vital importancia obtener lecturas precisas de temperatura. Los termómetros están disponibles en varias escalas, dependiendo de la precisión necesaria y de la naturaleza de la aplicación. Normalmente se los utiliza para calcular, verificar y ajustar el sobrecalentamiento y/o subenfriamiento del refrigerante.

El sistema tiene 2 termómetros digitales de bulbo remoto de las siguientes características:

MARCA: ARTICO  
SERIE: TR-4060DF  
RANGO: -46C/-50F a 70C/158F



### 5.1.10. Refrigerante R-22

El R22, Monoclorodifluormetano, es gas incoloro comúnmente utilizado para los equipos de refrigeración, en principio por su bajo punto de fusión, (-157 °C).

- Fórmula química  $\text{CHClF}_2$
- Peso molecular 86,5
- Punto de ebullición  $-40,9^\circ\text{C}$
- Densidad 3 veces la del aire, en estado líquido 1,2 veces la del agua.
- En estado gaseoso a  $20^\circ\text{C}$  tiene una presión de 9,1 Pascal (dato importante para el trabajo en las instalaciones de refrigeración, pues una medida



esencial que es la presión del circuito, depende de la temperatura ambiente)

**Tabla 5.1** Características del refrigerante R-22

<b>General</b>	
Nombre taxonómico	Clorodifluorometano
Otros nombres	Difluoromonoclorometano HCFC-22 R-22 halocarbon R22 Freón 22
Fórmula molecular	$\text{CHClF}_2$
SMILES	CIC (F) F
Masa Molar	86,48 g/mol
Apariencia	Gas incoloro
N° CAS	CAS=75-45-6
<b>Propiedades</b>	
Densidad y fase	1.413 kg/m <sup>3</sup> a -41 °C, líquido. 4,706 kg/m <sup>3</sup> a -41 °C, gas. 3,66 kg/m <sup>3</sup> a 15°C, gas.
Solubilidad en agua	0,7799 vol/vol (25 °C)
Punto de fusión	-175,42 °C (97,73 K)
Punto de ebullición	-40,7 C (232,45 K)
Viscosidad	12,56 μPa·s a 0 °C
<b>Estructura</b>	
Geometría coordinada geometría	Tetraédrico.
<b>Peligros</b>	
[[Hoja de datos de seguridad MSDS]]	External MSDS]]



Principal [[Salud y seguridad en el trabajo Peligros	Sistema nervioso central depresivo
NFPA 704	Salud = 1   Reactividad = 1
Nº RTECS	PA6390000
<b>Compuestos relacionados</b>	
CFC relacionados	diclorodifluorometano
Compuestos relacionados	Metano
estado estándar a 25 °C, 100 kPa	

## 5.2. PROPUESTA ALTERNATIVA Y GUÍAS PARA PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

### 5.2.1. Propuesta Alternativa

La propuesta alternativa que planteamos está orientada a diseñar y construir un equipo idóneo para la enseñanza de los procesos de acondicionamiento de aire, en especial con la utilización de válvula reversible de cuatro vías (bomba de calor)

El equipo cuenta con un banco o mesa construido de tubos metálicos y tablero de partículas de madera (melanina) donde se sitúa los diferentes componentes del sistema.

Las unidades instaladas son: el compresor, los intercambiadores de calor, manómetros, termómetros, tuberías de refrigerante, acumulador, tubo capilar, mirillas o visores, sensores de temperatura y de humedad; es decir componentes básicos de un sistema típico de refrigeración

El dispositivo que hace la diferencia en este sistema es la válvula reversible de cuatro vías El propósito fundamental es hacer que los componentes básicos puedan recibir calor de otro fluido y meterlo al

*Capitulo V*

espacio acondicionado cuando se precise calefacción. Es decir, el acondicionador de aire proporcionara calefacción o refrigeración mediante la inversión automática de su ciclo de funcionamiento.

También se le ha instalado un sistema de control electrónico, es decir, una serie de circuitos eléctricos y electrónicos que permite maniobrar al equipo de forma semiautomático.

Adicionalmente se construyo un cuarto/habitación que permita aislar el sistema de los alrededores; pudiendo con ello hacer prácticas de refrigeración, calefacción, y deshumidificación con sensación real de quienes estén utilizando el equipo. Cuando se dice aislar de los alrededores, nos referimos a que éste no está diseñado para contrarrestar grandes cargas térmicas, por ello, la necesidad de la hermeticidad. El cuarto está construido de melamina y estructura metálica, todo desmontable para una mejor facilidad de movilización.

Se entrega con un trabajo eminentemente técnico y de fines didácticos para beneficio de estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja.





## 5.2.2. CÁLCULOS MATEMÁTICOS QUE VALIDAD LA PROPUESTA ALTERNATIVA

### CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA DE ENFRIAMIENTO

Tomando en cuenta una temperatura de diseño exterior 68 °F (20 °C) e interior 62.6 °F (17 °C) y 0.35 in de espesor en las paredes

### CARGA TÉRMICA POR TRANSMISIÓN

#### Calculo del coeficiente pelicular del aire ho, hi

Para una temperatura ambiente de 20 °C se consideran las siguientes propiedades del aire y se evalúa de acuerdo con la ecuación 4.3 y 4.4:

$$\begin{aligned}
 K_a &:= 25.752 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & \rho &:= 1.1933 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \\
 Pr &:= 0.7088 & \nu &:= 2.5 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \\
 Pe &:= 9.58 \text{ m} & \mu &:= 181.175 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N} \cdot \text{seg}}{\text{m}^2} \\
 Re &:= \frac{Pe \cdot \rho \cdot \nu}{\mu} \\
 Re &= 1.577 \times 10^6 \\
 h_e &:= 0.023 \cdot \frac{K_a}{Pe} \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \\
 h_e &= 4.895 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}
 \end{aligned}$$

Para una temperatura interior de 17 C se consideran las siguientes propiedades del aire:

$$\begin{aligned}
 K_a &:= 0.0255 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & \rho &:= 1.20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \\
 Pr &:= 0.7095 & \nu &:= 2 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \\
 Pe &:= 9.58 \text{ m} & \mu &:= 179.68 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N} \cdot \text{seg}}{\text{m}^2} \\
 R &:= \frac{Pe \cdot \rho \cdot \nu}{\mu} \\
 R &= 1.28 \times 10^6
 \end{aligned}$$



$$h_i := 0.023 \cdot \frac{K_a}{Pe} \cdot R^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$$

$$h_i = 4.102 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### Por Paredes:

Utilizando la ecuación 4.2 y 4.5, la resistividad térmica y el coeficiente de calor U es:

$$h_o := 0.862$$

$$h_i := 0.722$$

$$X_m := 0.35$$

$$K_m := 0.80$$

$$R_m := \frac{1}{h_o} + \frac{X_m}{K_m} + \frac{1}{h_i}$$

$$U_m := \frac{1}{R_m}$$

$$U_m = 0.335 \frac{BTU}{h \cdot pie^2 \cdot F}$$

Mediante la ecuación 4.6 la transferencia de calor por paredes y techo es:

### Pared norte

$$A := 49.1 \text{ pie}^2$$

$$DTE := 0.4$$

$$Q_{\text{norte}} := A \cdot U_m \cdot DTE$$

$$Q_{\text{norte}} = 6.585$$

### Pared este

$$A := 46.3 \text{ pie}^2$$

$$DTE := 5.4$$

$$Q_{\text{este}} := A \cdot U_m \cdot DTE$$

$$Q_{\text{este}} = 83.825$$

### Pared oeste

$$A := 32.1$$

$$DTE := 7.4$$

$$Q_{\text{oeste}} := A \cdot U_m \cdot DTE$$

$$Q_{\text{oeste}} = 79.641$$



### Pared sur

$$A := 61.7$$
$$DTE := 6.4$$

$$Q_{sur} := A \cdot U_m \cdot DTE$$

$$Q_{sur} = 132.393$$

$$Q_p := Q_{norte} + Q_{este} + Q_{oeste} + Q_{sur}$$

$$Q_p = 302.444 \frac{BTU}{h}$$

$$= 88.64 \text{ watt}$$

### Por techos

$$h_o = 0.862 \quad h_i = 0.722$$

$$X_c := 0.35 \quad K_c := 0.80$$

$$R_t := \frac{1}{h_o} + \frac{X_c}{K_c} + \frac{1}{h_i}$$

$$U_t := \frac{1}{R_t}$$

$$U_t = 0.335$$

$$A := 48.1$$

$$DTE := 3.4$$

$$Q_t := A \cdot U_t \cdot DTE$$

$$Q_t = 54.831 \frac{BTU}{h}$$

$$= 16.1 \text{ watt}$$

### Ganancia de calor solar por Cristales

De acuerdo a la ecuación 4.7 y 4.8 se tiene:

$$A := 12.6$$
$$\text{factor} := 40$$

$$Q_c := A \cdot \text{factor}$$

$$Q_c = 504 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_c = 147.7 \text{ watt}$$

$$Q_{transmision} := Q_p + Q_t + Q_c$$

$$Q_{transmision} = 861.275 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{transmision} = 252.4 \text{ watt}$$



### CARGA TÉRMICA POR INFILTRACIONES

$$\begin{aligned}
 T_i &:= 62.6 \text{ F} & W_i &:= 50.526 \frac{\text{gr}}{\text{lb}_{\text{aireseco}}} & \Phi_i &:= 60\% \\
 T_e &:= 68 \text{ F} & W_e &:= 70.49 \frac{\text{gr}}{\text{lb}_{\text{aireseco}}} & \Phi_e &:= 69\%
 \end{aligned}$$

Utilizando las ecuaciones 4.9 a la 4.13 se puede determinar cuál es la carga térmica por infiltraciones que están ocurriendo en el cuarto de acondicionamiento de aire. De acuerdo a esto resulta que:

Volumen total del cuarto acondicionado:

$$V_t := 370.4 \text{ ft}^3$$

$$\Sigma \text{personas} := 6$$

$$\text{CFM} := 25$$

$$\text{infiltraciones} \quad I := 10$$

$$\text{volumen de infiltraciones} \quad V_{\text{inf}} := \frac{V_t \cdot I}{60}$$

$$V_{\text{inf}} = 61.733 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

volumen de ventilacion

$$V_{\text{vent}} := \Sigma \text{personas} \cdot \text{CFM}$$

$$V_{\text{vent}} = 150 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$Q_{\text{Sensible}} := 1.08 \cdot V_{\text{vent}} \cdot (T_e - T_i) \quad Q_{\text{Latente}} := 0.68 \cdot V_{\text{vent}} \cdot (W_e - W_i)$$

$$Q_{\text{Sensible}} = 874.8 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \quad Q_{\text{Latente}} = 2.036 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{infiltraciones}} = Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{Latente}}$$

$$Q_{\text{infiltraciones}} = 2.911 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{infiltraciones}} = 853.1 \text{ watt}$$

### CARGA TÉRMICA POR MISCELÁNEOS

De acuerdo a las ecuaciones 4.14 a la 4.19 se tiene los siguientes cálculos:

Por iluminación:

$$\text{Plamparas} := 80 \text{ w}$$

$$Q_{\text{iluminacion}} = 3.4 \cdot \text{Plamparas}$$

$$Q_{\text{iluminacion}} = 272 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{iluminación}} = 80 \text{ watt}$$



Por personas:

$$\Sigma \text{personas} = 6$$

$$\text{Calorsensible} = 250 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\text{Calorlatente} = 200 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{Spers}} := \Sigma \text{personas} \cdot \text{Calorsensible}$$

$$Q_{\text{Lpers}} := \Sigma \text{personas} \cdot \text{Calorlatente}$$

$$Q_{\text{Spers}} = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{Lpers}} = 1.2 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{personas}} := Q_{\text{Spers}} + Q_{\text{Lpers}}$$

$$Q_{\text{personas}} = 2.7 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{personas}} = 791.3 \text{ watt}$$

Por equipos:

$$P_{\text{equipos}} := 746 \text{ W}$$

Esta carga corresponde al compresor de 11

$$Q_{\text{equipos}} := P_{\text{equipos}} \cdot 3.4$$

$$Q_{\text{equipos}} = 2.536 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{miscelaneos}} := Q_{\text{iluminacion}} + Q_{\text{personas}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{miscelaneos}} = 5.508 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{miscelaneos}} = 1614.2 \text{ watt}$$

### Calculo de cargas totales sensibles y latentes

De las ecuaciones 4.20 a la 4.22 se obtiene el cálculo del calor total que debe contrarrestar el equipo de aire acondicionado:

$$Q_{\text{T sensible}} := Q_{\text{transmision}} + Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{iluminacion}} + Q_{\text{Spers}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{T sensible}} = 6.044 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{T sensible}} = 1771.3 \text{ watt}$$

$$Q_{\text{T latente}} := Q_{\text{Latente}} + Q_{\text{Lpers}}$$

$$Q_{\text{T latente}} = 3.236 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{T latente}} = 948.4 \text{ watt}$$



$$Q_T := Q_{T\text{sensible}} + Q_{T\text{latente}}$$

$$Q_T = 9.281 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 2720 \text{ watt}$$

### CALCULO DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DEL EQUIPO

**Determinación del punto C.** Utilizando las ecuaciones 4.23 y 4.24 se evalúa las condiciones del punto C; para ello se considero una  $T_{\text{interior}}$  de  $17^\circ\text{C}$  y  $T_{\text{exterior}}$  de  $20^\circ\text{C}$ , es decir.

$$\Phi_i = 0.6$$

$$t_i := 17$$

$$P_{\text{atm}} := 760$$

$$P_{\text{SA}} := 14.53$$

$$W_A := 0.622 \cdot \frac{\Phi_i \cdot P_{\text{SA}}}{P_{\text{atm}} - \Phi_i \cdot P_{\text{SA}}}$$

$$W_A = 7.218 \times 10^{-3} \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgaire}}$$

$$i_A := 0.24 \cdot t_i + (0.47t_i + 595) \cdot W_A$$

$$i_A = 8.432 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\Phi_e = 0.69$$

$$t_e := 20$$

$$P_{\text{atm}} := 760$$

$$P_{\text{SB}} := 17.54$$

$$W_B := 0.622 \cdot \frac{\Phi_e \cdot P_{\text{SB}}}{P_{\text{atm}} - \Phi_e \cdot P_{\text{SB}}}$$

$$W_B = 0.01007 \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgaire}}$$

$$i_B := 0.24 \cdot t_e + (0.47t_e + 595) \cdot W_B$$

$$i_B = 10.883 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

**Cálculo del aire seco de suministro.** Por medio de la ecuación 4.25 y considerando una temperatura de aire de suministro de  $2^\circ\text{C}$ , se tiene:

$$T_D := 2^\circ\text{C}$$

$$Q_{T\text{sensible}} = 6.044 \times 10^3 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{T\text{sensible}} := 1.88 \text{ KW}$$

$$m_a := \frac{Q_{T\text{sensible}}}{1.004 \cdot (t_i - T_D)}$$

$$m_a = 0.125 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

La ecuación 4.26 nos da el gasto másico de aire seco de ventilación; para los cálculos hemos considerado un 20% del aire de entrada:



$$\begin{aligned} \text{mav} &:= 20\% \cdot \text{ma} \\ \text{mav} &= 0.025 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \end{aligned}$$

El gasto de aire seco de recirculación se lo calcula de acuerdo con la ecuación 4.27

$$\begin{aligned} \text{mar} &:= \text{ma} - \text{mav} \\ \text{mar} &= 0.1 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \end{aligned}$$

Calculo de la temperatura y la entalpia del punto C en base a la ecuación 4.28 y 4.29

$$\begin{aligned} \text{TC} &:= \frac{(\text{mar} \cdot \text{ti} + \text{mav} \cdot \text{te})}{\text{mar} + \text{mav}} & i_C &:= \frac{(\text{mar} \cdot i_A + \text{mav} \cdot i_B)}{\text{mar} + \text{mav}} \\ \text{TC} &= 17.6 \text{ C} & i_C &= 8.922 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \end{aligned}$$

Calculo de la humedad absoluta del punto C utilizando la ecuación 4.30

$$\begin{aligned} \text{WC} &:= \frac{(\text{mar} \cdot \text{WA} + \text{mav} \cdot \text{WB})}{\text{mar} + \text{mav}} \\ \text{WC} &= 7.787 \times 10^{-3} \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgaire}} \end{aligned}$$

Calculo de la humedad relativa del punto C utilizando la ecuación 4.31

$$\text{PC} := 15.1 \quad \text{Presión de Vapor para el punto C, correspondiente a la temperatura}$$

$$\begin{aligned} \Phi_C &:= \frac{\text{WC} \cdot \text{Patm}}{\text{PC} \cdot (0.622 + \text{WC})} \\ \Phi_C &= 0.622 \end{aligned}$$

**Determinación del punto D.** De la ecuación 4.32 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{QT}_{\text{sensible}} &:= 6044 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \\ \text{CCS} &:= \frac{\text{QT}_{\text{sensible}}}{\text{QT}} \\ \text{CCS} &= 0.651 \end{aligned}$$



$$i_A := 35.293 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

De acuerdo a la ecuación 4.33 se tiene:

$$i_D := \frac{\text{CCS} \cdot i_A - 1.004 \cdot (t_i - T_D)}{\text{CCS}}$$

$$i_D = 12.168 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$i_D := 2.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Calculo de la humedad absoluta del punto D, mediante la ecuación 4.34

$$W_D := \frac{i_D - 0.24 \cdot T_D}{0.47 \cdot T_D + 595}$$

$$W_D = 4.061 \times 10^{-3} \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgaire}}$$

Calculo de la humedad relativa del punto D, mediante la ecuación 4.35

$P_D := 5.29$  Presión de Vapor para el punto D, correspondiente a la temperatura

$$\Phi_D := \frac{W_D \cdot P_{atm}}{P_D \cdot (0.622 + W_D)}$$

$$\Phi_D = 0.932$$

**Determinación del punto R.**-De acuerdo a la ecuación 4.36 se evalúa para las condiciones en el punto D

El valor correspondiente a la humedad absoluta y la temperatura de este punto, se los obtiene de la grafica psicrométrica y nos da los siguientes valores:

$$W_R := 28.6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgaire}}$$

$$T_R := -3.3\text{C}$$

$$i_R := 0.24 \cdot T_R + (0.47T_R + 595) \cdot W_R$$

$$i_R = 0.905 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$



### Determinación del factor de by-pass f.

De la ecuación 4.37 se tiene:

$$f := \frac{TD - TR}{TC - TR}$$

$$f = 0.254$$

### Potencia calorífica absorbida por los serpentines.-

De la ecuación 4.38 se tiene:

$$i_C = 8.922 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \qquad i_R = 0.905 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$i_C := 37.343 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \qquad i_R := 3.787 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$M := (1 - f) \cdot m_a$$

$$M = 0.093$$

Y finalmente con la ecuación 4.39 determinamos la potencia calorífica real de los serpentines, esto es:

$$Q := M \cdot (i_C - i_R)$$

$$Q = 3.127 \text{ KW}$$

Por lo tanto este es el valor real para hacer la selección del equipo de aire acondicionado, su equivalencia en BTU/h es:

$$Q_{TT} := 10669.73 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Como se puede observar en este último dato, la potencia calorífica que los serpentines logran evacuar es superior a la que se genera en el cuarto; llegando a concluir que el equipo reúne la capacidad y las características de disipación necesarias para este trabajo



### 5.3. GUÍAS PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

#### PRACTICA 1

##### 1. Nombre de la práctica

Fundamentos teóricos que nos permita aprender un sistema de refrigeración típico y sus componentes

##### 2. Objetivos

Definir los principales referentes teóricos y términos que se utilizan en calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

Identificar y explicar la función de cada uno de los componentes básicos del sistema

Identificar las aéreas de transferencia de calor, el estado, temperatura, fase y presión del fluido en cada punto clave del sistema.

Calcular presiones absolutas y manométricas

Definir punto de ebullición, temperatura de saturación, temperatura de condensación, punto de fusión, supercalor, subenfriamiento.

Identificar y describir las características de operación de los tipos de dispositivos de medición

Definir e identificar los tipos de compresores, evaporadores, condensadores.

##### 3. Procedimiento

Investigación bibliográfica en libros, revistas, páginas web, etc. Puede serle útil la bibliografía que detallamos en esta guía.

##### 4. Sistema Categorial

1. Fundamentos teóricos de los sistemas de aire acondicionado

1.1 Proceso de refrigeración

1.2 Componentes del ciclo de refrigeración

1.3 Cambio de estado, presión temperatura y contenido calorífico

2. Estados de la materia

2.1 Densidad, volumen específico y gravedad especifica

2.2 Principios de la termodinámica

2.3 Comportamiento de la materia y el calor



- 2.4 Calor sensible y calor latente
- 2.5 Transferencia de calor
- 3. Fluidos y presión
  - 3.1 Presión de los fluidos
  - 3.2 Presión atmosférica, absoluta
  - 3.3 Presión y expansión de los gases
  - 3.4 Punto de ebullición, temperatura de condensación, punto de fusión, Temperatura de saturación, sobrecalentamiento, subenfriamiento
- 4. Controles del flujo refrigerante
- 5. Evaporadores
- 6. Compresores
- 7. Condensadores
- 8. Funcionamiento y tipos de dispositivos de medición
- 9. Accesorios no eléctricos del ciclo de refrigeración

## 5. Las preguntas de control

1. Defina los términos siguientes:

Refrigeración	Temperatura de saturación
Frio	Cambio de estado
Calor	Refrigerante
Temperatura	Calor latente de fusión
Calor latente	Calor latente de vaporización
Calor sensible	Radiación
Presión manométrica y absoluta	Conducción
Supercalor	Convección
Subenfriamiento	Flujo de calor
	Calor específico

2. Enuncie el objeto de cada uno de los componentes básicos del ciclo: compresor, condensador, dispositivo medidor y evaporador
3. Dibuje el ciclo e identifique los componentes del sistema y estado, presión, temperatura y situación del refrigerante en los diversos puntos clave.



Capitulo V

4. ¿Es la temperatura una medida de la cantidad o de la intensidad de calor?
5. ¿Qué quiere decir el término cero absolutos?
6. Defina las leyes de la termodinámica
7. El calor latente puede ser medido utilizando un termómetro. ¿cierto o falso? ¿Por qué?
8. La energía térmica se traslada mediante una o más de tres maneras diferentes. Nómbrelas.
9. Cuantos BTU hay en una tonelada estándar de efecto refrigerante?
10. Defina presión de fluido, densidad, gravedad específica, volumen específico
11. Explique las diferencias entre sobrecalentamiento y subenfriamiento
12. ¿Cuál es la diferencia entre un líquido saturado y un vapor saturado?
13. ¿Cuáles son las clasificaciones principales (según el método de compresión) para los compresores?
14. ¿Cuál es la diferencia entre un compresor hermético y un abierto?
15. ¿Cuál es el objetivo básico del condensador y cuáles son los tipos principales?
16. ¿Cuáles son los tipos principales de dispositivos de reducción de presión utilizados para controlar el flujo de refrigerante?
17. Nombre los principales dispositivos de medición que se utilizan en los sistemas de refrigeración
18. Enuncie cuales son las ventajas y desventajas de usar tubos capilares en un sistema de refrigeración.
19. ¿Cuál es el objetivo principal de un acumulador en la tubería de succión?
20. ¿Qué tipo de dispositivo de medición mantiene constante la presión en el evaporador?
  - a. Válvula de expansión termostática
  - b. Tubo capilar
  - c. Válvula de expansión automática
  - d. Válvula de expansión electrónica
21. ¿Qué tipo de dispositivo puede ser utilizado como indicador de humedad?
  - a. El receptor



- b. Acumulador en la tubería de succión
- c. Filtro secador
- d. Mirilla

## **6. Bibliografía recomendada**

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- ESPOL, Folleto de ventilación Industrial, 1998
- FAIRIS, Virgilio/ SIMMANG, Clifford, termodinámica de Fairis, 1990, Noriega Editores, 1ra Edición, México D.F.
- GONZALEZ, Walter Fernando, Laboratorio de Aire Acondicionado y su Respectiva Guía de Pruebas Experimentales, 2001, (Tesis de Ing. Mecánico) Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 120p
- HOLMAN, J.P., Transferencia de Calor, 1998, Editorial Continental S.A. de C.V., 9na Reimpresión, México
- PINAZO, J.M. 1995. Manual de Climatización. Tomo I. Ed. SP-UPV



## **PRACTICA 2**

### **1. Nombre de la práctica**

Fundamentos teóricos del aire acondicionado y de una bomba de calor

### **2. Objetivos**

Seleccionar los parámetros de confort requeridos para que las personas se sientan cómodas

Describir y explicar los principios y términos utilizados en la psicrometría

Utilizar la grafica psicrométrica para trazar el rendimiento de un sistema de aire acondicionado

Seleccionar el equipo adecuado para hacer frente a las cargas de refrigeración y calefacción de un local a acondicionar

Explicar los principios que se aplican en la construcción de una bomba de calor

Describir los diversos ciclos de operación que efectúa una bomba de calor en los ciclos de enfriamiento, calefacción

Definir la transmisión de calor y los coeficientes y parámetros asociados a este fenómeno

Describir tipos y ventajas de los materiales aislantes

Explicar cómo influye el efecto solar en la carga de calor

Calcular la carga de aire acondicionado para una residencia o edificio comercial pequeño

### **3. Procedimiento**

Investigación bibliográfica en libros, revistas, páginas web, etc. Puede serle útil la bibliografía que detallamos en esta guía.

### **4. Sistema Categorial**

1. Parámetros para el confort y comodidad

2. Psicrometría

2.1 Grafica psicrométrica

3. Principios fundamentales de una bomba de calor

3.1 Ciclos de la bomba de calor

4. Cálculos de la carga



- 4.1 Carga de refrigeración
- 4.2 Transmisión de calor
- 4.3 Efecto solar
- 4.4 Infiltraciones de aire
5. Cargas de calefacción y enfriamiento residenciales
6. Cargas de calefacción y enfriamiento comerciales

## 5. Las preguntas de control

1. Defina los siguientes términos: humedad en el aire, temperatura de bulbo seco y húmedo, temperatura de punto de rocío
2. ¿Cuál es el calor específico del aire en condiciones estándar?
3. ¿Cuántos gramos de humedad equivalen a 1 lb?
4. A 100% de humedad relativa, ¿La temperatura de bulbo húmedo del aire es igual a la temperatura del punto de rocío? Explique su respuesta.
5. ¿Cuáles son los procesos térmicos que puede sufrir el aire al sufrir un proceso? Explique cada uno de ellos.
6. ¿Es posible calentar y deshumidificar el aire simultáneamente? ¿Por qué y cómo?
7. Defina que es una bomba de calor y de qué manera se efectúan sus ciclos de trabajo.
8. ¿Con que dispositivo se lleva a cabo el modo de calefacción a refrigeración, y viceversa en una bomba de calor?
9. Nombre dos tipos de reductores de presión utilizados en una bomba de calor
10. ¿Cuáles son las tuberías de refrigerante en una bomba de calor que cambia la dirección del flujo?
11. El acumular de una bomba de calor protege contra:
  - a. Inundación hacia atrás del ciclo de enfriamiento
  - b. Inundación hacia atrás en el ciclo de calefacción
  - c. Terminación del ciclo de descongelación
12. ¿Cuáles son las principales fuentes de donde proviene la carga de refrigeración?
13. ¿El aislamiento tiene una valor alto o bajo de resistencia?



14. Defina el término temperatura de diseño.
15. Utilizando los referentes teóricos investigados en esta práctica, calcule la carga de refrigeración y de calefacción para las siguientes condiciones:

Condiciones de enfriamiento: exterior, 90 F bulbo seco y 70 de bulbo húmedo

Interior, 74 F de bulbo seco y 63 F de bulbo húmedo

Condiciones de calefacción: exterior, 5 F bulbo seco y 22gr/lb

Interior, 71.5 F de bulbo seco y 40gr/lb

En lo que concierne a características de construcción queda a su criterio utilizar el mismo cuarto sobre el que está el equipo de aire acondicionado o utilizar alguna otra edificación.

Se sugiere realizar los cálculos adicionando un material aislante de tal manera que se pueda visualizar ventajas y desventajas de un recinto aislado con uno que no lo está.

## **6. Bibliografía recomendada**

- ASHRAE, Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning, 1998.
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo II
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III. pp 827-934
- CARRIER, Manual de Aire Acondicionado. 1996
- BOTERO, Camilo, Manual de refrigeración y aire Acondicionado, 1987, Cámara Nacional de Industria Editorial, 1ra Edición, Cap N° 8, México D.F.



## PRACTICA 3

### 1. Nombre de la práctica

Ciclo de enfriamiento en el sistema de aire acondicionado (bomba de calor)

### 2. Objetivos

Aprender el debido manejo de un sistema de bomba de calor en su ciclo de refrigeración

Identificar los componentes eléctricos involucrados en una bomba de calor

Visualizar la función de cada uno de los componentes básicos del sistema

Entender y utilizar los accesorios de medida que están instalados en el banco de pruebas y relacionarlos con el diagrama p-h del sistema

Exponer las cuatro zonas del ciclo de refrigeración

Trazar el ciclo de refrigeración del sistema utilizando el diagrama P-H

Comparar los datos reales obtenidos en los instrumentos del banco con los obtenidos teóricamente.

Medir el grado de sobrecalentamiento y subenfriamiento del sistema, es decir, comparar la temperatura real del refrigerante R22 con la temperatura de saturación correspondiente a esa presión

### 3. Procedimiento

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el breek principal este en la posición encendido (**ON**)
- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizara un cursor que indicara el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Cool (Refrigeración) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles



Capitulo V

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en este caso el valor seleccionado tiene que ser menor a la temperatura ambiente del cuarto
- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagará una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a aumentar

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se selecciono

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático.

Los datos a tomar se los puede llevar a las siguientes tablas:

*Tabla de lecturas típicas que resume lo que ocurre en la unidad exterior del sistema*

	A LA ENTRADA DE LA UNIDAD EXTERIOR	A LA SALIDA DE LA UNIDAD EXTERIOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL		



GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

Tabla de lecturas típicas de succión y descarga del compresor de sistema

	SUCCIÓN DEL COMPRESOR	DESCARGA DEL COMPRESOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

Tabla de lecturas eléctricas del sistema

	VOLTAJE (v)	INTESIDAD (A)	POTENCIA (w)	TIEMPO (h)	CONSUMO Kw-h
LECTURA					

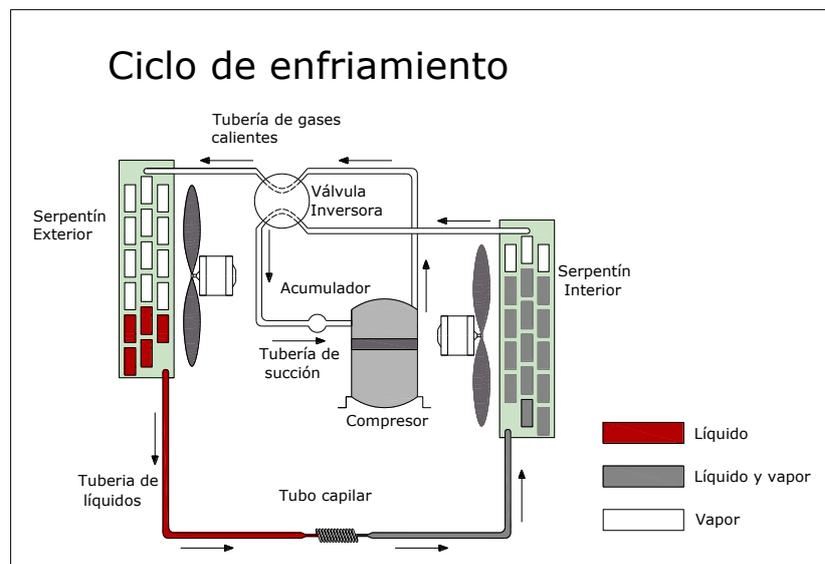
#### 4. Sistema Categorial

1. Psicometría
2. Parámetros fundamentales del sistema aire-vapor de agua
  - 2.1 Humedad absoluta
  - 2.2 Humedad relativa
  - 2.3 Punto de rocío
  - 2.4 Entalpía del aire húmedo
  - 2.5 Temperatura del bulbo seco

- 2.6 Temperatura del bulbo húmedo
3. Diagrama Psicrométrico
  - 3.1 Procesos térmicos en el diagrama
4. Diagramas de presión-entalpia para R22
5. Proceso del ciclo de refrigeración
  - 5.1 Trabajo de compresión
  - 5.2 Efecto refrigerante
  - 5.3 Coeficiente de funcionamiento
  - 5.4 Caudal volumétrico real
  - 5.5 Potencia del compresor
6. Componentes del ciclo de refrigeración
7. Cambio de estado, presión temperatura y contenido calorífico

## 5. Esquema de instalación

Esquema del sentido de flujo del refrigerante a través de la válvula inversora de 4 vías, en el modo de refrigeración



## 6. Las preguntas de control

1. Defina los siguientes términos: humedad absoluta y relativa en el aire, entalpia del aire, temperatura de bulbo seco y húmedo, temperatura de punto de rocío
2. Explique los principios de los procesos térmicos del diagrama psicrométrico. ¿Qué tipo de proceso se está aplicando en esta práctica?



Capitulo V

3. Defina los siguientes términos: efecto refrigerante, entalpia, entropía, COP (coeficiente de rendimiento), subenfriamiento, sobrecalentamiento
4. Cuales factores inciden al momento de determinar el NRE ( efecto neto refrigerante)
5. ¿Cuál es la diferencia ente vapor saturado y vapor sobrecalentado?
6. Exponga un concepto referente a la grafica P-H de un sistema, y detalle las divisiones que se muestran en la grafica
7. ¿A la salida del dispositivo de medición ocurre un cambio de temperatura o un cambio de presión?
8. Con los datos que se visualizan en los instrumentos instalados en el equipo proceda a realizar los cálculos del ciclo de refrigeración; posterior a ello verifique la capacidad del compresor, para diferentes temperaturas de estado del cuarto. De la misma forma proceda a verificar matemáticamente si la unidad interior está bien seleccionada para el calor que necesita evacuar.

## 7. Bibliografía recomendada

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo II.
- WANG, Shan K./ LAVAN, Zalman/ NORTON, Paul, Air conditioning and Refrigeration engineering. CRC Press, 2000.
- <http://www.monografias.com/trabajos17/calorimetria/calorimetria.shtml>
- [http://enciclopedia.us.es/index.php/Humedad\\_absoluta](http://enciclopedia.us.es/index.php/Humedad_absoluta)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura\\_de\\_bulbo\\_seco](http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_bulbo_seco)
- [http://www.predic.com/mediawiki/index.php/Temperatura\\_de\\_bulbo\\_h%C3%BAmedo](http://www.predic.com/mediawiki/index.php/Temperatura_de_bulbo_h%C3%BAmedo)
- <http://www.paranauticos.com/Notas/Meteorologia/punto-de-rocio.htm>
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica/PDFs/Capitulo17.pdf>



## **PRACTICA 4**

### **1. Nombre de la práctica**

Ciclo de calefacción en el sistema de aire acondicionado (bomba de calor)

### **2. Objetivos**

Aprender el debido manejo de un sistema de bomba de calor en su ciclo de calefacción

Explicar las diferencias entre bombas de calor con fuente térmica de aire, fuente térmica de agua y de agua a agua

Identificar los componentes eléctricos involucrados en una bomba de calor

Explicar el propósito de los principales componentes de una bomba de calor

Enunciar las diferencias existentes en las tuberías de refrigerante de una bomba de calor comparadas con las de acondicionador de aire convencional.

Explicar las situaciones básicas donde el compresor requiere de protección del acumulador

Comparar los datos reales obtenidos en los instrumentos del banco con los obtenidos teóricamente.

Medir el grado de sobrecalentamiento y subenfriamiento del sistema, es decir, comparar la temperatura real del refrigerante R22 con la temperatura de saturación correspondiente a esa presión

### **3. Procedimiento**

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el breek principal este en la posición encendido (**ON**)



- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizara un cursor que indicara el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Heat (Calefacción) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en este caso el valor seleccionado tiene que ser mayor a la temperatura ambiente del cuarto
- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagara una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a disminuir

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se selecciono

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático.

Los datos a tomar se los puede llevar a las siguientes tablas:



Capitulo V

Tabla de lecturas típicas que resume lo que ocurre en la unidad interior del sistema

	A LA ENTRADA DE LA UNIDAD INTERIOR	A LA SALIDA DE LA UNIDAD INTERIOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

Tabla de lecturas típicas de succión y descarga del compresor de sistema

	SUCCIÓN DEL COMPRESOR	DESCARGA DEL COMPRESOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

Tabla de lecturas eléctricas del sistema

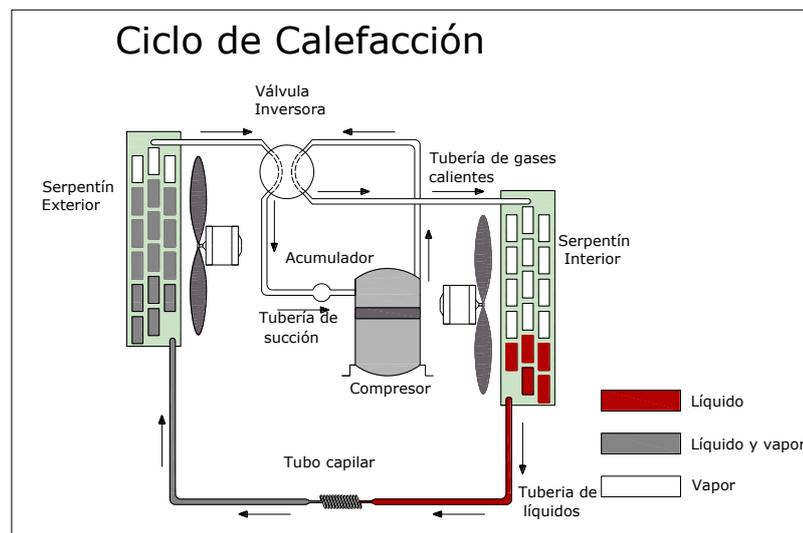
	VOLTAJE (v)	INTESIDAD (A)	POTENCIA (w)	TIEMPO (h)	CONSUMO Kw-h
LECTURA					

#### 4. Sistema Categorial

1. Principios y componentes básicos de una bomba de calor
2. Ciclos de una bomba de calor
3. Psicometría
4. Parámetros fundamentales del sistema aire-vapor de agua
  - 4.1 Humedad absoluta
  - 4.2 Humedad relativa
  - 4.3 Punto de rocío
  - 4.4 Entalpía del aire húmedo
  - 4.5 Temperatura del bulbo seco
  - 4.6 Temperatura del bulbo húmedo
5. Diagrama Psicrométrico
  - 5.1 Procesos térmicos en el diagrama
6. Diagramas de presión-entalpia para R22

#### 5. Esquema de instalación

Esquema del sentido de flujo del refrigerante a través de la válvula inversora de 4 vías, en el modo de calefacción



#### 6. Las preguntas de control

1. Describa el funcionamiento básico entre un sistema de aire acondicionado convencional y una bomba de calor



*Capitulo V*

2. ¿Con que nombre se los idéntica a los serpentines de una bomba de calor? Describa el funcionamiento
3. ¿Qué tipo de dispositivo hace el cambio de modo de calefacción a refrigeración y viceversa en un sistema de bomba de calor?
4. El serpentín interior de una bomba de calor se lo diseña generalmente más grande que el de un sistema convencional. ¿explique cuáles son las causas de este diseño?
5. Identifique y describa el funcionamiento cada una de las cuatro vías de la válvula inversora del equipo
6. ¿Qué tipos de dispositivos reductores de presión se utilizan en un sistema de bomba de calor?
7. Por lo general se instalan acumuladores suficientemente grandes en una bomba de calor. ¿Cuál es su finalidad?

**7. Bibliografía recomendada**

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III.
- <http://www.elaireacondicionado.com.ar/aire.html>



## PRACTICA 5

### 1. Nombre de la práctica

Ciclo deshumidificación en el sistema de aire acondicionado

### 2. Objetivos

Describir los factores y parámetros típicos que intervienen para determinar la humedad

Puntualizar los principales tipos de humidificadores

### 3. Procedimiento

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el brecke principal este en la posición encendido (**ON**)
- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizara un cursor que indicara el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Dry (Deshumidificación) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles

Es importante hacer énfasis en este modo de funcionamiento ya que tiene características similares al modo Refrigeración, para su mejor interpretación y entendimiento sugerimos remitirnos a los referentes teóricos que explican los procesos térmicos que se puede hacer en el aire

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en



este caso el valor seleccionado tiene que ser menor a la temperatura ambiente del cuarto

- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagará una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a aumentar

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se selecciono

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático

#### **4. Sistema Categorial**

1. Fundamentos teóricos de los procesos de humidificación y deshumidificación
2. Definiciones de la interacción aire-agua
  - 2.1. Humedad absoluta
  - 2.2. Humedad relativa
  - 2.3. Calor específico
  - 2.4. Entalpia específica de saturación
  - 2.5. Diagrama de humedad (carta Psicrométrica)
3. Operaciones y métodos de humidificación
4. Humidificadores
5. Métodos de deshumidificación



#### 4. Las preguntas de control

1. Defina los siguientes términos: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de punto de rocío, humedad, humedad específica, humedad absoluta, humedad relativa, capacidad de deshumidificación, higrómetro
2. ¿Qué tipo de dispositivo controla a un humidificador?
3. ¿Cuál es el margen de humedad deseable?
4. ¿Qué determina la cantidad necesaria de humedad?
5. Nombre los tipos de humidificadores evaporativos
6. ¿Qué significa el término humedad relativa?
7. La humedad de un edificio depende de
  - a. La temperatura exterior
  - b. La construcción de la casa
  - c. La humedad relativa que el interior de la casa puede aceptar sin problemas de condensación
  - d. Todo lo anterior
8. Cuando el aire exterior se calienta, su humedad relativa
  - a. Se eleva
  - b. Se reduce
  - c. No es afectada

#### 5. Bibliografía recomendada

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III. pp 679-825
- <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0201-04/ed99-0201-04.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Punto\\_de\\_roc%C3%ADo](http://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_roc%C3%ADo)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Humedad>
- [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/10agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/10agua.html)
- <http://www.astromia.com/glosario/humedad.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Higr%C3%B3metro>
- [http://www.pablojosa.com/PB10\\_3817\\_Humidificadores.pdf](http://www.pablojosa.com/PB10_3817_Humidificadores.pdf)



#### **5.4 VALIDEZ, CONFIABILIDAD Y SEGURIDAD DEL EQUIPO**

Terminada la fase de construcción del sistema de aire acondicionado y verificado después su funcionamiento, mediante las respectivas practicas por parte de los integrantes del proyecto y estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica podemos llegar a concluir que el equipo presta las facilidades y comodidades de maniobra que exige las normas de seguridad.

En lo que concierne a dispositivos instalados, éstos permiten que el estudiante como el docente los manipule sin problema; las lecturas que se visualizan es fáciles de leer. No está por demás acotar que este banco solo debe ser operado siguiendo las debidas recomendaciones de uso que se exponen en este trabajo y por su puesto con alguien entendido del tema.

Los dispositivos eléctricos instalados están debidamente aislados de tal forma que protege a las personas de cualquier choque eléctrico que se pueda suscitar en la operación del equipo, sin embargo se debe tener el suficiente conocimiento y las debidas medidas de seguridad si se quiere acceder al circuito del sistema, de preferencia debe hacerlo personal calificado para el efecto.

Finalmente manifestar que los dispositivos instalados son de calidad garantizada, avalando de esta forma resultados confiables en cada una de las prácticas que se ejecuten



## CAPITULO VI: VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y AMBIENTAL

### 6.1 VALORACIÓN TÉCNICO -ECONÓMICA

#### Gasto en materiales

Descripción del material	Unidad	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Compresor	U	1	115	115.0
Evaporador	U	1	96	96.0
Condensador	U	1	92	92.0
Válvula de 4 vías	U	1	125,5	125,5
Tubo Capilar	U	1	9,85	9,85
Manómetro	U	4	4,68	18,72
Mirillas o visores	U	4	3,8	15,2
Termómetro Digital	U	2	16	32.0
Rubatex de 3/8x1/4	m	15	0,448	6,72
Rubatex de 1/2x1/2	m	3	1,7	5,1
Tubería de cobre 1/4	m	3,5	1,875	6,56
Tubería de cobre 5/16	m	0,5	3,125	1,56
Tubería de cobre 3/8	m	6	4,1	24,6
Tubería de cobre 1/2	m	3	3,6	10,8
Acoplamientos 3/8	U	8	1,75	14.0
Unión 62x6 3/8 codo	U	1	2,5	2,5
Unión 64x6	U	4	4,5	18.0
Unión 64x4	U	1	3,5	3,5
Unión 64x8	U	1	9	9.0
Neplo 4-4	U	1	1,66	1,66
Neplo 4-8	U	1	2,45	2,45
Neplo 4-6	U	1	1,6	1,6
Válvula de purga	U	1	5,5	5,5
Refrigerante R22	Kg.	6	8,5	51.0
Melanina 9mmx1,83x2,5	U	6	30,5803	183,49
bordo blanco 22mm	m	2,5	0,1785	0,447



Capítulo VI

Tubo estructural 25x1,5mm	U	3	9,64	28,92
ángulo 25x3mm	U	1	7,02	7,02
Tubo estruc. 25x50x1,5mm	U	8	11,99	95,92
Tubo cuadrado 1x1,2	U	1	10	10,0
Ventana de aluminio	U	1	45	45,0
Barra 71x41mm perforada	m	3,5	0,906	3,171
bisagra de presión	U	3	0,45	1,35
Picaporte	U	1	0,76	0,76
Tiradera	U	2	0,45	0,9
Cable solido N° 10	m	8	0,6696	5,36
Cable solido N°12	m	7,5	0,6	4,5
Cable solido N° 18	m	9,5	0,2	1,9
Cable solido N° 16	m	3	0,25	0,75
Teflón	U	1	0,2678	0,27
Abrazadera 1"	U	5	0,116	0,58
Abrazadera 3/4"	U	20	0,0714	1,428
Perno 7/16x2-1/2	Kg.	0,39	1,6071	0,627
Perno 1/4x2	U	10	0,08	0,8
Anillo plano 3/8	Kg.	0,13	1,6071	0,21
Tornillo T/pato 1/2x6	Kg.	20	0,01	0,2
Tornillo T/pato 3/4x8	Kg.	0,2	1,7857	0,36
Tornillo embutido 10x1-1/2	U	6	0,049	0,29
Tornillo p/techo	U	200	0,051	10,2
Tomacorriente polarizado	U	2	1,4	2,8
Diluyente	lts.	4	1,2	4,8
Broca 7/32	U	1	0,4	0,4
broca 1/4	U	1	0,5	0,5
broca 5/16	U	2	1,5	3,0
broca 7/16	U	1	0,7143	0,72
brocha 3"	U	2	0,6696	1,34
juego de llantas	U	2	2,2	4,4
regatones	U	6	0,1	0,6



Capítulo VI

Electrodos	lb.	2	1,15	2,3
Dobladora de cañería	U	1	20	20.0
Puntas de destornilladores	U	4	0,55	2,2
Lata galvanizada 1/32	U	1	35	35.0
Fondo primer	ltrs.	1	2,25	2,25
Remachadora	U	1	2,0982	2,09
Accesorios de taladro	U	2	0,5357	1,07
Abocinador 3/16-5/8	U	1	9,8214	9,83
Cortadora de cañería	U	1	2,2	2,2
Soplete pequeño	U	1	10	10.0
Boquilla pequeña	U	1	5	5.0
Lima redonda	U	1	0,9	0,9
Pintura anticorrosiva	ltrs.	2	3,1	6,2
Disco para desbaste	U	1	1	1.0
Hojas de sierra	U	2	1,25	2,5
Higrómetro	U	1	45.0	45.0
Placas de rotulación del banco	U	2	15.0	30.0
Circuito eléctrico de control	U	1	200	200.0
<b>SUBTOTAL</b>				1469.37

**Gasto en mano de obra**

Categoría	Cantidad	Tiempo de Operación (h)	Tarifa Salarial \$/h (USD)	Importe USD
Tornero	1	3.5	15.0	52.50
Taladrador	1	10	5.00	50.00
Limador	1	10	5.00	50.00
Soldador de autógena	1	1.5	15.00	22.50
Soldador	1	15	12.75	191.25
<b>SUBTOTAL</b>				366.25



### Gasto en investigación

Denominación	Tarifa (\$/h) USD	Cantidad	Tiempo de operación (h)	Importe USD
Internet	1.00		100	100.00
Copias	0.03	5000		150.00
			<b>SUBTOTAL</b>	250.00

### Gasto en transporte

Denominación	Cantidad	Tarifa promedio USD	Importe USD
Viaje a otras ciudades	3	130.00	390.00
Consumo de combustible	10 gal.	1.90	19.00
		<b>SUBTOTAL</b>	409.00

### Gasto de energía eléctrica en la construcción del equipo

Equipo	Potencia Instalada (Kw)	Tarifa Eléctrica \$/Kwh (USD)	Tiempo de operación (h)	Importe USD
Taladro	0.75	0,12	25	2.25
Amoladora	1.1	0,12	35	4.62
Soldadora	5.2	0,12	30	18.72
			<b>SUBTOTAL</b>	25.59



## Gastos totales para la construcción del sistema de acondicionamiento de aire

Los gastos que a continuación se resumen no incluyen aquellos que se invertirán en la presentación de los resultados finales del presente trabajo de tesis

Costos de la inversión	Gastos USD
Gasto de materiales	1469.37
Gasto de Ingeniería	800.00
Gasto de mano de obra	366.25
Gasto en investigación	250.00
Gasto en transporte	409.00
Gasto en energía eléctrica	25.59
TOTAL	3320.21

## 6.2 VALORACIÓN AMBIENTAL

En este acápite se hace referencia al impacto ambiental que presumiría la incorrecta utilización del banco de acondicionamiento de aire, en lo que concierne principalmente al refrigerante utilizado. Se expondrán algunos conceptos y reglas que exigen las normativas internacionales respecto a este tema.

### Principios de Seguridad Ambiental

Uno de los factores de importancia en el desarrollo de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado ha sido la disponibilidad de refrigerantes seguros, es decir, no tóxicos, no explosivos, no corrosivos, no inflamables y estables.

En el año de 1970, los científicos ostentaron que la capa de ozono de la atmosfera superior de la Tierra se estaba agotando, afectando nuestra protección contra los rayos ultravioleta del Sol. En 1974 se descubrió que algunos refrigerantes que contenían cloro, al ser liberados a la atmosfera, resultaban ser un factor en este proceso de agotamiento del ozono.



Capítulo VI

En 1987, científicos y de funcionarios gubernamentales, representando a las principales naciones industriales, se reunieron en Montreal e iniciaron controles mundiales sobre la producción y uso de los CFC, incluyendo refrigerantes de uso común como R-12 y R-22. La desaparición de la producción de CFC fue programada para que ocurriera en el año 2000, sin embargo, fue acelerado para que ocurriera en diciembre de 1995. Se estableció un programa de transición para permitir el cambio a hidroclorofluorocarbonos (HCFC-22), con ciertas limitaciones, y a hidrofluorocarbonos (HFC).

### **La capa de ozono y la atmosfera**

Desde el punto de vista humano, la atmosfera es importante porque es donde se crea el clima. Las condiciones atmosféricas son muy complejas, pero uno de los hechos más impresionantes es la variación en la temperatura a grandes altitudes. Después de caer a 75°F a 26 kilometres (16 millas), se eleva, justo por debajo de 60 kilometres (36 millas) hasta una temperatura muy cercana al punto de ebullición del agua. A aproximadamente 80 kilometres (48 millas) cae a -30°F; a 100 kilometres (60 millas), está en cero y es más caliente arriba. La inversión de temperatura esta probablemente asociada con la capa de ozono.

El ozono (O<sub>3</sub>), la molécula de tres oxígenos, ocupa una capa atmosférica de 10 a 30 millas hacia arriba (de 17 a 50 kilómetros). Su importancia se basa en el hecho de que absorbe de manera casi completa la luz ultravioleta. El ozono es producido por la luz solar en los trópicos y desplazado a las regiones polares. Entre ambas, se reduce en una cierta cantidad en los torbellinos de circulación atmosférica que ocurren en invierno y en primavera.

También de importancia es la eliminación química del ozono debida a ciclos catalizados por el cloro, que ocurren en las regiones polares durante el invierno y la primavera. Esta actividad se origina en las nubes polares estratosféricas (PSC), en nubes de acido nítrico solido y hielo formadas durante los extremadamente fríos inviernos sobre los polos. Aunque estas nubes ya son familiares para los científicos, su comportamiento químico ha sido revelado solamente a partir de fines de los años 80



*Capítulo VI*

Las reacciones químicas en la superficie de las partículas de la nube cambian el cloro de estado inactivo a activo, con lo que se cataliza la eliminación del ozono. Un indicador de esta actividad es la formación de concentraciones crecientes de monóxido de cloro (ClO), que persiste una a dos semanas después de haber ocurrido la acción catalítica de las nubes (PSC). Esto, a su vez, está asociado con temperaturas bajas, formadoras de nubes. La acción se inicia en diciembre conforme la atmosfera se enfría lo suficiente para que se formen los PSC, y continúa durante enero, procesando la mayor parte del aire del vortex y eliminando el ozono. Al llegar febrero el calentamiento del aire en el vortex hace que los PSC desaparezcan. No ha aparecido ningún agujero en el ozono del polo ártico, dado que el calentamiento del aire en el vortex ocurre antes que llegue suficiente luz solar para la eliminación catalítica del ozono.

Los estudios y datos reunidos en otras regiones de la Tierra son motivo de controversia, en función de la complejidad de los eventos atmosféricos a lo largo del tiempo. Los estudios actuales indican que la reducción del ozono está ocurriendo y va en incremento, y no necesariamente está confinada a las regiones polares del globo. Los compuestos del cloro, como los CFC utilizados como refrigerantes, son los culpables.

### **Calentamiento global y la industria HVAC/R**

Algunos refrigerantes o sistemas alternos han mostrado una tendencia hacia sistemas de enfriamiento más intensivos en energía (ineficientes), que podrían producir cantidades más altas de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) descargado al entorno proveniente de la combustión de fuentes de energía de combustibles fósiles.

Cantidades más grandes de bióxido de carbono incrementan el grupo de gases que se conocen como gases de invernadero. Estos gases permiten que pase la radiación solar a través de la atmosfera de la Tierra, pero restringen la cantidad de energía que escapa, manteniendo así un rango de temperaturas compatibles con los seres vivientes. Gases en exceso pudieran dar como resultado un excesivo calentamiento global.



Capítulo VI

En comparación con el problema de la degradación de la capa de ozono, existe menos consenso mundial en relación con las causas y el impacto del calentamiento global. Tanto el bióxido de carbono como los refrigerantes CFC, han sido identificados como gases de invernadero. La eliminación de los CFC tiene el potencial de reducir tanto los gases de invernadero como el calentamiento global.

Sin embargo, los refrigerantes de reemplazo pueden producir sistemas de enfriamiento con menor eficiencia, requiriendo por tanto el consume de mas electricidad. El CO<sub>2</sub> incrementado que resulte de la producción eléctrica adicional tendrá tendencia a compensar el beneficio de eliminar los CFC. Los refrigerantes que en último término se consideren aceptables deberán tener a la vez un bajo riesgo potencial de reducción de ozono (ODP) y un bajo riesgo potencial de calentamiento global (GWP). La figura R2-12 muestra estas características para diversos refrigerantes.

### **Efecto de varios refrigerantes sobre la capa de ozono estratosférico**

No todos los refrigerantes son igualmente dañinos a la capa de ozono estratosférico. Se pueden agrupar los distintos refrigerantes según los tipos de átomos que se encuentran en sus moléculas.

Los refrigerantes CFC contienen átomos de Cloro, Flúor y Carbono. Los refrigerantes CFC son los que más dañan la capa de ozono. Hacen que las moléculas de ozono se disgreguen, y se vuelvan a formar como moléculas de oxígeno.

Los refrigerantes HCFC contienen Hidrogeno, Cloro, Flúor y Carbono. Aunque estos refrigerantes también atacan la capa de ozono, su efecto es aproximadamente la mitad de dañino que una cantidad igual de refrigerante CFC.

Los refrigerantes HFC han sido inventados recientemente como una alternativa a largo plazo para sustituir a los refrigerantes CFC y HCFC.

Los ejemplos de refrigerantes CFC son el R-11, el R-12 y el R-502. El R-22 es un HCFC. Estos cuatro refrigerantes fueron, con mucho, los más utilizados en el



campo del aire acondicionado y de la refrigeración hasta que se les atribuyo de la reducción del ozono. Hoy día, todos ellos están siendo acabados

### **El protocolo de Montreal**

Podemos estar orgullosos del papel que desempeño nuestra industria al responder a las diversas teorías que achacaban a los refrigerantes que estábamos utilizando, la reducción del ozono. En 1987 se firmo un acuerdo internacional, el protocolo de Montreal. Entro en vigor en 1989. Incluía una reducción voluntaria y una eliminación gradual de muchas sustancias destructoras del ozono, incluyendo los refrigerantes CFC y HCFC. Este acuerdo reducía generalmente la producción de los refrigerantes CFC a cero antes del 1 de enero de 1996. El R-11, el R-12 y el R-502 ya no se fabrican. Sin embargo, existen millones de libras ya instaladas, y los refrigerantes recuperados de equipo descartado harán que estos refrigerantes sigan disponibles durante el futuro predecible (probablemente a un costo muy alto).

La eliminación de los refrigerantes HCFC bajo el protocolo de Montreal es mucho más lenta. La producción de HCFC se ha programado para que este virtualmente eliminada después del año 2020, aunque todavía se discute la fecha exacta.

### **Refrigerantes alternos**

En este momento, la respuesta de la industria al reemplazo de los refrigerantes esta lejos de haberse terminado. El enfoque primario ha consistido en encontrar reemplazos a los refrigerantes CFC (R-11, 12, 502) ya que no se fabrican mas (excepto lo que se pueda recuperar).

**R-134a.** El R-134a es una alternativa atractiva para el R-12 porque se trata de un refrigerante HFC que no destruye el ozono. Sus características presión-temperatura son similares al R-12. Durante muchos años el R-12 ha sido la norma de la industria en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado automotriz. El R-134a ha sido seleccionado por los fabricantes de automóviles como el refrigerante a utilizar en aires acondicionados automotrices más recientes. Algunos fabricantes de equipo de refrigeración también han escogido el R-134a para aplicaciones que anteriormente hubieran utilizado el R-12. También en algunas aplicaciones se ha utilizado el R-134a simplemente como reemplazo del



Capítulo VI

refrigerante R-12, sin ninguna modificación al equipo. No existe un acuerdo universal sobre que cambios deben efectuarse a sistemas donde se utilice el R-134a para reemplazar al R-12. Como mínimo, deberá quitarse el aceite mineral del refrigerante en el sistema R-12, y reemplazarlo con un aceite con base en esteres (poliol ester). También pudiera requerirse cambiar el dispositivo de medición o algunos otros componentes.

**R-123.** El R-123 se utiliza como reemplazo del R-11 en enfriadores de agua a baja presión. El R-123 es un HCFC y después de un cierto tiempo también deberá ser reemplazado. Sin embargo, algunos fabricantes de enfriadores a baja presión han decidido diseñarlos utilizando R-123 en razón de los costos muy bajos de operación del enfriador. Estos fabricantes sienten que el R-123 puede resultar una buena solución para los siguientes 20 o 30 años.

**R-22.** Igual que el R-123, el R-22 es un refrigerante HCFC que se utiliza en aplicaciones que antes utilizaban CFC. En pequeñas aplicaciones de refrigeración, que antes se basaban en el R-12, se están utilizando ahora sistemas R-22 para aplicaciones donde las temperaturas del evaporador de  $-10^{\circ}\text{F}$  o mas altas resulten aceptables.

**Mezclas de HCFC.** Se pretende utilizar mezclas de HCFC en aplicaciones de retro aplicación, donde el refrigerante original (R-12 y R-502) ya no esté disponible o ya no sea rentable por su costo. Estos refrigerantes utilizan un aceite alquilbenceno. Una mezcla refrigerante es aquella que es una combinación de dos (o más) refrigerantes con distintas relaciones presión-temperatura.

**Aceites refrigerantes.**

Cuando el R-12, R-22 y R-502 eran los refrigerantes que se utilizaban en prácticamente todas las aplicaciones, los aceites refrigerantes en uso todos eran de base mineral. Sin embargo, gran parte de los nuevos refrigerantes no son compatibles con el aceite mineral. Ahora están en uso dos clases nuevas de aceites: el aceite alquilbenceno y el aceite poliol éster. Esta clase de aceites son lubricantes sintéticos. Son compatibles en regresión con el aceite mineral, lo que



*Capítulo VI*

significa que un compresor que contenga aceite alquilbenceno o poliol éster puede instalarse en un sistema con R-12, R-22 O R-502, que contenga aceite mineral.

En conclusión se hace necesario que en posteriores trabajos se analice la posibilidad de cambiar el refrigerante utilizado en este sistema. De acuerdo con la disposición en Europa para el suministro del producto R-22, hay la posibilidad de entrega de parte de los productores de refrigerantes de producto "virgen", hasta el 1 de Enero de 2010. Esto nos condujo a todavía utilizar este tipo de refrigerante, pues durante el tiempo que va desde 1 de enero de 2010 hasta 1 de enero de 2014, será permitido el uso del R-22 como producto reciclado, es decir, es una oportunidad de usarlo en una transición posiblemente ordenada, para ir adaptando los equipos a nuevas oportunidades para su mantenimiento



## CONCLUSIONES

- Se diseño y se construyo un sistema de aire acondicionado didáctico, de tal forma que los estudiantes y docentes de la carrera de Ing. Electromecánica puedan realizar prácticas del tema y de esta forma afianzar los conocimientos teóricos recibidos e impartidos en el aula.
- El Banco de aire acondicionado es netamente explicativo e ilustrativo, fue diseñado y construido de tal forma que se visualicen todos y cada uno de los componentes que conforman un sistema real de acondicionamiento de aire, además incluida una válvula reversible de 4 vías, que es la que marca la diferencia de un sistema convencional; en el caso de este sistema se puede simular condiciones de frio, calor y humedad.
- En lo que concierne a asimilación de conocimientos, se a logrado poder llenar vacios que existieron durante nuestro paso por las aulas universitarias, mismos que nos servirán cuando estemos ejerciendo nuestra profesión.
- Este trabajo nos sirvió para podernos relacionar con gente involucrada en este tipo de sistemas, principalmente de la ciudad de Guayaquil (ESPOL) y Piura, quienes nos supieron brindar su valiosa información y aporte profesional para la eficaz culminación de esta tesis
- Se ha logrado recopilar y sistematizar una buena información de los sistemas de Acondicionamiento de aire y bomba de calor, la misma que resume los principales temas que le interesa al estudiante y al docente
- Se elaboro una metodología para el cálculo matemático de la carga de enfriamiento, la misma que esta detallada en el anexo 3 de este trabajo
- Elaboramos las respectivas guías para actividades prácticas en el banco de acondicionamiento de aire; con ello los estudiantes que cursen las materias de transferencia de calor, termodinámica y refrigeración tendrán una base importante para relacionar la teoría y la practica en sus respectivos módulos



## RECOMENDACIONES

- De ser posible implementar un medidor de caudal (caudalímetro), esto es para poder calcular el flujo de aire que pasa a través de la unidad exterior y de la unidad interior. De no ser posible obtener este dispositivo tratar de obtener un medidor de velocidad (velocímetro) con el que podamos determinar las diferentes velocidades de los ventiladores de las respectivas unidades y con este dato multiplicar por el área de los mismos y obtener el caudal requerido.
- De la misma forma se sugiere adquirir un Rotámetro, esto con la finalidad de conocer el flujo refrigerante real circulante por el sistema y poder contrastar con los cálculos matemáticos.
- Verificar que las conexiones de las tuberías (tes, codos, uniones), estén correctamente instaladas para evitar algún desperfecto en el sistema, en lo posible evitar el manipuleo, con ello se lograra alargar la vida útil del sistema y a su vez incurrir en accidentes involuntarios
- En la medida de las posibilidades construir el cuarto con algún otro tipo de aislante, esto con la finalidad de diferenciar los procesos de transmisión de calor que se suscitan entre uno y otro material aislante
- Así mismo queda planteada la posibilidad de que se implemente otro tipo de mecanismo de expansión del refrigerante en la tubería de líquidos del equipo, esto nos ayudara a entender las características de funcionalidad y operación de los controles de flujo del refrigerante
- Para algún trabajo de rediseño o acople de otro dispositivo en el equipo, debe seguirse con cuidado las normativas existentes para el reciclado del refrigerante, de ser posible hacerlo con personal calificado en este tipo de trabajos



## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- ASHRAE Handbook – Fundamentals, 1997.
- ASHRAE, Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning, 1998.
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo II. pp 347-414, 523-677
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III. pp 827-934
- AIR CONDITIONING CONTRACTORS OF AMERICA ACCA. Load Calculation for Residential Winter and Summer Air Conditioning (Manual J)
- BOTERO, Camilo, Manual de refrigeración y aire Acondicionado, 1987, Cámara Nacional de Industria Editorial, 1ra Edición, Cap N° 8, México D.F.
- CARNICER ROYO, Enrique. Aire Acondicionado. Madrid-España. Editorial Paraninfo. S.A., 224p
- CARRIER, Manual de Aire Acondicionado. 1996.
- ESPOL, Folleto de ventilación Industrial, 1998
- FAIRIS, Virgilio/ SIMMANG, Clifford, termodinámica de Fairis, 1990, Noriega Editores, 1ra Edición, México D.F.
- FERNANDES, Pedro. Ingeniería Térmica y de Fluidos, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria-pdf, Cap. XVI, XVII
- GONZALEZ, Virgilio. Manual de aire acondicionado y refrigeración Tomo I y IV. Editorial Prentice Hall. Segunda Edición. México 1994.



- HOLMAN, J.P., Transferencia de Calor, 1998, Editorial Continental S.A. de C.V., 9na Reimpresión, México
- KREITH, Frank/ BOHM, Mark S., Principios de Transferencia de calor, 6ta Edición, Cap. N° 8
- PINAZO, J.M. 1995. Manual de Climatización. Tomo I. Ed. SP-UPV
- PINAZO, J.M. 1995. Manual de Climatización. Tomo II. Ed. SP-UPV
- PITA, Edward G., Air Conditioning. Principles and Systems. Prentice-Hall, 3ª edición, 1998.
- THE AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING ENGINEERS, Air Conditioning Refrigerating. Data Book. Design Volume. 1958 by
- WANG, Shan K./ LAVAN, Zalman/ NORTON, Paul, Air conditioning and Refrigeration engineering. CRC Press, 2000.

### **TESIS**

- BOLAÑOS, Nestor Giovanni, 1999. Análisis Experimental del R134a en el Banco de Refrigeración del Laboratorio de Conversión de Energía. (Tesis de Ing. Mecánico) Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 120p
- GONZALEZ, Walter Fernando, Laboratorio de Aire Acondicionado y su Respectiva Guía de Pruebas Experimentales, 2001, (Tesis de Ing. Mecánico) Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 120p
- ILLESCAS, Cristian/ MACAS, Omar/ RENGEL, Rodrigo/ ERAS, Santos, 2006. Diseño y Construcción de un Banco de Refrigeración para el AEIRNNR. (Tesis de Ing. Electromecánicos) Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables. 96p



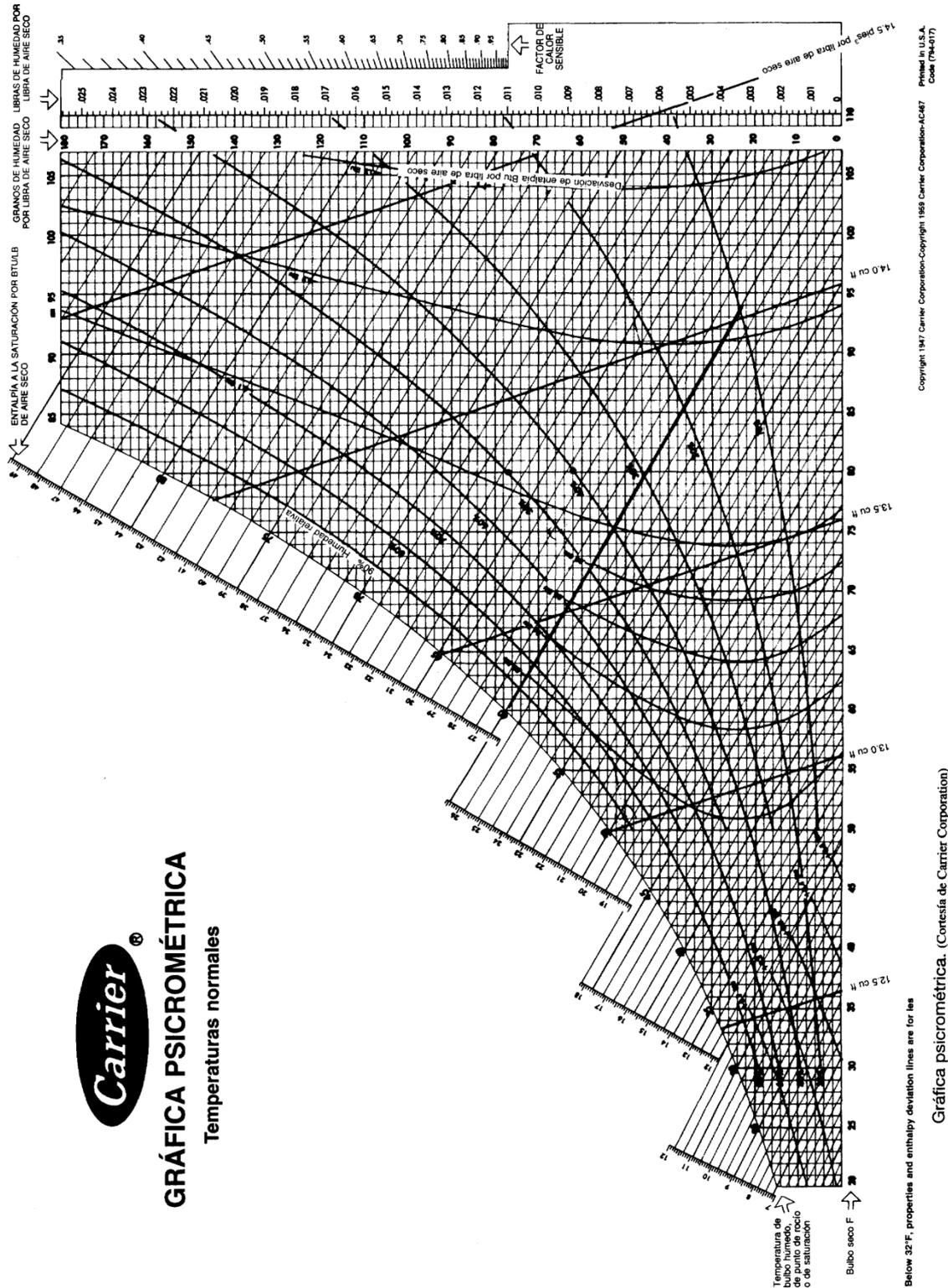
- ZAQUINAULA, Juan Carlos/ TORO, Franco/ ESCUDERO, Víctor/ VALDIVIESO, Rolando, 2006. Diseño y Montaje de un Banco de Pruebas para Análisis Térmico en Intercambiadores de Calor. (Tesis de Ing. Electromecánicos) Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables. 124p

#### **SITIOS WEB**

- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/analisis-carga-termica/analisis-carga-termica.pdf> (Consulta lunes 26 de noviembre de 2007 18H58)

# ANEXO 1

## GRÁFICA PSICROMÉTRICA DEL AIRE



**Carrier**<sup>®</sup>  
**GRÁFICA PSICROMÉTRICA**  
 Temperaturas normales



### ANEXO 3

#### Metodología de Cálculo Matemático de la carga de enfriamiento

Parámetros	Fórmula	Tabla	
Transmisión de calor	Resistividad térmica	4.2	4.1 – 4.2
	Coefficiente pelicular ho, hi	4.3 – 4.4	4.3
	Coefficiente de transferencia de calor U	4.5	
	Transmisión de calor por paredes y techo	4.6	4.4 – 4.5
	Calor solar por cristales	4.7 - 4.8	4.6
Carga térmica por infiltraciones		4.9 a 4.13	4.7 – 4.8
Carga térmica por misceláneos		4.14 a 4.19	4.9 – 4.10
Cargas totales sensibles y latentes		4.20 a 4.22	
Parámetros para la selección del equipo	Determinación del punto C	4.23 – 4.24	4.11
	Aire seco de suministro	4.25	
	Gasto másico del aire de ventilación	4.26	
	Temperatura y entalpia del punto C	4.28 – 4.29	
	Humedad absoluta del punto C	4.30	
	Humedad relativa del punto C	4.31	
	Determinación del punto D	4.32	
	Entalpia del punto D	4.33	
	Humedad absoluta del punto D	4.34	
	Humedad relativa del punto D	4.35	
	Determinación del punto R	4.36	
	Factor de by pass f	4.37	
	Potencia calorífica absorbida por los serpentines	4.38	
	Potencia calorífica real de los serpentines	4.39	



## ANEXO 4

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS  
INSTITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA E HIDROLOGIA  
DIRECCIÓN DE GESTION METEREOLÓGICA  
ESTUDIOS E INVESTIGACIONES METEREOLÓGICAS

Resumen mensual de los elementos del clima

Estación: Loja-Argelia

Mes: Enero 2007 a Julio 2008

DIA	RR	T MAX.	T MIN	Humedad Relativa (%)	Tensión del Vapor (hpa)	Punto de Rocio (°c)	Evaporación (mm)	Velocidad Dominante de la dirección (m/s)	Velocidad Media del Mes (m/s)
ENERO	138,1	21,8	12,7	75	13,8	11,7	91,7	3,9	2,5
FEBRERO	88,8	22	12,7	76	14,1	12	85,5	2,6	1
MARZO	188,3	20,7	13	76	14	11,9	87,2	2,5	1,4
ABRIL	82,7	22,4	12,3	74	13,8	11,8	91,5	2,7	1,7
MAYO	33,6	21,5	12,4	72	13	10,8	94,1	3	2,4
JUNIO	78,5	20,9	13	71	12,7	10,4	90,3	5,4	4,4
JULIO	33,7	20,4	13,5	69	12,5	10,2	101,2	6,7	6
AGOSTO	13,2	21,2	13,4	67	12,4	10,1	109,8	4,7	3,8
SEPTIEMBRE	22,5	22,4	18,1	69	13	10,8	114,5	3,8	2,6
OCTUBRE	37,2	24,1	11,8	70	13,2	11	138	2,6	2
NOVIEMBRE	93,1	24,2	12,2	74	14,1	12	121,2	2,7	1,6
DICIEMBRE	90,6	23,4	12,9	74	14,2	12,1	119,9	3,1	1,6
ENERO	50,1	22	13,9	74	14,3	12,2	88,9	4,8	2,4
FEBRERO	67,7	22,1	12,5	75	13,8	11,7	102	3,3	2,1
MARZO	93,4	22	12,5	76	14	12	10,4	3,3	1,4
ABRIL	98,8	23,2	12,9	75	14,3	12,3	100,9	3,2	1,5
MAYO	80,7	22,1	12,2	78	14,3	12,3	101,3	2,8	1
JUNIO	120	19,1	11,8	80	13,3	11,2	58,4	5	3,7
JULIO	11,3	21,8	11,6	73	12,9	10,7	124,3	7	4,6
<b>TOTAL</b>	<b>1.422,30</b>	<b>21,96</b>	<b>12,92</b>	<b>73,6</b>	<b>13,6</b>	<b>11,4</b>	<b>96,4</b>	<b>3,8</b>	<b>2,5</b>
<b>MAX/MIN</b>	<b>188,3</b>	<b>24,2</b>	<b>11,6</b>						
<b>MED. MAX</b>		<b>17,4</b>							



## ANEXO 5

### COMPRESORES PARA AIRE ACONDICIONADO

MODELO DE COMPRESOR	COD. PARC. DE LA LISTA DE MATER.	GAS REFRIGE- RANTE	REFERENCIA COMERCIAL (HP)	DESPLAZA- MIENTO (cm <sup>3</sup> /rev)	TIPO DE MOTOR	ENFRIAM DEL CONDESAD	CAPACIDAD FRIGORIFICA NOMINAL			
							60Hz		50Hz	
							BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h
AE 5465	AE 220	R-12	1 / 3	10,10	PSC/CSR	F	5500	1385	4580	1154
AE 5460	AE 230	R-12	1 / 2	11,30	PSC/CSR	F	6000	1511	5000	1259
AE 5465	AE 231	R-12	2 / 3	12,00	PSC/CSR	F	6500	1637	5420	1365
AE 5470	AE 240	R-12	3 / 4	13,24	PSC/CSR	F	7000	1750	5833	1458
AK 5510	AK 100	R-12	1	18,80	PSC/CSR	F	10000	2500	8333	2083
AKM 22 AS	AK 622	R-12	1 1/4	22,30	PSC/CSR	F	12000	3000	10000	2500
AK 5515 ES	AK 115	R-22	1 1/2	26,00	PSC/CSR	F	14400	3750	12000	3125
RK 5480 ES	RK 114	R-22	2 / 3	11,40	PSC	F	8100	2041	6700	1688
RK 5490 ES	RK 124	R-22	3 / 4	12,90	PSC	F	9200	2318	7500	1890
RK 5510 ES	RK 136	R-22	4 / 5	14,60	PSC	F	10300	2596	8500	2142
RK 5512 ES	RK 147	R-22	1	13,60	PSC	F	11700	2948	9600	2419
RK 5513 ES	RK 157	R-22	1 1/2	18,10	PSC	F	13200	3326	10600	2938
RK 5515 ES	RK 222	R-22	1 1/4	21,40	PSC	F	15500	3906	12500	3150
RK 5518 ES	RK 233	R-22	1 1/2	24,40	PSC	F	17700	4460	14300	3604



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

*ÁREA DE LA ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES*

***“Diseño y construcción de un sistema de Aire  
Acondicionado para prácticas estudiantiles en la carrera de  
Ing. Electromecánica de la U.N.L.”***

## **GUIA DE PRÁCTICAS**

**AUTORES:**

*Julio Amideo Jumbo Quichimbo  
Ramiro Homero Macas Curipoma*

**DIRECTOR:**

*Ing. Darwin Tapia*

*Loja-Ecuador  
2009*



## PRACTICA 1

### 1. Nombre de la práctica

Fundamentos teóricos que nos permita aprender un sistema de refrigeración típico y sus componentes

### 2. Objetivos

Definir los principales referentes teóricos y términos que se utilizan en calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

Identificar y explicar la función de cada uno de los componentes básicos del sistema

Identificar las áreas de transferencia de calor, el estado, temperatura, fase y presión del fluido en cada punto clave del sistema.

Calcular presiones absolutas y manométricas

Definir punto de ebullición, temperatura de saturación, temperatura de condensación, punto de fusión, supercalor, subenfriamiento.

Identificar y describir las características de operación de los tipos de dispositivos de medición

Definir e identificar los tipos de compresores, evaporadores, condensadores.

### 3. Procedimiento

Investigación bibliográfica en libros, revistas, páginas web, etc. Puede serle útil la bibliografía que detallamos en esta guía.

### 4. Sistema Categorial

1. Fundamentos teóricos de los sistemas de aire acondicionado

1.1 Proceso de refrigeración

1.2 Componentes del ciclo de refrigeración

- 1.3 Cambio de estado, presión temperatura y contenido calorífico
- 2. Estados de la materia
  - 2.1 Densidad, volumen específico y gravedad específica
  - 2.2 Principios de la termodinámica
  - 2.3 Comportamiento de la materia y el calor
  - 2.4 Calor sensible y calor latente
  - 2.5 Transferencia de calor
- 3. Fluidos y presión
  - 3.1 Presión de los fluidos
  - 3.2 Presión atmosférica, absoluta
  - 3.3 Presión y expansión de los gases
  - 3.4 Punto de ebullición, temperatura de condensación, punto de fusión, Temperatura de saturación, sobrecalentamiento, subenfriamiento
- 4. Controles del flujo refrigerante
- 5. Evaporadores
- 6. Compresores
- 7. Condensadores
- 8. Funcionamiento y tipos de dispositivos de medición
- 9. Accesorios no eléctricos del ciclo de refrigeración

## 5. Las preguntas de control

1. Defina los términos siguientes:

Refrigeración	Cambio de estado
Frio	Refrigerante
Calor	Calor latente de fusión
Temperatura	Calor latente de vaporización
Calor latente	Radiación
Calor sensible	Conducción
Presión manométrica y absoluta	Convección
Supercalor	Flujo de calor
Subenfriamiento	Calor específico
Temperatura de saturación	

2. Enuncie el objeto de cada uno de los componentes básicos del ciclo: compresor, condensador, dispositivo medidor y evaporador
3. Dibuje el ciclo e identifique los componentes del sistema y estado, presión, temperatura y situación del refrigerante en los diversos puntos clave.

4. ¿Es la temperatura una medida de la cantidad o de la intensidad de calor?
5. ¿Qué quiere decir el término cero absoluto?
6. Defina las leyes de la termodinámica
7. El calor latente puede ser medido utilizando un termómetro. ¿cierto o falso?  
¿Por qué?
8. La energía térmica se traslada mediante una o más de tres maneras diferentes.  
Nómbrelas.
9. Cuantos BTU hay en una tonelada estándar de efecto refrigerante?
10. Defina presión de fluido, densidad, gravedad específica, volumen específico
11. Explique las diferencias entre sobrecalentamiento y subenfriamiento
12. ¿Cuál es la diferencia entre un líquido saturado y un vapor saturado?
13. ¿Cuáles son las clasificaciones principales (según el método de compresión) para los compresores?
14. ¿Cuál es la diferencia entre un compresor hermético y un abierto?
15. ¿Cuál es el objetivo básico del condensador y cuáles son los tipos principales?
16. ¿Cuáles son los tipos principales de dispositivos de reducción de presión utilizados para controlar el flujo de refrigerante?
17. Nombre los principales dispositivos de medición que se utilizan en los sistemas de refrigeración
18. Enuncie cuáles son las ventajas y desventajas de usar tubos capilares en un sistema de refrigeración.
19. ¿Cuál es el objetivo principal de un acumulador en la tubería de succión?
20. ¿Qué tipo de dispositivo de medición mantiene constante la presión en el evaporador?
  - a. Válvula de expansión termostática
  - b. Tubo capilar
  - c. Válvula de expansión automática
  - d. Válvula de expansión electrónica
21. ¿Qué tipo de dispositivo puede ser utilizado como indicador de humedad?
  - a. El receptor
  - b. Acumulador en la tubería de succión
  - c. Filtro secador
  - d. Mirilla

## **6. Bibliografía recomendada**

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- ESPOL, Folleto de ventilación Industrial, 1998
- FAIRIS, Virgilio/ SIMMANG, Clifford, termodinámica de Fairis, 1990, Noriega Editores, 1ra Edición, México D.F.
- GONZALEZ, Walter Fernando, Laboratorio de Aire Acondicionado y su Respectiva Guía de Pruebas Experimentales, 2001, (Tesis de Ing. Mecánico) Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 120p
- HOLMAN, J.P., Transferencia de Calor, 1998, Editorial Continental S.A. de C.V., 9na Reimpresión, México
- PINAZO, J.M. 1995. Manual de Climatización. Tomo I. Ed. SP-UPV



## PRACTICA 2

### 1. Nombre de la práctica

Fundamentos teóricos del aire acondicionado y de una bomba de calor

### 2. Objetivos

Seleccionar los parámetros de confort requeridos para que las personas se sientan cómodas

Describir y explicar los principios y términos utilizados en la psicrometría

Utilizar la grafica psicrométrica para trazar el rendimiento de un sistema de aire acondicionado

Seleccionar el equipo adecuado para hacer frente a las cargas de refrigeración y calefacción de un local a acondicionar

Explicar los principios que se aplican en la construcción de una bomba de calor

Describir los diversos ciclos de operación que efectúa una bomba de calor en los ciclos de enfriamiento, calefacción

Definir la transmisión de calor y los coeficientes y parámetros asociados a este fenómeno

Describir tipos y ventajas de los materiales aislantes

Explicar cómo influye el efecto solar en la carga de calor

Calcular la carga de aire acondicionado para una residencia o edificio comercial pequeño

### 3. Procedimiento

Investigación bibliográfica en libros, revistas, páginas web, etc. Puede serle útil la bibliografía que detallamos en esta guía.

#### **4. Sistema Categorial**

1. Parámetros para el confort y comodidad
2. Psicrometría
  - 2.1 Grafica psicrométrica
3. Principios fundamentales de una bomba de calor
  - 3.1 Ciclos de la bomba de calor
4. Cálculos de la carga
  - 4.1 Carga de refrigeración
  - 4.2 Transmisión de calor
  - 4.3 Efecto solar
  - 4.4 Infiltraciones de aire
5. Cargas de calefacción y enfriamiento residenciales
6. Cargas de calefacción y enfriamiento comerciales

#### **5. Las preguntas de control**

1. Defina los siguientes términos: humedad en el aire, temperatura de bulbo seco y húmedo, temperatura de punto de rocío
2. ¿Cuál es el calor específico del aire en condiciones estándar?
3. ¿Cuántos gramos de humedad equivalen a 1 lb?
4. A 100% de humedad relativa, ¿La temperatura de bulbo húmedo del aire es igual a la temperatura del punto de rocío? Explique su respuesta.
5. ¿Cuáles son los procesos térmicos que puede sufrir el aire al sufrir un proceso? Explique cada uno de ellos.
6. ¿Es posible calentar y deshumidificar el aire simultáneamente? ¿Por qué y cómo?
7. Defina que es una bomba de calor y de qué manera se efectúan sus ciclos de trabajo.
8. ¿Con que dispositivo se lleva a cabo el modo de calefacción a refrigeración, y viceversa en una bomba de calor?
9. Nombre dos tipos de reductores de presión utilizados en una bomba de calor
10. ¿Cuáles son las tuberías de refrigerante en una bomba de calor que cambia la dirección del flujo?
11. El acumular de una bomba de calor protege contra:
  - a. Inundación hacia atrás del ciclo de enfriamiento

- b. Inundación hacia atrás en el ciclo de calefacción
  - c. Terminación del ciclo de descongelación
12. ¿Cuáles son las principales fuentes de donde proviene la carga de refrigeración?
  13. ¿El aislamiento tiene un valor alto o bajo de resistencia?
  14. Defina el término temperatura de diseño.
  15. Utilizando los referentes teóricos investigados en esta práctica, calcule la carga de refrigeración y de calefacción para las siguientes condiciones:

Condiciones de enfriamiento: exterior, 90 F bulbo seco y 70 de bulbo húmedo  
Interior, 74 F de bulbo seco y 63 F de bulbo húmedo

Condiciones de calefacción: exterior, 5 F bulbo seco y 22gr/lb  
Interior, 71.5 F de bulbo seco y 40gr/lb

En lo que concierne a características de construcción queda a su criterio utilizar el mismo cuarto sobre el que está el equipo de aire acondicionado o utilizar alguna otra edificación.

Se sugiere realizar los cálculos adicionando un material aislante de tal manera que se pueda visualizar ventajas y desventajas de un recinto aislado con uno que no lo está.

## **6. Bibliografía recomendada**

- ASHRAE, Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning, 1998.
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo II
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III. pp 827-934
- CARRIER, Manual de Aire Acondicionado. 1996
- BOTERO, Camilo, Manual de refrigeración y aire Acondicionado, 1987, Cámara Nacional de Industria Editorial, 1ra Edición, Cap N° 8, México D.F.



## PRACTICA 3

### 1. Nombre de la práctica

Ciclo de enfriamiento en el sistema de aire acondicionado (bomba de calor)

### 2. Objetivos

Aprender el debido manejo de un sistema de bomba de calor en su ciclo de refrigeración

Identificar los componentes eléctricos involucrados en una bomba de calor

Visualizar la función de cada uno de los componentes básicos del sistema

Entender y utilizar los accesorios de medida que están instalados en el banco de pruebas y relacionarlos con el diagrama p-h del sistema

Exponer las cuatro zonas del ciclo de refrigeración

Trazar el ciclo de refrigeración del sistema utilizando el diagrama P-H

Comparar los datos reales obtenidos en los instrumentos del banco con los obtenidos teóricamente.

Medir el grado de sobrecalentamiento y subenfriamiento del sistema, es decir, comparar la temperatura real del refrigerante R22 con la temperatura de saturación correspondiente a esa presión

### 3. Procedimiento

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el breek principal este en la posición encendido (**ON**)

- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizará un cursor que indicará el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Cool (Refrigeración) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en este caso el valor seleccionado tiene que ser menor a la temperatura ambiente del cuarto
- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagará una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a aumentar

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se seleccionó

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático.

Los datos a tomar se los puede llevar a las siguientes tablas:

*Tabla de lecturas típicas que resume lo que ocurre en la unidad exterior del sistema*

	A LA ENTRADA DE LA UNIDAD EXTERIOR	A LA SALIDA DE LA UNIDAD EXTERIOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

*Tabla de lecturas típicas de succión y descarga del compresor de sistema*

	SUCCIÓN DEL COMPRESOR	DESCARGA DEL COMPRESOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

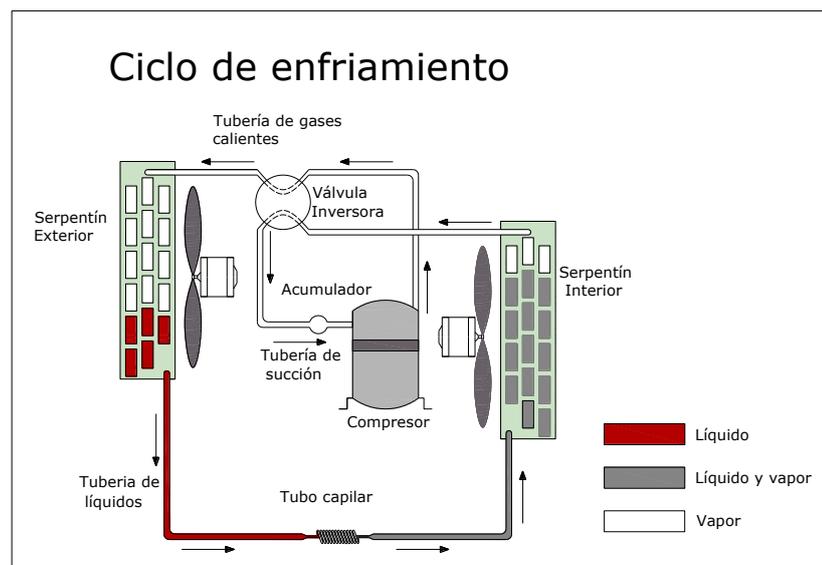
*Tabla de lecturas eléctricas del sistema*

	VOLTAJE (v)	INTESIDAD (A)	POTENCIA (w)	TIEMPO (h)	CONSUMO Kw-h
LECTURA					

#### **4. Sistema Categorial**

1. Psicometría
2. Parámetros fundamentales del sistema aire-vapor de agua

- 2.1 Humedad absoluta
- 2.2 Humedad relativa
- 2.3 Punto de rocío
- 2.4 Entalpía del aire húmedo
- 2.5 Temperatura del bulbo seco
- 2.6 Temperatura del bulbo húmedo
- 3. Diagrama Psicrométrico
  - 3.1 Procesos térmicos en el diagrama
- 4. Diagramas de presión-entalpía para R22
- 5. Proceso del ciclo de refrigeración
  - 5.1 Trabajo de compresión
  - 5.2 Efecto refrigerante
  - 5.3 Coeficiente de funcionamiento
  - 5.4 Caudal volumétrico real
  - 5.5 Potencia del compresor
- 6. Componentes del ciclo de refrigeración
- 7. Cambio de estado, presión temperatura y contenido calorífico
- 5. Esquema de instalación**
  - Esquema del sentido de flujo del refrigerante a través de la válvula inversora de 4 vías, en el modo de refrigeración



## 6. Las preguntas de control

1. Defina los siguientes términos: humedad absoluta y relativa en el aire, entalpia del aire, temperatura de bulbo seco y húmedo, temperatura de punto de rocío
2. Explique los principios de los procesos térmicos del diagrama psicométrico. ¿Qué tipo de proceso se está aplicando en esta práctica?
3. Defina los siguientes términos: efecto refrigerante, entalpia, entropía, COP (coeficiente de rendimiento), subenfriamiento, sobrecalentamiento
4. Cuales factores inciden al momento de determinar el NRE ( efecto neto refrigerante)
5. ¿Cuál es la diferencia ente vapor saturado y vapor sobrecalentado?
6. Exponga un concepto referente a la grafica P-H de un sistema, y detalle las divisiones que se muestran en la grafica
7. ¿A la salida del dispositivo de medición ocurre un cambio de temperatura o un cambio de presión?
8. Con los datos que se visualizan en los instrumentos instalados en el equipo proceda a realizar los cálculos del ciclo de refrigeración; posterior a ello verifique la capacidad del compresor, para diferentes temperaturas de estado del cuarto. De la misma forma proceda a verificar matemáticamente si la unidad interior está bien seleccionada para el calor que necesita evacuar.

## 7. Bibliografía recomendada

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo II.
- WANG, Shan K./ LAVAN, Zalman/ NORTON, Paul, Air conditioning and Refrigeration engineering. CRC Press, 2000.
- <http://www.monografias.com/trabajos17/calorimetria/calorimetria.shtml>
- <http://www.paranauticos.com/Notas/Meteorologia/punto-de-rocio.htm>
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica/PDFs/Capitulo17.pdf>



## PRACTICA 4

### 1. Nombre de la práctica

Ciclo de calefacción en el sistema de aire acondicionado (bomba de calor)

### 2. Objetivos

Aprender el debido manejo de un sistema de bomba de calor en su ciclo de calefacción

Explicar las diferencias entre bombas de calor con fuente térmica de aire, fuente térmica de agua y de agua a agua

Identificar los componentes eléctricos involucrados en una bomba de calor

Explicar el propósito de los principales componentes de una bomba de calor

Enunciar las diferencias existentes en las tuberías de refrigerante de una bomba de calor comparadas con las de acondicionador de aire convencional.

Explicar las situaciones básicas donde el compresor requiere de protección del acumulador

Comparar los datos reales obtenidos en los instrumentos del banco con los obtenidos teóricamente.

Medir el grado de sobrecalentamiento y subenfriamiento del sistema, es decir, comparar la temperatura real del refrigerante R22 con la temperatura de saturación correspondiente a esa presión

### 3. Procedimiento

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el breek principal este en la posición encendido (**ON**)
- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizara un cursor que indicara el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Heat (Calefacción) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en este caso el valor seleccionado tiene que ser mayor a la temperatura ambiente del cuarto
- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagará una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a disminuir

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se selecciono

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático.

Los datos a tomar se los puede llevar a las siguientes tablas:

*Tabla de lecturas típicas que resume lo que ocurre en la unidad interior del sistema*

	A LA ENTRADA DE LA UNIDAD INTERIOR	A LA SALIDA DE LA UNIDAD INTERIOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

*Tabla de lecturas típicas de succión y descarga del compresor de sistema*

	SUCCIÓN DEL COMPRESOR	DESCARGA DEL COMPRESOR
TEMPERATURA DE SATURACIÓN (F)		
TEMPERATURA REAL DEL GAS REFRIGERANTE (F)		
SOBRECALENTAMIENTO (F)		
PRESIÓN (PSIA)		
PRESIÓN (PSIG)		
ENTALPIA (BTU/LB)		

Tabla de lecturas eléctricas del sistema

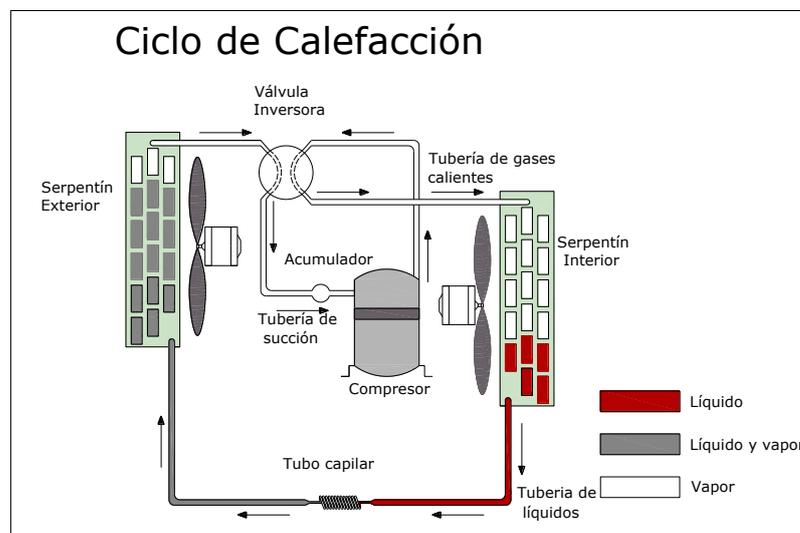
	VOLTAJE (v)	INTESIDAD (A)	POTENCIA (w)	TIEMPO (h)	CONSUMO Kw-h
LECTURA					

#### 4. Sistema Categorial

1. Principios y componentes básicos de una bomba de calor
2. Ciclos de una bomba de calor
3. Psicometría
  - 4.1 Humedad absoluta
  - 4.2 Humedad relativa
  - 4.3 Punto de rocío
  - 4.4 Entalpía del aire húmedo
  - 4.5 Temperatura del bulbo seco
  - 4.6 Temperatura del bulbo húmedo
5. Diagrama Psicrométrico
  - 5.1 Procesos térmicos en el diagrama
6. Diagramas de presión-entalpia para R22

#### 5. Esquema de instalación

Esquema del sentido de flujo del refrigerante a través de la válvula inversora de 4 vías, en el modo de calefacción



## **6. Las preguntas de control**

1. Describa el funcionamiento básico entre un sistema de aire acondicionado convencional y una bomba de calor
2. ¿Con que nombre se los idéntica a los serpentines de una bomba de calor? Describa el funcionamiento
3. ¿Qué tipo de dispositivo hace el cambio de modo de calefacción a refrigeración y viceversa en un sistema de bomba de calor?
4. El serpentín interior de una bomba de calor se lo diseña generalmente más grande que el de un sistema convencional. ¿explique cuáles son las causas de este diseño?
5. Identifique y describa el funcionamiento cada una de las cuatro vías de la válvula inversora del equipo
6. ¿Qué tipos de dispositivos reductores de presión se utilizan en un sistema de bomba de calor?
7. Por lo general se instalan acumuladores suficientemente grandes en una bomba de calor. ¿Cuál es su finalidad?

## **7. Bibliografía recomendada**

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo I
- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III.
- <http://www.elaireacondicionado.com.ar/aire.html>



## PRACTICA 5

### 1. Nombre de la práctica

Ciclo deshumidificación en el sistema de aire acondicionado

### 2. Objetivos

Describir los factores y parámetros típicos que intervienen para determinar la humedad

Puntualizar los principales tipos de humidificadores

### 3. Procedimiento

- Comprobar que la línea de alimentación sea 220V-60 Hz y conectar el cordón de alimentación
- Verificar en los manómetros que las presiones tanto de baja como de alta se encuentren equilibradas
- Verificar que el breek principal este en la posición encendido (**ON**)
- En el control principal del banco accionar el pulsador **MODE**

En el Set de Temperatura se visualizara un cursor que indicara el modo de funcionamiento disponible para el aparato. Deberá seleccionarse el modo Dry (Deshumidificación) de entre los demás modos de funcionamiento disponibles

Es importante hacer énfasis en este modo de funcionamiento ya que tiene características similares al modo Refrigeración, para su mejor

interpretación y entendimiento sugerimos remitirnos a los referentes teóricos que explican los procesos térmicos que se puede hacer en el aire

- Una vez seleccionada la opción de trabajo, con el pulsador de **TEMPERATURA** proceder a seleccionar un valor de temperatura que este dentro de los márgenes programados para el equipo (17 °C - 30 °C); en este caso el valor seleccionado tiene que ser menor a la temperatura ambiente del cuarto
- En el panel de control principal también tiene disponible el pulsador **FAN SPEED**, sirve para controlar la velocidad del ventilador de la Unidad Interior; las opciones pueden ser ALTA, MEDIA, BAJA; según su conveniencia

Con estos pasos el sistema automáticamente empezará a trabajar encendiendo el compresor y los ventiladores de la unidad interior y exterior respectivamente. El sistema automáticamente se apagará una vez que sus sensores de temperatura detecten que se ha alcanzado la temperatura seleccionada en el panel de control, y de la misma forma se volverá a encender después de que hayan transcurrido unos minutos, esto debido a que por situaciones de calor externo u otros agentes la temperatura ambiente dentro del cuarto comience a aumentar

De no accionar cualquiera de las otras funciones del banco, éste siempre mantendrá la temperatura en los alrededores del cuarto que inicialmente se selecciono

Establecida la temperatura ambiente deseada se puede proceder a tomar datos en los instrumentos instalados (manómetros, termómetros, amperímetro, voltímetro) para su análisis teórico y por supuesto matemático

#### **4. Sistema Categorical**

1. Fundamentos teóricos de los procesos de humidificación y deshumidificación
2. Definiciones de la interacción aire-agua
  - 2.1. Humedad absoluta
  - 2.2. Humedad relativa

- 2.3. Calor específico
- 2.4. Entalpía específica de saturación
- 2.5. Diagrama de humedad (carta Psicrométrica)
- 3. Operaciones y métodos de humidificación
- 4. Humidificadores
- 5. Métodos de deshumidificación

#### **4. Las preguntas de control**

1. Defina los siguientes términos: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de punto de rocío, humedad, humedad específica, humedad absoluta, humedad relativa, capacidad de deshumidificación, higrómetro
2. ¿Qué tipo de dispositivo controla a un humidificador?
3. ¿Cuál es el margen de humedad deseable?
4. ¿Qué determina la cantidad necesaria de humedad?
5. Nombre los tipos de humidificadores evaporativos
6. ¿Qué significa el término humedad relativa?
7. La humedad de un edificio depende de
  - a. La temperatura exterior
  - b. La construcción de la casa
  - c. La humedad relativa que el interior de la casa puede aceptar sin problemas de condensación
  - d. Todo lo anterior
8. Cuando el aire exterior se calienta, su humedad relativa
  - a. Se eleva
  - b. Se reduce
  - c. No es afectada

#### **5. Bibliografía recomendada**

- AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE ARI. 1999. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Tomo III. pp 679-825
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Higr%C3%B3metro>
- [http://www.pablojosa.com/PB10\\_3817\\_Humidificadores.pdf](http://www.pablojosa.com/PB10_3817_Humidificadores.pdf)