



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

**ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES  
DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**José Juan Argueta Lemus**

Asesorado por el Ing. Hermenegildo Argueta Morales

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES  
DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ JUAN ARGUETA LEMUS**

ASESORADO POR EL ING. HERMENEGILDO ARGUETA MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES  
DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha de 3 de marzo 2014.



**José Juan Argueta Lemus**

DOC-2015-08-13  
PAG NO 1

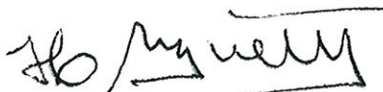
Guatemala 13 de agosto de 2015

Ingeniero  
Roberto Guzmán  
Director de la escuela de ingeniería mecánica  
Facultad de ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente  
Señor Director.

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado **“ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”** presentado por el estudiante **JOSÉ JUAN ARGUETA LEMUS** con carnet **200714628**.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y objetivos iniciales planteados y considero que llena los requisitos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Agradeciendo su atención muy atentamente.



Ing. Hermenegildo Argueta Morales

Colegiado activo 3063

HERMENEGILDO ARGUETA M.  
INGENIERO MECANICO  
Colegiado No. 3063



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.235.2015

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, del estudiante **José Juan Argueta Lemus**, recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**



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

Guatemala, agosto de 2015





**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.284.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** del Estudiante **José Juan Argueta Lemus** Carné No. **2007-14628** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2015

/aej



DTG. 498.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE EN EL SALÓN DE PROFESORES DE LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Juan Argueta Lemus**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García  
Decano en Funciones

Guatemala, septiembre de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme las bendiciones que me permiten estar aquí hoy.
<b>Mi madre</b>	Isis Urania Lemus Sandoval de Argueta, por su paciencia, amor y motivación durante la carrera.
<b>Mi padre</b>	Hermenegildo Argueta Morales, por guiarme con su ejemplo de trabajo duro y pasión por nuestra profesión.
<b>Mi hermana</b>	Ligia Mercedes Argueta Lemus de Figueroa, por acompañarme y siempre estar pendiente de mí.
<b>Mi prometida</b>	María Emma Oroxom Contreras, por ser mi motivo de superación y todo lo que realice con mi título, será para nuestra familia.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma máter y darme la oportunidad de recibir una educación de nivel superior.

**Mi familia**

Bitá Edna Sandoval, tíos, primos y sobrino, por darme su apoyo en todo momento.

**Familia Oroxom  
Contreras**

Por aceptarme dentro de su familia con los brazos abiertos.

**Mis amigos del colegio  
Capouilliez**

Por estar a mi lado desde hace 15 años, contando con ustedes en las buenas y en las malas.

**Mis amigos de la  
Facultad de Ingeniería**

Por el apoyo en clases, las risas y experiencias de vida que jamás olvidaré.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Campo y usos del acondicionamiento de aire .....	1
1.1.1. Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire .....	2
1.1.2. Confort humano .....	3
1.1.3. Estándares de confort .....	4
1.1.4. Diseño del sistema de acondicionamiento de aire .....	6
1.1.5. Instalación del sistema de acondicionamiento de aire .....	6
1.1.6. Servicio y mantenimiento del sistema de acondicionamiento de aire .....	7
1.2. Psicrometría .....	8
1.2.1. Propiedades del aire .....	8
1.2.2. Carta psicométrica .....	9
1.2.3. Cálculo de procesos de variación de calor sensible y latente .....	11

1.3.	Cálculo de cargas de enfriamiento .....	13
1.3.1.	Cargas de enfriamiento .....	13
1.3.2.	Ganancias de calor en recintos .....	14
1.3.3.	Conducción a través de estructuras .....	15
1.3.4.	Radiación solar a través de vidrios .....	15
1.3.5.	Alumbrado .....	16
1.3.6.	Personas .....	17
1.3.7.	Aparatos electrodomésticos .....	18
1.3.8.	Ventilación.....	19
1.3.9.	Ganancia de calor en ductos .....	19
1.3.10.	Ganancia de calor por ventiladores .....	20
1.3.11.	Ganancia de calor por Laboratorio de Soldadura .....	21
1.3.12.	Ganancia de calor por Laboratorio de Metalurgia.....	21
1.3.13.	Carga de enfriamiento del recinto.....	22
1.3.14.	Carga de refrigeración .....	22
1.4.	Tuberías y ductos.....	22
1.4.1.	Ecuación de continuidad.....	23
1.4.2.	Caídas de presión en sistemas de tuberías .....	23
1.4.3.	Métodos de diseño de ductos .....	24
1.4.3.1.	Método de igual fricción.....	25
1.4.3.2.	Método de igual fricción.....	25
1.4.4.	Materiales y especificaciones de tuberías .....	27
1.4.5.	Conexiones para tubería de cobre.....	28
1.4.6.	Expansión y anclaje de tubería.....	29
1.4.7.	Aislamiento de tubería .....	29
1.4.8.	Construcción de ductos .....	30
1.4.9.	Aislamiento de ductos .....	31

1.5.	Distribución del aire .....	32
1.5.1.	Elementos de acondicionamiento del aire .....	32
1.5.1.1.	Ubicación.....	32
1.5.1.2.	Equipos.....	33
1.5.2.	Distribución de aire en espacios acondicionados .....	38
1.5.2.1.	Ubicación de suministro de aire.....	39
1.5.2.2.	Ubicación de retorno de aire.....	40
1.5.3.	Trayecto de conductos de aire .....	41
1.5.3.1.	Velocidad.....	41
1.5.3.2.	Presión.....	42
1.5.3.3.	Espacio disponible y decoración.....	43
1.5.3.4.	Factores económicos en sistemas de ductos.....	43
1.6.	Trayecto de tubería.....	47
1.6.1.	Aspectos generales de tuberías .....	47
1.6.2.	Tubería para agua .....	49
1.6.3.	Tubería para refrigerantes .....	52
1.7.	Equipos de acondicionamiento de aire .....	54
1.7.1.	Expansión directa .....	55
1.7.1.1.	Aire acondicionado tipo ventana.....	55
1.7.1.2.	Aire acondicionado tipo portátil.....	56
1.7.1.3.	Aire acondicionado tipo pared.....	57
1.7.1.4.	Aire acondicionado tipo split.....	58
1.7.1.5.	Aire acondicionado tipo paquete.....	59
1.7.2.	Expansión indirecta.....	59
1.7.2.1.	Aire acondicionado tipo chiller.....	60



2.	MARCO PRÁCTICO .....	63
2.1.	Medición de variables del salón de profesores .....	63
2.2.	Cálculo de cargas térmicas .....	64
2.3.	Diseño.....	71
2.3.1.	Diseño de instalación para equipo tipo ventana .....	71
2.3.2.	Diseño de instalación para equipo tipo pared .....	72
2.3.3.	Diseño de instalación para equipo tipo split .....	73
2.3.4.	Diseño de instalación para equipo tipo paquete .....	75
2.3.5.	Diseño de instalación para equipo tipo chiller .....	77
2.4.	Costos de instalación de equipos .....	80
2.4.1.	Costos de instalación para equipo tipo ventana .....	81
2.4.2.	Costos de instalación para equipo tipo pared .....	82
2.4.3.	Costos de instalación para equipo tipo split .....	83
2.4.4.	Costos de instalación para equipo tipo paquete .....	84
2.4.5.	Costos de instalación para equipo tipo chiller .....	85
2.5.	Mantenimiento.....	86
2.5.1.	Plan de mantenimiento para equipo tipo ventana .....	87
2.5.2.	Plan de mantenimiento para equipo tipo pared.....	88
2.5.3.	Plan de mantenimiento para equipo tipo split .....	89
2.5.4.	Plan de mantenimiento para equipo tipo paquete .....	90
2.5.5.	Plan de mantenimiento para equipo tipo chiller .....	91
2.6.	Costos de mantenimiento de equipos .....	92
2.6.1.	Mantenimiento equipo tipo ventana .....	92

2.6.2.	Mantenimiento equipo tipo pared .....	92
2.6.3.	Mantenimiento equipo tipo split .....	93
2.6.4.	Mantenimiento equipo tipo paquete .....	93
2.6.5.	Mantenimiento equipo tipo chiller .....	94
CONCLUSIONES .....		95
RECOMENDACIONES .....		97
BIBLIOGRAFÍA .....		99
APÉNDICES .....		101
ANEXOS .....		105



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estándares de confort.....	5
2.	Carta psicométrica.....	9
3.	Procesos combinados de cambio de calor sensible y latente.....	10
4.	Difusor de parrilla.....	36
5.	Difusor de cielo raso.....	37
6.	Difusor de ranura.....	38
7.	Tipos de codos.....	45
8.	Tipos de derivación.....	47
9.	Aire acondicionado tipo ventana.....	55
10.	Aire acondicionado tipo portátil.....	56
11.	Aire acondicionado tipo pared.....	57
12.	Aire acondicionado tipo <i>split</i> .....	58
13.	Aire acondicionado tipo paquete.....	59
14.	Aire acondicionado tipo <i>chiller</i> .....	61

### TABLAS

I.	Medidas de ductos para equipos tipo <i>split</i> .....	74
II.	Medidas de ductos para equipos tipo paquete.....	76
III.	Costos de instalación de equipos tipo ventana.....	81
IV.	Costos de instalación de equipo tipo pared.....	82
V.	Costos de instalación de equipo tipo <i>split</i> .....	83
VI.	Costos de instalación de equipo tipo paquete.....	84

VII.	Costos de instalación de equipo tipo <i>chiller</i> .....	85
VIII.	Cronograma de mantenimiento de equipo tipo ventana.....	87
IX.	Cronograma de mantenimiento de equipo tipo pared.....	88
X.	Cronograma de mantenimiento de equipo tipo <i>split</i> .....	89
XI.	Cronograma de mantenimiento de equipo tipo paquete.....	90
XII.	Cronograma de mantenimiento de equipo tipo <i>chiller</i> .....	91



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>A</b>	Área
<b>BH</b>	Bulbo húmedo
<b>BS</b>	Bulbo seco
<b>Cpa</b>	Calor específico del aire seco
<b>Cpw</b>	Calor específico del vapor de agua
<b>QL</b>	Calor latente
<b>Qs</b>	Calor sensible
$\Delta t$	Cambio de temperatura
<b>Qa</b>	Caudal o flujo volumétrico
<b>CS</b>	Coefficiente de sombreado
<b>U</b>	Coefficiente de transferencia de calor de materiales.
<b>D</b>	Diámetro
<b>H</b>	Entalpía específica
<b>FB</b>	Factor de balastro
<b>FCE</b>	Factor de carga de enfriamiento para el vidrio
<b>F</b>	Factor de fricción
<b>FGCS</b>	Factor de radiación a través del vidrio
<b>Q</b>	Ganancia de calor
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>G</b>	Gravedad
<b>H</b>	Hora
<b>W</b>	Humedad específica

<b>HR</b>	Humedad relativa
<b>Clo</b>	Índice de indumento
<b>Kcal</b>	Kilo caloría
<b>L</b>	Longitud
<b>M</b>	Metro
<b>m.m.c.a</b>	Milímetros de columna de agua
<b>Min</b>	Minutos
<b>Hf</b>	Pérdida de presión por fricción
<b>Ma</b>	Peso del aire
<b>Mw</b>	Peso del vapor de agua
<b>Ft</b>	Pies
<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>PR</b>	Punto de rocío
<b>R</b>	Recuperación en la sección
<b>S</b>	Segundo
<b>BTU</b>	Unidad térmica británica
<b>V</b>	Velocidad
<b>v</b>	Volumen específico

## GLOSARIO

<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, por sus siglas en inglés (American National Standards Institute).
<b>ASHRAE</b>	Asociación Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado, por sus siglas en inglés (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).
<b>ASTM</b>	Asociación Estadounidense para Ensayos y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials).
<b><i>Damper</i></b>	Elemento colocado en los ductos de distribución que controla el flujo de aire en un sistema <i>HVAC</i> .
<b>Índice de indumento (clo)</b>	Valor de aislamiento térmico generado por la ropa, por las necesidades del cuerpo humano ante las temperaturas ambientales.
<b>Lasitud</b>	Estado de desfallecimiento o falta de fuerzas.

**Sistema HVAC**

Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, por sus siglas en inglés (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*).

**SMACNA**

Asociación Nacional de Contratistas de Aire Acondicionado y Hojas de Metal, por sus siglas en inglés (The Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association).

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación define los parámetros y las variables que se deben estudiar para climatizar, hasta la zona de confort, el salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, propone los diferentes tipos de equipos para lograrlo.

Se expone lo básico correspondiente al aire acondicionado, para qué se utiliza, sus componentes, el diseño, estudiando todas las cargas de calor posibles existentes. La instalación de los tipos más comunes y comerciales de equipos de aire acondicionado y mantenimiento posterior, para garantizar una eficiencia óptima y una larga vida operativa.

También se exponen precios sugeridos de equipos, así como los de mantenimiento, los cuales ayudarán a entender y planificar mejor una instalación de equipo de aire acondicionado en un salón de profesores.





# OBJETIVOS

## General

Aclimatar por medio de un equipo de aire acondicionado el ambiente del salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Específicos

1. Identificar las cargas térmicas posibles en el salón de profesores de la Escuela de Mecánica.
2. Crear mediante la utilización del software AutoCAD 2010, el plano del sistema de refrigeración indicando su trayecto, sus dimensiones y materiales, que sirva de guía para una correcta instalación.
3. Proponer un tipo de aire acondicionado que cumpla con los requerimientos y necesidades del ambiente a acondicionar.



## INTRODUCCIÓN

Lejos de ser un elemento de lujo, el aire acondicionado llegó a ocupar una parte importante en cualquier trabajo, proceso industrial u ocio de las personas.

El intercambio de calor entre el hombre y su medio está influido por cuatro factores: la temperatura del aire, la velocidad del aire, la cantidad de humedad del aire y la temperatura radiante. Cuando algunos de estos factores exceden los límites para el confort humano, genera un ambiente, hasta cierto punto, incómodo.

Estar en un ambiente con altas temperaturas puede causar en las personas un aumento en la irritabilidad, lasitud, disminución de la moral, aumento de la ansiedad e incapacidad de concentrarse. El resultado se refleja en un bajo desempeño en su trabajo, lo que produce una ineficiencia en la producción y calidad del producto final.

Los aires acondicionados son fuente de confort y calidad de vida, ya que proporcionan un beneficio extra a las personas con afecciones respiratorias, alergias al polvo, estrés en sus entornos, e inclusive sinusitis.

Para mantener esta temperatura controlada en los límites de confort humano existen diferentes tipos de sistemas de refrigeración en aire acondicionado (*ventana, mini split, split, paquete, chiller*), basados en su tamaño, ubicación y su funcionamiento.

El objetivo es, extraer el calor interior del ambiente generado por maquinaria, convección o radiación solar. Así, el refrigerante a baja temperatura absorbe el calor del aire en el evaporador y lo expulsa en el condensador situado en el exterior del ambiente.

Para que un sistema de refrigeración trabaje eficientemente se debe seleccionar correctamente varios aspectos técnicos del equipo, como la carga térmica que debe ser absorbida, el tamaño del equipo en BTU/h, diámetros de tubería de refrigeración e instalaciones eléctricas.

En el presente trabajo se diseña, calcula y selecciona un sistema de refrigeración de aire acondicionado, así como su plan de mantenimiento para que cumpla los lineamientos necesarios para realizar una buena transferencia de calor en el salón de profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Campo y usos del acondicionamiento de aire

Comúnmente, las personas asocian el término acondicionamiento de aire solamente con “enfriar el aire”. La definición más apropiada de acondicionamiento de aire es “un proceso mediante el cual se trata un ambiente cerrado con el propósito de conservar en límites deseados la temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire”<sup>1</sup>.

Esto no implica que cada sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés) regulen estas condiciones. Un sistema de calefacción controla la temperatura del aire y se utiliza solamente en invierno. Pero si se desea controlar la humedad, ya que la calefacción deshumidifica hasta cierto porcentaje, se debe colocar en los ductos un humidificador para controlar esta variable junto con la temperatura.

En Guatemala, pocas residencias poseen un equipo de calefacción o enfriamiento de aire que les permita controlar la temperatura y la humedad. Los sistemas de acondicionamiento de aire utilizados en edificios comerciales e institucionales actuales, así como en apartamentos de lujo, generalmente controlan durante el año todas las variables descritas anteriormente.

---

<sup>1</sup> PITA, Edward G. (1994). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. P. 2. capítulo 1 CAMPO Y USOS DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.

Las aplicaciones de los sistemas de acondicionamiento de aire son dos:

- Confort humano: rangos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire que aumentan la comodidad de las personas.
- Control de procesos industriales: para el buen funcionamiento de la maquinaria y asegurar la mejor calidad del producto se emplea el acondicionamiento de aire que controla y mantiene la temperatura, como también la humedad requerida.

### **1.1.1. Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire**

Los cambios de temperatura se caracterizan por el desplazamiento del aire de la zona más caliente a la más fría. En invierno, la pérdida de calor ocurre desde el interior de una habitación o recinto hacia el exterior donde la temperatura es menor. Al equipo que suministra calor constantemente, para compensar esa pérdida de temperatura se le llama sistema de calefacción.

En verano, el calor entra continuamente desde el exterior por medio de radiación o conducción hacia el interior. Para mantener una temperatura confortable se debe eliminar el exceso de calor interior. El equipo que elimina este calor se llama sistema de enfriamiento.

Un sistema de acondicionamiento de aire puede trabajar con calefacción o enfriamiento, ya que sus principios básicos son los mismos. La mayoría de sistemas de calefacción y de enfriamiento tienen los siguientes elementos básicos:

- Una fuente de calor o enfriamiento que agrega o sustrae el calor del ambiente por medio de un fluido, generalmente es aire, agua y, solo para la calefacción, vapor.
- Equipo de ventilación o bombas para mover el aire o agua.
- Una red de distribución con ductos o tuberías donde se transporta el fluido hacia los recintos a acondicionar.
- Intercambiadores de calor para transmitir el calor entre el fluido y el recinto.

### **1.1.2. Confort humano**

El objetivo de los sistemas de acondicionamiento de aire es proporcionar un ambiente interior confortable, y para realizarlo se deben tener en cuenta diferentes factores de la comodidad.

- Pérdida de calor corporal: El cuerpo humano genera calor para metabolizar sus alimentos, este calor pasa a sus alrededores a un medio más frío. La velocidad de pérdida de calor corporal es el factor que determina si las personas sienten más calor o más frío.

Las formas por las cuales el cuerpo cede su calor al ambiente es por: convección, radiación y evaporación.

- Convección: el cuerpo cede su calor al aire que lo rodea, alejándose en forma natural por aire más frío, o por el movimiento de masa de aire.
- Radiación: el calor corporal se transmite por el espacio hacia otros objetos, así como objetos más calientes que el cuerpo humano puede irradiar su calor hacia este.



- Evaporación: la transpiración cuando absorbe calor corporal se evapora al aire, extrayendo calor del cuerpo.

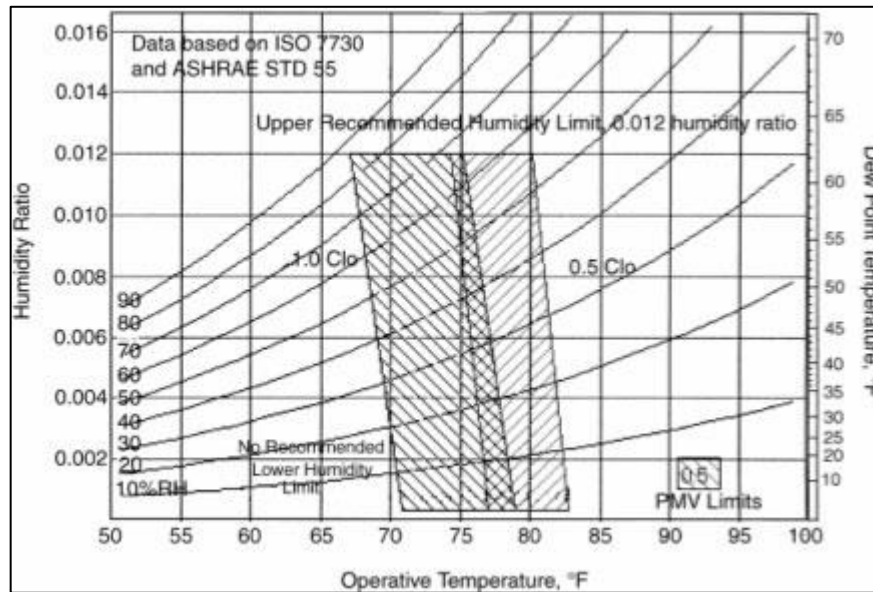
Los 5 factores que afectan la velocidad de pérdida de calor corporal son:

- Temperatura del aire
  - Humedad del aire
  - Movimiento del aire
  - Temperatura de objetos circundantes
  - Prendas de vestir
- Calidad del aire: este se refiere al grado de pureza que pueda tener, ya que esto afecta el confort y la salud de las personas. La presencia de polvo, humo, olores, gases puede ser eliminada por medio de filtros y una conexión de ventilación exterior.

### **1.1.3. Estándares de confort**

A partir de estudios realizados en Estados Unidos de América sobre los efectos de la temperatura, humedad, movimiento de aire y prendas de vestir se establecieron condiciones ideales para interiores, tanto para invierno como para verano. El estándar 55-2004 de ANSI/ASHRAE especifica condiciones aceptables para la mayoría de ocupantes (80 %) expuestos a las mismas condiciones.

Figura 1. Estándares de confort



Fuente: *La sostenibilidad del envoltorio de un edificio.*

[http://www.wbdg.org/resources/env\\_sustainability.php?r=envelope](http://www.wbdg.org/resources/env_sustainability.php?r=envelope).

Consulta: 13 de marzo de 2014.

Las zonas sombreadas se le conocen como zona de confort (roja para verano, azul para invierno), sin embargo, existen condiciones para que la zona de confort sea funcional:

- Las zonas de confort se aplican solamente a personas con actividades sedentarias o poco activas.
- La vestimenta es importante, ya que puede afectar la zona de confort. Para verano se asume ropa como pantalones delgados y camisas o camisetas de manga corta o prenda equivalente a un índice de indumento de 0,5 clo; para invierno la vestimenta consiste en pantalones gruesos, camisas de manga larga y suéter o prenda equivalente a un índice de indumento de 0,9 clo.

- El movimiento de aire en las zonas climatizadas no debe exceder 30 pies por minuto en invierno, ni 50 pies en época de verano.

#### **1.1.4. Diseño del sistema de acondicionamiento de aire**

La responsabilidad de diseñar correctamente un sistema de acondicionamiento de aire es del ingeniero mecánico consultor del proyecto. Los sistemas eléctricos y de tubería deben ser realizados por ingenieros especializados en el tema, así como también, la estimación de costos y supervisiones en la construcción.

El diseño del sistema de acondicionamiento de aire requiere coordinación entre ingenieros y arquitectos, para verificar que el equipo y materiales a instalar no se obstaculicen entre sí, causando retrasos o modificaciones extras.

El ingeniero mecánico debe determinar las cargas de enfriamiento, diámetros de tubería y tamaños de ductos, seleccionar el tipo y tamaño de equipo y la mejor ubicación de cada componente del sistema. Toda esta información debe estar en los planos de diseño y en las especificaciones del equipo que el instalador tiene que utilizar como guía para un correcto montaje y funcionamiento del equipo.

#### **1.1.5. Instalación del sistema de acondicionamiento de aire**

El responsable de instalar el sistema de acondicionamiento de aire es el contratista mecánico especialista, y se basa en los planos del ingeniero mecánico consultor para realizar los planos de taller; estos ayudan al contratista mecánico al tener una mayor escala y ser más detallados sobre el sistema de acondicionamiento de aire.

El personal del contratista mecánico debe contar con trabajadores calificados en construcción, tuberías, laminación y aislamiento.

Es deber del contratista mecánico proporcionar el equipo, materiales y mano de obra para realizar la instalación del sistema, para ello debe realizar un estimado de gastos generales, tomando en cuenta precios de equipo y materiales, tiempo de instalación y personal necesario.

Cuando el contratista mecánico termina la instalación debe realizar pruebas, y si es necesario ajustar y balancear el sistema para su correcto funcionamiento, todo esto debe ser verificado por el ingeniero mecánico consultor.

#### **1.1.6. Servicio y mantenimiento del sistema de acondicionamiento de aire**

Una vez terminada la instalación y el equipo entra en operación, se tiene que supervisar para un correcto manejo del sistema, y este acondicione confortablemente el ambiente. Para ello se debe inspeccionar y dar mantenimiento periódicamente por personal calificado en mantenimiento.

El equipo de mantenimiento debe efectuar reparaciones de rutina, o bien, un trabajo más complicado, utilizando instrumentos especiales para localizar el problema y así encontrar la falla del sistema.

## 1.2. Psicrometría

Ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire, y su efecto en materiales y el confort humano.

### 1.2.1. Propiedades del aire

- Temperatura de bulbo seco (BS): refiriéndose del aire, la temperatura de bulbo seco y la temperatura indicada con un termómetro normal es la misma.
- Temperatura de bulbo húmedo (BH): es la temperatura húmeda del aire. Para obtener la temperatura de bulbo húmedo se requiere envolver el bulbo del termómetro en un algodón empapado de agua y girarlo rápidamente en el ambiente.
- Temperatura del punto de rocío (PR): es la temperatura en la que la humedad del aire se condensa a presión constante.  
Relación de humedad (W): es la relación entre el peso de vapor de agua en una libra de aire seco, se expresa en granos de agua/libra de aire seco. Se le conoce también, como humedad específica.
- Humedad relativa (HR): es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire, con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura que el bulbo seco.
- Volumen específico (v): es el volumen de aire por peso de aire seco ( $\text{ft}^3/\text{lb}$ ).
- Entalpía específica (h): es el calor que se encuentra en una unidad de peso de aire seco ( $\text{BTU}/\text{lb}$ ).

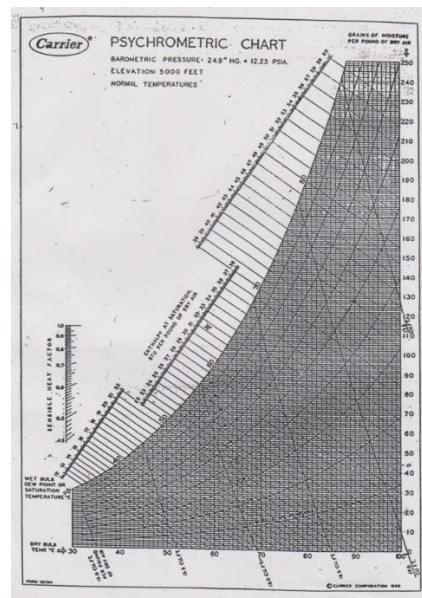
### 1.2.2. Carta psicrométrica

Es la forma gráfica de representar las propiedades del aire y es un instrumento para realizar procesos de acondicionamiento de aire.

Para localizar un punto en la carta psicrométrica se deben conocer dos propiedades independientes, que ayudarán a saber la condición del aire y el resto de sus propiedades en ese punto específico.

El objetivo de acondicionar el aire es cambiar el estado del aire entrante y sus propiedades a conveniencia. Indicar los procesos en la carta psicrométrica ayuda en la selección de equipos y en el análisis de problemas.

Figura 2. Carta psicrométrica



Fuente: *Aire Acondicionado, factores de carga de calor y tablas*. Curso Refrigeración y Aire Acondicionado. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero de 2015.

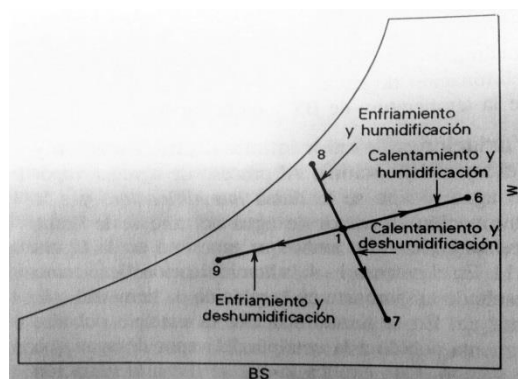
Los cambios de calor que se expresan en la carta psicométrica son dos:

- De calor sensible: este proceso es el que agrega o retira el calor existente en el aire, modificando la temperatura del bulbo seco.
- De calor latente: humidifica o deshumidifica (agregar o eliminar el vapor de agua existente en el aire) el ambiente, lo que modifica la relación de humedad y entalpía.

La variación de condiciones combinadas de calor sensible y calor latente puede llevar a 4 procesos diferentes:

- Aumento de calor sensible y humidificación (1-6)
- Aumento de calor sensible y deshumidificación (1-7)
- Reducción de calor sensible y humidificación (1-8)
- Reducción de calor sensible y deshumidificación (1-9)

Figura 3. **Procesos combinados de cambio de calor sensible y latente**



Fuente: PITA, Edward G. (1994). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p.188.

### 1.2.3. Cálculo de procesos de variación de calor sensible y latente

- Calor sensible

La ecuación del calor sensible que se aplica al aire húmedo es la siguiente:

$$Q_s = (C_{pa} * m_a * \Delta t) + (C_{pw} * m_w * \Delta t) \quad (\text{ecuación 1,1})$$

Donde:

$Q_s$  = calor sensible BTU/h

$C_{pa}$  = calor específico del aire seco (0,24)

$m_a$  = peso del aire lb/h

$\Delta t$  = cambio de temperatura ( $t_2-t_1$ ) °F

$C_{pw}$  = calor específico del vapor de agua (0,45)

$m_w$  = peso del vapor de agua lb/h

Dado que el peso del vapor de agua es diminuto, el segundo término es lo suficientemente pequeño para omitirlo, y la ecuación se expresa solamente de la siguiente forma:

$$Q_s = 0,24 * m_a * \Delta t \quad (\text{ecuación 1,2})$$

Para los cálculos de los procesos de variación de calor, se debe tener en cuenta que el flujo de aire no se expresa en libras por hora (Lb/h) sino en pies cúbicos por minuto ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ) o *cubic feet per minute* (CFM). Para eso la relación del flujo del peso del aire en condiciones normales es:



$$m_a = (\text{lb/h}) = \text{CFM} * (\text{ft}^3/\text{min}) * (60\text{min/h}) * (1\text{lb} / 13,3\text{ft}^3)$$

$$m_a = 4,5 * \text{CFM} \quad (\text{ecuación 1,3})$$

En la ecuación 1,2 se puede hacer la sustitución de  $m_a$  encontrada en la ecuación 1,3 en función de CFM

$$Q_s = 1,1 * \text{CFM} * \Delta t \quad (\text{ecuación 1,4})$$

- Calor latente

La ecuación para deducir la cantidad de vapor de agua agregada o retirada en un proceso es:

$$m_w = m_a * (W_2 - W_1) \quad (\text{ecuación 1,5})$$

Donde:

$m_w$  = vapor de agua agregado o eliminado ( $\text{lb}_{\text{agua}}/\text{h}$ )

$m_a$  = flujo de aire, ( $\text{lb/h}$ )

$W_2 - W_1$  = cambio de relación de humedad ( $\text{lb}_{\text{agua}} / \text{lb}_{\text{aire}}$ )

Se hace la misma sustitución en la ecuación 1.5 de  $m_a$  encontrada en la ecuación 1.3 en función de CFM

$$m_w = 4,5 * \text{CFM} * (W_2 - W_1) \quad (\text{ecuación 1,6})$$

Si la relación de humedad está dada en  $\text{g}_{\text{agua}} / \text{lb}_{\text{aire}}$  se debe hacer una modificación a la ecuación para hacer la conversión

$$m_w = \frac{CFM*(W_2 - W_1)}{1556} \quad (\text{ecuación 1,7})$$

El calor latente de evaporación del agua es de 1 055 BTU/lb usando la ecuación 1.7 se define la ganancia de calor latente

$$Q_L = 1\,055 * m_w$$

$$Q_L = 1\,055 * \frac{CFM*(W_2 - W_1)}{1\,556}$$

$$Q_L = 0,68 * CFM*(W_2 - W_1) \quad (\text{ecuación 1,8})$$

Donde:

$Q_L$  = calor latente BTU/h

### 1.3. Cálculo de cargas de enfriamiento

Para lograr acondicionar un ambiente eficientemente se debe estudiar cuáles son las ganancias de calor que aumentan la temperatura, causando que salga de la zona de confort.

#### 1.3.1. Cargas de enfriamiento

Diferentes fuentes pueden generar calor dentro de un ambiente, causando un aumento de la temperatura y, para mantener un nivel confortable, se debe extraer calor para equilibrar esas ganancias.

Se le llama carga de enfriamiento a la cantidad de calor que se retira, y es importante calcularla porque es la base para seleccionar un equipo adecuado, así como sus tuberías y ductos.

Con la mayor exactitud que se trabaje, la selección del equipo adecuado conduce a gastos menores de equipo, materiales e instalación, además de una mayor eficiencia energética.

La ganancia de calor es la velocidad en la que el recinto recibe calor en cualquier momento. Esta ganancia puede proceder de muchas fuentes (radiación, alumbrado, conducción y convección, personas, equipos, infiltración, entre otras.), causando el efecto de almacenamiento de calor, en el cual el calor se absorbe y almacena tanto en la estructura como en los muebles.

### **1.3.2. Ganancias de calor en recintos**

Los factores que influyen en la ganancia de calor en el recinto son:

- Conducción a través de las paredes, techos y vidrios expuestos al exterior
- Conducción a través de divisiones internas, cielos falsos y pisos
- Radiación solar a través de vidrios
- Alumbrado
- Personas
- Maquinaria
- Infiltración de aire exterior a través de aberturas

Según en los estudios de psicrometría, para la selección del equipo de enfriamiento se deben separar las ganancias de calor en dos:

- Ganancias de calor sensible: son las que ocasionan un aumento a la temperatura del aire, (conducción a través de las paredes, techos y vidrios del recinto; radiación solar y alumbrado).
- Ganancias de calor latente: son las que aumentan la humedad por la adicción de vapor de agua al sistema, (personas, maquinaria e infiltración de aire exterior).

### **1.3.3. Conducción a través de estructuras**

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios expuestos al exterior se calculan con la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta t \quad \text{(ecuación 1,9)}$$

Donde:

Q = ganancia de calor del recinto por conducción. BTU/h

U = coeficiente de transferencia de calor de materiales. BTU/ (h\*ft<sup>2</sup>\* °F)

A = área del techo, pared o vidrio. ft<sup>2</sup>

Δt = diferencia de temperaturas para la carga de enfriamiento. °F

Los valores de U se encuentran en tablas específicas para techo, paredes o vidrios, y varían por las especificaciones del material.

### **1.3.4. Radiación solar a través de vidrios**

La energía radiante del sol pasa a través de materiales transparentes y se transforma en ganancia de calor para el ambiente. Depende de la hora, orientación, existencia de alero y el efecto de almacenamiento.

La fórmula para calcular esta ganancia de calor es:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE \quad (\text{ecuación 1,10})$$

Donde:

Q = ganancia por radiación a través del vidrio BTU/h

FGCS = factor de ganancia máxima de calor solar BTU/ (h\* ft<sup>2</sup>)

A = área del vidrio ft<sup>2</sup>

CS = coeficiente de sombreado

FCE = factor de carga de enfriamiento para el vidrio

Los valores de FGCS, CS y FCE se encuentran en tablas que, por latitud, coeficiente de sombreado y factor de carga de enfriamiento son indicados.

### **1.3.5. Alumbrado**

La fórmula para calcular la ganancia de calor generada por el alumbrado es:

$$Q = 3,4 * W * FB * FCE \quad (\text{ecuación 1,11})$$

Donde:

Q = ganancia de calor por alumbrado, BTU/h

W = capacidad de alumbrado, W

FB = factor de balastro

FCE = factor de carga de enfriamiento para alumbrado

La capacidad de alumbrado que se utiliza es watts (W), pero se necesita hacer la conversión a BTU/h para la ecuación;  $1 \text{ BTU/h} = 3,4 * W$ .

El factor de balastro se utiliza para unidades fluorescentes, ya que ellas generan calor adicional (1,25), cuando el alumbrado es incandescente no existe generación de calor adicional y el factor es de 1.

El factor de carga de enfriamiento para alumbrado toma en consideración el efecto de almacenamiento, cuánto tiempo está encendido el alumbrado, si trabaja el sistema de enfriamiento, tipo de construcción, el tipo de alumbrado y la cantidad de ventilación.

### **1.3.6. Personas**

Debido a que las personas son fuente de calor, se consideran como una ganancia de calor sensible, pero debido a la transpiración, también se deben de considerar como ganancia de calor latente.

Las fórmulas para calcular las ganancias de calor sensible y latente de las personas son:

$$Q_s = q_s * n * FCE \quad \text{(ecuación 1,12)}$$

$$Q_L = q_L * n \quad \text{(ecuación 1,13)}$$

Donde:

$Q_s$  = ganancia de calor sensible

$Q_L$  = ganancia de calor latente

$q_s$  = calor sensible por persona

$q_L$  = calor latente por persona

$n$  = número de personas

FCE = factor de carga de enfriamiento para las personas

Las ganancias de calor sensible y calor latente varían de la actividad realizada, para lo cual existen tablas.

### 1.3.7. Aparatos electrodomésticos

La ganancia de calor generada por equipos se calcula con los datos de placa, tomando en consideración el tiempo de uso.

Si el fabricante no incluye la información del calor generado por el equipo, se debe encontrar los vatios consumidos por hora y utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = 3,4 * W \quad \text{(ecuación 1,14)}$$

Donde:

$Q$  = ganancia de calor por equipo, BTU/h

$W$  = capacidad de alumbrado, W

Esta ecuación utiliza el mismo principio que la ecuación 1.9 (alumbrado), pero se elimina el factor de balastro porque no lo posee, y el factor de carga de enfriamiento, ya que los sistemas no funcionan las 24 horas. Para los electrodomésticos, que comúnmente se consideran para calcular la ganancia de calor que generan, existen tablas que consideran un valor aproximado dependiendo de sus características.

### 1.3.8. Ventilación

Se debe tener una toma de aire fresco en la circulación de aire por razones de salud y de confort. El aire exterior posee un calor latente y calor sensible mayor que el del recinto, por lo que se considera en la carga de calor.

Las ecuaciones que se utilizará para calcular esta ganancia de calor son las ecuaciones 1,4 y 1,8:

$$Q_s = 1,1 * CFM * \Delta t \quad \text{(ecuación 1,15)}$$

$$Q_L = 0,68 * CFM * (W_2 - W_1) \quad \text{(ecuación 1,16)}$$

Donde:

$Q_s$  = carga de calor sensible por la ventilación, BTU/h

$Q_L$  = carga de calor latente por la ventilación, BTU/h

CFM = flujo de aire de ventilación, ft<sup>3</sup>/min

$\Delta t$  = diferencia de temperatura entre aire exterior e interior, °F

$W_2 - W_1$  = relación de humedad interior e interior, g<sub>agua</sub> / lb<sub>aire</sub>

### 1.3.9. Ganancia de calor en ductos

Cuando el aire acondicionado pasa por ductos en áreas donde la diferencia de temperatura con el aire exterior es significativa, ocasiona una pérdida de calor sensible. Por medio de uso de materiales aislantes se puede reducir estas pérdidas, mejorando la eficiencia del sistema.



La ecuación a utilizar para calcular la ganancia de calor en ductos es:

$$Q = U * A * \Delta t \quad (\text{ecuación 1,17})$$

Donde

Q = ganancia de calor en ductos, BTU/h

U = coeficiente de transferencia de calor, BTU/h

A = superficie total del ducto, ft<sup>2</sup>

$\Delta t$  = diferencia de temperatura entre el aire acondicionado y el ambiente exterior, °F

### **1.3.10. Ganancia de calor por ventiladores**

Los ventiladores eléctricos generan calor por la transformación de energía eléctrica a mecánica, la cual es parte de la ganancia de calor que se debe sumar al sistema. Se toma una aproximación para calcular el calor del ventilador según la presión estática:

- Para 1in de agua se suma el 2,5 % a la carga del equipo
- Para 2in de agua se suma el 5,0 % a la carga del equipo
- Para 4in de agua se suma el 10 % a la carga del equipo

O en tablas por la potencia del motor y la posición de este con respecto al espacio acondicionado, se puede determinar la ganancia de calor generada.

### **1.3.11. Ganancia de calor por Laboratorio de Soldadura**

Para calcular la ganancia de calor generada por un equipo de soldadura eléctrica se debe considerar que, no solo es el calor generado por el equipo que se calcula igual que un electrodoméstico (ecuación 1,14), sino también el calor generado por el arco eléctrico y la soldadura producida. Cuando se realiza una soldadura, la temperatura del cordón o punto realizado sube entre 3 200 a 4 000 °C la pieza, por lo que se debe considerar esta ganancia de calor considerable.

Se debe tener en cuenta que existe un horario determinado para el uso de este laboratorio, asimismo, cuenta con campanas de extracción que disminuyen considerablemente la ganancia de calor. Se realizaron mediciones durante el uso de este laboratorio, y la temperatura dentro del salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería no cambio.

### **1.3.12. Ganancia de calor por Laboratorio de Metalurgia**

La ganancia considerable producida en el Laboratorio de Metalurgia de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería, es cuando se funde aluminio para la práctica final. Para que el aluminio alcance su punto de fusión se debe calentar a 660 °C en el horno del laboratorio. Igual que en el laboratorio de soldadura, también se cuenta con campanas de extracción, reduciendo la temperatura. Se realizaron mediciones durante esta práctica y la temperatura del ambiente no aumentó, gracias al equipo de extracción.

### **1.3.13. Carga de enfriamiento del recinto**

Es la velocidad a la cual se debe eliminar el calor del ambiente, y es la suma de cada ganancia de calor producida en el recinto como:

- Ganancia de calor por las ventanas
- Ganancia de calor por las paredes
- Ganancia de calor por las personas
- Ganancia de calor por los electrodomésticos
- Ganancia de calor por el alumbrado

### **1.3.14. Carga de refrigeración**

Es la carga a la que se someterá al equipo de enfriamiento, la cual será mayor que la carga de enfriamiento del recinto por las ganancias de calor que pasan al sistema desde el exterior. Estas ganancias provienen de:

- Ventilación
- Ganancia de calor a ductos
- Calor producido por motores ventiladores

## **1.4. Tuberías y ductos**

Se utilizan para transportar fluidos en una red de distribución, o para llevar un fluido de trabajo de un punto a otro. Los ductos se utilizan para gases a baja presión, y la tubería se utiliza cuando el gas o el líquido que transporta posee una presión considerable.

### 1.4.1. Ecuación de continuidad

El principio de continuidad en tuberías o ductos indica que la misma cantidad de fluido pasa a través de cada sección en un momento dado, sin importar su forma.

La ecuación de continuidad es la siguiente:

$$Q_a = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (\text{ecuación 1,18})$$

Donde

$Q_a$  = caudal o flujo volumétrico, m<sup>3</sup>/s

$A$  = área del tubo o ducto donde pasa el fluido, m<sup>2</sup>

$V$  = velocidad del fluido en el área seleccionada, m/s

### 1.4.2. Caídas de presión en sistemas de tuberías

Uno de los efectos que se debe compensar es la pérdida de presión debido a la fricción, por la viscosidad y las paredes del conducto se crea una resistencia al flujo. En ductos de aire acondicionado el tipo de flujo que normalmente se encuentra es un flujo turbulento.

La ecuación para calcular la caída de presión estática por fricción es:

$$H_f = \frac{f * L * V^2}{D * 2g} \quad (\text{ecuación 1,19})$$

Donde

$H_f$  = pérdida de presión por fricción

$f$  = factor de fricción

$L$  = longitud

$V$  = velocidad del fluido

$D$  = diámetro

$g$  = gravedad

El factor de fricción depende de la rugosidad de la pared del conducto, mientras más lisa sea la superficie menos pérdidas existirán.

Para la pérdida de presión por fricción en ductos se utilizan gráficas, que por el diámetro del ducto y la velocidad del aire se pueden determinarlas. Las gráficas están diseñadas para ductos de lámina galvanizada.

### **1.4.3. Métodos de diseño de ductos**

El exceso o falta de presión en las salidas puede ser un problema para el confort y funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire, para el cual se puede instalar una compuerta en el ramal para modificar la cantidad de aire, pero crea problemas de ruido.

Para evitar estos problemas, se diseña el sistema de ductos para que las pérdidas reduzcan los excesos de presión, y que el ambiente obtenga la cantidad necesaria de aire.

#### **1.4.3.1. Método de igual fricción**

El principio de este método es hacer la pérdida por fricción igual en todo el sistema. Este método produce un diseño bien balanceado si se selecciona una velocidad máxima en el ducto de salida para evitar ruido. Se utiliza para diseñar sistemas de baja velocidad, menores a 1 500 ft/min.

##### Procedimiento

- Determinar cuál es el caudal necesario para cada salida del sistema y buscar un equipo que proporcione el caudal necesario.
- Seleccionar una velocidad inicial según aplicación y que evite la producción de vibración y ruido.
- Se determina el ducto redondo equivalente de la boca de salida del sistema para que, por medio de tablas, se encuentre la pérdida por fricción.
- Con la pérdida por fricción, el caudal inicial y el tamaño del ducto inicial, se utiliza tablas para encontrar el tamaño de ducto redondo equivalente y el caudal en cada punto.

Por problemas de espacio, muchas veces no se puede utilizar las mismas dimensiones de ductos que se encuentran en el diseño, por lo que es criterio del ingeniero proponer nuevas dimensiones, siempre que tenga la misma área de circulación.

#### **1.4.3.2. Método de recuperación estática**

Este método se utiliza para diseñar sistemas con velocidades superiores a 2 500 ft/min. La idea de este método es con base en los tamaños de ductos

reducir la velocidad para aumentar la presión estática, y así pueda vencer las pérdidas por fricción. En este método mantenemos la presión estática constante.

#### Procedimiento

- Seleccionar una velocidad inicial, teniendo en cuenta que es un sistema de alta velocidad y el nivel de ruido debe ser reducido por otros medios.
- Con el tamaño del ducto y la velocidad se puede determinar, por medio de tablas, la pérdida de presión estática por fricción en cada sección.
- Disminuir la velocidad en la siguiente sección, para que la ganancia de presión estática sea igual a la pérdida por fricción. Se selecciona una velocidad menor a la anterior y se determina la pérdida en esa sección; después se debe calcular la recuperación con la siguiente fórmula:

$$R = 0,75 * [(V_i / 4000)^2 - (V_p / 4000)^2] \quad (\text{ecuación 1,20})$$

Donde

R = recuperación en la sección

V<sub>i</sub> = velocidad inicial

V<sub>p</sub> = velocidad propuesta

La recuperación debe ser igual a la pérdida por fricción.

- Cuando la recuperación y la pérdida por fricción son iguales, se debe buscar en tablas el diámetro del ducto equivalente y calcular el ducto rectangular necesario.
- Se repite el paso c y d hasta la última sección del sistema.

#### **1.4.4. Materiales y especificaciones de tuberías**

La selección de tubería depende del trabajo y las condiciones a la que será sometida, las que se deben tomar en cuenta son:

- El fluido que circulará por la tubería
- La temperatura de trabajo
- La presión de trabajo
- La exposición a factores externos como la corrosión u oxidación

Otras variables que a considerar son el costo y la disponibilidad de las tuberías. Los dos materiales de tubería que más se utilizan en sistemas de acondicionamiento de aire son el tubo de acero negro o bajo en carbono o el tubo de cobre.

Existen regulaciones internacionales para las especificaciones físicas de los tubos de acero y cobre, como la ASTM (American Society of Testing Materials). Es trabajo del ingeniero que diseña el sistema de tubería, especificar el tubo que debe ser utilizado con su número de ASTM.

La característica más importante de cualquier tubo es el número de cédula, ya que proporciona el espesor de la pared. La selección correcta del número de cédula depende de la presión y temperatura de trabajo, como también del ambiente donde estará la tubería, ya que puede sufrir corrosión o erosión y debilitar la pared.

En la tubería de cobre, el espesor de la pared del tubo se identifica por tres letras: tipo K, L y M.



- La tipo K es la tubería que tiene la pared con mayor espesor y es usada generalmente para altas presiones y refrigerantes.
- La tipo L es la tubería con espesor intermedio y es utilizada para presiones intermedias de gas y agua.
- La tipo M es la tubería que se utiliza en plomería a baja presión por ser la menor espesor de las tres.

Como el tubo de cobre es más costoso que el de acero, es normal ver que en instalaciones grandes se utilice tubería de acero y, en pequeñas, de cobre.

Las ventajas de utilizar tubería de cobre es la resistencia a la fricción es menor, y su oxidación e incrustación es menor que la del acero.

La ventaja de utilizar tubería de acero es que es más fuerte y cuando se utiliza diámetros mayores no hay daños.

#### **1.4.5. Conexiones para tubería de cobre**

Para unir tubos de cobre se utilizan dos formas de conectarlas:

- Conexiones por soldadura: unir tuberías de cobre por soldadura consiste en fundir una aleación metálica de cobre, plata y fósforo entre 200 y 540 °C entre ellas, hermetizando la presión que pueda existir entre si. Se utilizan uniones soldables o, dependiendo del diámetro de la tubería, se puede expandir la tubería para que entre una tubería en la otra.
- Conexiones por emboquillado: consisten en crear una entrada cónica en el extremo de la tubería para alojar cabezas de tornillos de unión y al ser roscados cierran el sistema evitando fugas. Este tipo de conexión es

recomendado para mantenimientos, ya que se pueden desmontar, dar servicio y remplazar filtros, válvulas, entre otros.

#### **1.4.6. Expansión y anclaje de tubería**

La tubería de refrigeración es una tubería forzada, ya que el fluido que recorre en él tiene posee presión, por lo que es necesario sistemas que controlen su posición, su peso y permitir cualquier movimiento esperado de la tubería, como la dilatación o contracción por cambios de temperatura del fluido.

#### **1.4.7. Aislamiento de tubería**

A todo sistema de acondicionamiento de aire, ya sea de calefacción o refrigeración, se le debe aislar la tubería para aumentar la eficiencia energética y para garantizar una temperatura de funcionamiento óptima.

Con el aislamiento se evita condensación de la humedad del aire sobre la tubería en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, ya que puede causar goteo.

Las principales características que debe tener un material de aislamiento para los sistemas de acondicionamiento de aire son:

- Baja conductividad térmica
- No reacción combustible
- Alta resistencia a condiciones de intemperie

Para aislar tuberías de sistemas de acondicionamiento de aire, existen muchas opciones, la más utilizada actualmente es de materiales hechos de

espuma elastomérica, como el armaflex. Se utiliza para temperaturas bajas y medias (-40 a 115 °C) y es de fácil instalación, pero es sensible a la luz ultravioleta, por lo que se debe proteger de los rayos del sol.

Otro punto importante sobre los aislantes es el espesor, mientras mayor sea el espesor mejor será la eficiencia de operación. Pero mientras aumente el espesor, aumentará también, el precio de este, por lo que se debe considerar tanto el costo de inversión como el de operación.

#### **1.4.8. Construcción de ductos**

El material que más se utiliza para realizar un sistema de ductos es de lámina galvanizada, pero cuando el fluido a circular es corrosivo o por alguna especificación de calidad del aire, se usan materiales más resistentes como el acero inoxidable.

Existen normas que indican formas de fabricación de ductos creadas por la Asociación Nacional de Contratistas de Aire Acondicionado y Hojas de Metal (SMACNA, por sus siglas en inglés), como los espesores de lámina o calibres, métodos para sujetar los ductos y para empalmar las secciones. Las normas se basan de acuerdo a la presión a la que estará sometida el sistema.

Para sistemas de baja presión se utilizan ductos rectangulares, mientras para sistemas de alta presión y alta velocidad se emplean ductos redondos o rectangulares con mayor calibre de lámina. Los ductos rectangulares son fabricados contra pedido y de dimensiones especiales, mientras los redondos son fabricados por diámetros estandarizados, además, por la mano de obra de fabricación e instalación, el precio de los rectangulares se eleva, por lo que los redondos son más baratos en inversión inicial.

Las conexiones de secciones en ductos rectangulares deben ser lo más sencillas posibles para evitar gastos extras en mano de obra, pero siempre teniendo en cuenta la pérdida de presión en esos puntos.

Al igual que las conexiones, los ductos de transición deben de tener una pendiente del 40 al 70 % para reducir al mínimo las caídas de presión.

Se recomienda que, para cambiar la dirección se deben usar ductos redondos y con diámetro considerable para evitar la caída de presión. Pero, si por problemas de espacio se utiliza codos cuadrados, se debe usar aletas de cambio de dirección dentro del codo.

Las conexiones finales se realizan con ducto flexible redondo para realizar cualquier modificación a la posición de los difusores.

#### **1.4.9. Aislamiento de ductos**

En los ductos se transportara aire a cierta temperatura, ya sea caliente o fría, y estos deben estar aislados para reducir pérdidas de calor y causar gastos innecesarios de operación. Cuando la temperatura del fluido transportado en los ductos es menor a la ambiental y no está aislada, puede causar condensación en las paredes del ducto dañando lo que se encuentre debajo.

El material más utilizado para aislar ductos de acondicionamiento de aire es la fibra de vidrio recubierto por una hoja de aluminio, que trabaja como barrera de vapor, ya que es fácil de colocar y se acomoda a superficies irregulares.

Cuando el ducto está en la intemperie se debe aislar internamente, o bien recubrir la fibra de vidrio con otro ducto de lámina, para evitar que esté expuesto al sol y a la humedad exterior.

## **1.5. Distribución del aire**

Debido que el fluido de trabajo para los intercambiadores de calor es el aire, se debe estudiar la cantidad y el movimiento necesario para satisfacer las cantidades necesarias de confort.

### **1.5.1. Elementos de acondicionamiento del aire**

El conocimiento de los elementos que se utilizan para el acondicionamiento del aire, desde la toma de aire exterior hasta el último difusor es de total importancia, ya que se puede describir características, su mejor colocación y diseño.

#### **1.5.1.1. Ubicación**

La ubicación de todos los elementos de acondicionamiento de aire se basan en dos aspectos:

- Económico: lo ideal es que el equipo de acondicionamiento de aire se encuentre ubicado en el centro del área a climatizar, pero por costos de instalación, materiales o cantidad de elementos es necesario ubicar el equipo en un área determinada, para reducir estos costos, buscando obtener siempre una buena eficiencia en el sistema.
- Por nivel de ruido: el sonido es importante para las condiciones de confort de las personas, por lo cual se debe estudiar detenidamente donde se colocará el sistema de acondicionamiento de aire. No es aconsejable

colocar estos sistemas cerca de lugares donde el ruido pueda molestar la actividad que se realiza como dormitorios, cabinas de radio, sala de juntas, cines, entre otros.

Es importante tomar en cuenta antes de la instalación, los problemas que pueda generar el ruido o la vibración que produce el equipo de acondicionamiento, ya que el costo para corregirlo puede ser muy alto o no se pueda corregir.

#### **1.5.1.2. Equipos**

- Rejas y persianas exteriores

Estas se utilizan en las tomas de aire exterior para evitar la entrada de agua y materiales extraños al ducto. Se deben colocar a no menos de 80 cm de la pared o techo de salida para disminuir la aspiración de polvo o agua.

Se debe tener en cuenta las pérdidas de presión que puedan ocasionar las persianas exteriores y la posición en tejados, ya que puede aumentar la carga de aire exterior en verano. La mejor forma de colocar una toma de aire exterior en tejado es por medio de un ducto final semicircular orientado hacia abajo. Están fabricadas de aluminio y pintadas para evitar su corrosión.

- Filtros

Los sistemas de acondicionamiento de aire, exceptuando los que se encuentran en quirófanos, recirculan aire de los recintos, por lo cual se debe eliminar polvo, tierra o eliminar gases que causen mal olor, que pueda existir en el aire de retorno. Se debe considerar los efectos negativos que causarían la

incorrecta selección o inexistencia de filtros, ya que se pone en riesgo la salud humana, los equipos a los que está acondicionando el sistema y el mismo sistema de acondicionamiento.

Existen gran variedad en los dispositivos y métodos de filtrado, ya que cada uno tiene una función específica o aplicación. Se debe considerar las pérdidas de presión que pueda ocasionar el filtro para elegir un ventilador que trabaje a la presión estática requerida.

#### Tipos de filtros

- Filtros HEPA: sus siglas en inglés significa alta eficiencia en detención de partículas. Captura hasta el 99 % de las partículas del aire como las del polvo y el polen. Pero no atrapa a las partículas menores de 0,3 micras.
- Filtros de carbón activado: se utilizan generalmente, en la purificación de aire, agua y gases, para quitar vapores de aceite, sabores, olores y otros hidrocarburos del aire y de gases comprimidos.
- Serpentes de refrigeración

En la unidad evaporadora se realiza el intercambio de calor del aire con el fluido de refrigeración (agua helada o refrigerante), lo cual produce una condensación de la humedad existente en el aire. Se debe considerar la velocidad resultante a través del serpentín, determinando la cantidad de aire necesaria en el sistema, el tamaño de la tubería, el espacio disponible de circulación y la velocidad máxima en la cual empieza el goteo de la condensación.

- Ventiladores

Se necesita elementos para suministrar y retornar aire por el sistema con un rendimiento óptimo de ventilación y poca generación de ruido.

Los más utilizados en sistemas de acondicionamiento de aire son los ventiladores centrífugos, que constan de una turbina y caracol, son los que realizan el cambio de energía cinética produciendo presión estática.

Existen diferentes tipos de aspas en las turbinas y cada una con su eficiencia mecánica y presión estática relacionada al flujo volumétrico.

Para equipos, con un gran manejo de aire, se utilizan ventiladores axiales o en línea, que cuentan con una hélice montado en un anillo.

- Motor

La selección de un motor eléctrico para un sistema de acondicionamiento de aire se basa en el voltaje de trabajo, potencia y revoluciones por minuto para suministrar el movimiento necesario de aire. Se recomienda un 15 % de sobrecarga para vencer las pérdidas por transmisión y de suministro.

Existen dos tipos de transmisión de potencia utilizadas en los sistemas de acondicionamiento de aire:

- Directa hasta motores de 0,75 HP
- Por poleas en motores desde 1 HP

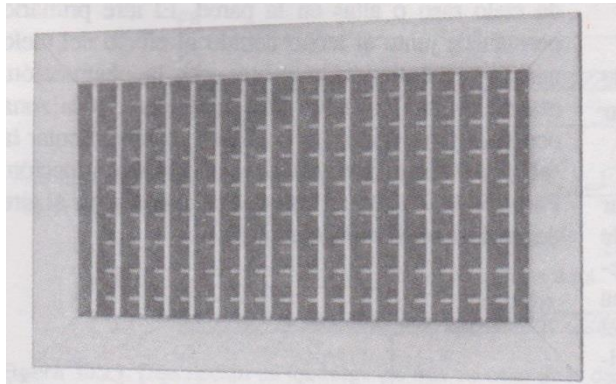


- Difusores

Son los últimos elementos de distribución de aire y es parte decorativa de los ambientes, existen 3 tipos según sus aplicaciones:

- Parrillas y registros: estos tipos de difusores poseen barras paralelas que desvían el suministro de aire en la dirección deseada. Usualmente usados para sistemas de aire acondicionado, se ubican en lugares altos en la pared y con sus barras orientadas hacia arriba para que realice la mezcla de aire en un lugar donde no incomode a las personas.

Figura 4. **Difusor de parrilla**

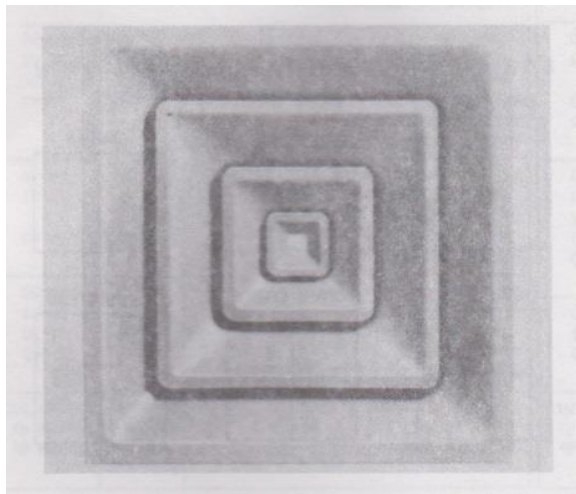


Fuente: PITA, Edward G. (1994). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 298.

- Difusores de cielo raso: se colocan en el cielo raso, así el aire se descarga en dirección horizontal cuando se utiliza para enfriamiento. Cuando no se utiliza cielo falso se colocan en la parte inferior de la ductería.

Su distribución de aire por diseño, ya sea redondos, cuadrados o rectangulares es igual en todas direcciones, y se pueden orientar hacia una dirección determinada si se desea por medio de *dampers*.

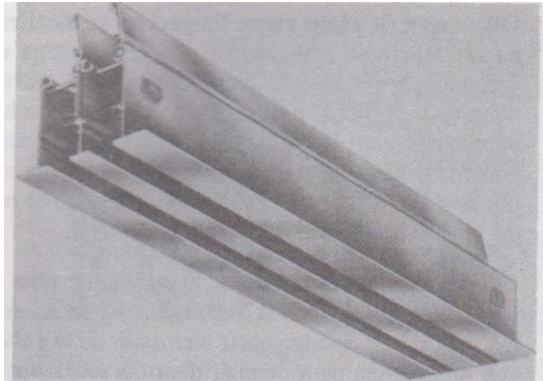
Figura 5. **Difusor de cielo raso**



Fuente: PITA, Edward G. (1994). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 299.

- Difusores de ranura: es una salida larga en forma de banda con una o más aberturas angostas que se pueden colocar en las paredes o en los cielos rasos. Se utilizan en aplicaciones perimetrales donde la descarga es desde el piso hacia arriba.

Figura 6. **Difusor de ranura**



Fuente: PITA, Edward G. (1994). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*.  
p. 300.

### **1.5.2. Distribución de aire en espacios acondicionados**

Para un buen acondicionamiento de aire necesitamos tres condiciones en los ambientes.

- Temperatura: no puede variar por más de 1 °C en un mismo ambiente.
- Velocidad: dependiendo la actividad puede variar desde 0,12 hasta 0,4 m/s en áreas comerciales y hasta 1,5 m/s en industria.
- Dirección: para una persona el movimiento aceptable de aire es desde arriba o de frente. El movimiento de aire a la espalda o en los pies es deficiente y molesta.

Para lograr estas condiciones se debe tener una buena distribución de aire en los espacios acondicionados, para los cuales el sistema debe poseer ciertas características:

- Distancia de propulsión o alcance: es la distancia horizontal que recorre la corriente de aire desde la boca de salida hasta alcanzar una velocidad de 0,25 m/s a una altura de 2,1 m. No es necesario que la distancia de propulsión cubra la distancia del ambiente acondicionado, pero es buena práctica que, por lo menos su alcance sea  $\frac{1}{2}$  de la distancia hasta la pared opuesta.
- Caída o elevación: es la distancia vertical en la que se desplaza el aire desde su salida hasta el final de su trayectoria de propulsión.
- Inducción: es el arrastre de aire procedente del aire impulsado por la boca de salida y depende de la velocidad de aire de impulsión. Mientras más salidas de aire existan en el sistema, mayor será la inducción, pero menor será su alcance. Y mientras menos salidas de aire existan, menor será la inducción y mayor su alcance.
- Difusión: es el ángulo en que se separa progresivamente la corriente de aire después de salir de la boca de impulsión.

#### **1.5.2.1. Ubicación de suministro de aire**

Por razones arquitectónicas, de construcción, de personal o de maquinaria, es necesario considerar de antemano el montaje y ubicación de nuestros suministros. Pueden existir puntos ideales de ubicación pero por estas diferentes condiciones no será posible. Existen cuatro ubicaciones a disposición con las cuales se podrá evitar cualquier obstáculo o molestia que se pueda presentar.

- Difusores de techo: se aplican cuando existe un sistema de ductos expuestos u ocultos en cielo falso. Se debe considerar que la mezcla de aire se debe realizar antes de que el aire llegue a la zona ocupada para no causar molestias.
- Salidas laterales: se utilizan cuando en el techo existen obstrucciones. Para aire acondicionado, se ubican salidas elevadas con deflectores para dirigir ligeramente hacia abajo el aire considerando que no llegue a la zona ocupada con mucha velocidad. Para calefacción se encuentran cerca del suelo, con un ángulo de inclinación que no apunte directamente a los ocupantes.
- Salida en ventanas: esta ubicación se utiliza cuando se quiere eliminar la corriente de aire descendente. Se colocan debajo de las ventanas con un ángulo de dirección de 15° con la vertical hacia el interior de la habitación.
- Salida en el suelo: es la más costosa de las opciones, ya que necesitan mucho caudal de aire para funcionar, producen una diferencia de temperatura de 3 °C y son recolectores de suciedad. Se utilizan en locales donde las personas pueden caminar libremente.

#### **1.5.2.2. Ubicación de retorno de aire**

La colocación de las rejillas de retorno no es tan crítica como las de suministro, pero esta influye en el correcto funcionamiento del sistema. El desplazamiento general a la rejilla de retorno no debe exceder los 0,25 m/s para evitar crear corrientes.

Igual que los suministros, existen ubicaciones donde colocar retornos.

- Retornos de techo: se deben colocar lo más alejado del suministro para que el efecto del sistema sea mayor. Un retorno de techo mal colocado o diseñado puede tener poca inducción causando dificultad de movimiento de aire, o puede aspirar el suministro antes que este acondicione el ambiente.
- Retornos de pared: la mejor ubicación de un retorno de pared es de 30 a 50 cm del suelo, ya que si se colocan arriba puede ocurrir lo mismo que un retorno de techo mal diseñado.
- Estos tipos de retornos son mayormente utilizados para calefacción, que para aire acondicionado.
- Retornos de suelo: estos son utilizados solamente para calefacción y deben evitarse, ya que son recolectores de polvo y saturan los filtros.

### **1.5.3. Trayecto de conductos de aire**

Para una correcta transmisión de aire desde la manejadora hasta el ambiente a acondicionar, se debe proyectar el sistema dentro de normas y limitaciones como velocidad, presión, espacio disponible, ganancias o pérdidas de calor y su uso comercial o industrial.

#### **1.5.3.1. Velocidad**

La velocidad en los sistemas de acondicionamiento de aire depende de la aplicación o funcionamiento y espacio. Por eso se debe considerar lo siguiente:

- Aplicación industrial
  - Baja velocidad (11 a 12 m/s)
  - Alta velocidad (12 a 15 ms)
  
- Aplicación comercial
  - Baja velocidad (6 a 10 m/s)
  - Alta velocidad (mayor de 10 m/s)

La determinación de velocidad en la aplicación depende de los cambios por minutos necesarios para mantener un ambiente agradable. En la aplicación comercial dependerá la cantidad de personas y la actividad que se realizará en el ambiente a acondicionar. En la aplicación industrial dependerá del movimiento necesario de aire para mantener una temperatura adecuada o la recolección de partículas emitidas por el proceso que deben ser removidas.

### **1.5.3.2. Presión**

En los sistemas de distribución de aire es necesario considerar las presiones totales en los ambientes, habiendo superado pérdidas en el equipo de acondicionamiento, ductos e impulsores.

Se dividen en tres categorías:

- Clase I: sistema de baja presión hasta 90 milímetros de columna de agua (mm cda).
- Clase II: sistema de presión media, que abarca desde 90 hasta 180 milímetros de columna de agua (mm cda).
- Clase III: sistema de alta presión desde 180 hasta 300 milímetros de columna de agua (mm cda).

Es importante mantener una presión positiva en los ambientes a acondicionar para evitar entradas de aire exterior no filtrado, ya que puede contener polvo u otras partículas que no desean en el ambiente.

#### **1.5.3.3. Espacio disponible y decoración**

Las limitaciones que presentan el espacio en los cuales se puede colocar los ductos de suministro y retorno, así como la decoración obligan a tomar decisiones sobre qué sistema de ductos, velocidad y presión se debe utilizar para proporcionar un buen acondicionamiento.

Lo ideal es que cuando se está realizando la construcción del edificio, se trabaje al mismo tiempo el acondicionamiento, ya que permite colocar tuberías y ductos dentro de las paredes, y no afectar la decoración. Se utilizan conductos expuestos cuando las instalaciones se realizan después de la construcción y no es necesario aislarlos, ya que están en contacto directo al ambiente. Además de tener las menores reducciones posibles para evitar una mala apariencia.

#### **1.5.3.4. Factores económicos en sistema de ductos**

Tomar en cuenta que dentro de cada limitación que tenga el sistema puede causar un impacto económico. El precio en materiales, instalación y gastos de operación pueden verse afectados cuando, por espacio disponible o decoración se deben hacer modificaciones.

- Ganancias o pérdidas de calor en ductos

Las pérdidas o ganancias de calor en ductos debe ser parte del cálculo inicial para determinar la capacidad del equipo. Distancias largas de sistemas,



una relación de sección grande en ductos, bajas velocidades de aire y un aislamiento menor a  $0,6 \text{ kcal} / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$  causan pérdidas en la eficiencia del sistema.

- Relación de secciones en ductos

Es la diferencia entre los lados del rectángulo del ducto, mientras mayor sea, el sistema se vuelve ineficiente y aumenta el precio de su fabricación.

Mientras mayor sea la relación de la sección rectangular del ducto, mayor debe ser el calibre de lámina para evitar vibraciones y la cantidad de aislante que debemos utilizar. Por razones de espacio y decoración es difícil mantener una relación 1:1, pero el diseño debe ser lo más económico en fabricación e instalación y eficiente en operación.

Otro factor a considerar son las pérdidas por rozamiento, ya que mientras mayor sea la relación de secciones en ductos, mayor será el coeficiente de rozamiento ocasionando pérdidas de presión estática.

- Montaje de ductos

La instalación de ductos debe ser estudiada antes de su fabricación por factores de dimensión. Las transformaciones, codos y derivaciones mal diseñados o realizados pueden causar pérdidas de presión, flujo y velocidad en el sistema.

- Transformaciones: también llamadas transiciones, se utilizan para unir dos ductos de diferente sección, ya sea para mantener la presión después de una derivación o para evitar obstáculos.

La pendiente ideal de las transformaciones debe ser del 15 %, pero puede llegar hasta un 25 % de inclinación máximo.

Cuando se necesita evitar un obstáculo, la sección del ducto no debe ser reducido más del 20 % para evitar pérdidas de presión considerables.

- Codos: ya el sistema de ductos sea rectangular o circular, existen diferentes tipos de codos.

**Rectangular**

**Circular**

Codo ordinario

Codo suave

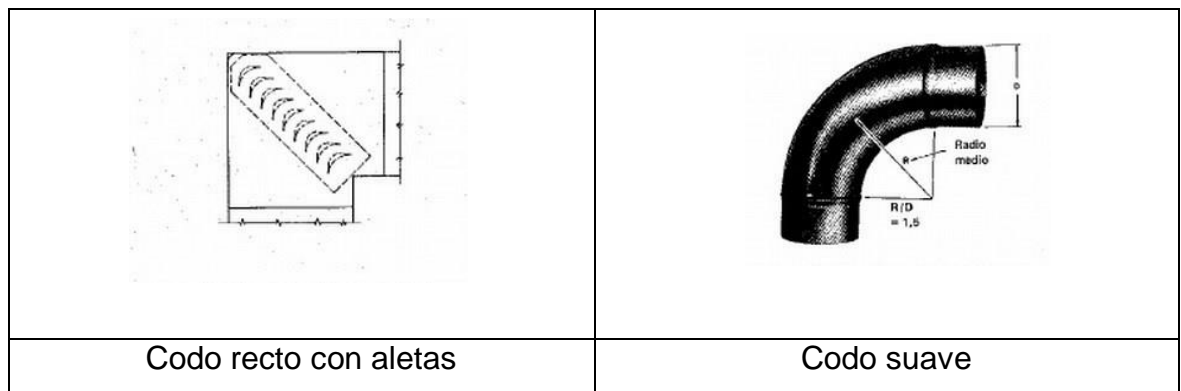
Codo reducido con aletas

Codo de tres partes

Codo recto con aletas

Codo de cinco partes

Figura 7. Tipos de codos



Fuente: Corporación Carrier. (1970). *Manual de aire acondicionado*. p. 2-28.

- Derivaciones: en ductos rectangulares existen varios tipos de derivaciones, dependiendo la forma de salida del aire y el tipo de codo a utilizar.

En el primer tipo se utiliza un codo ordinario conectado externamente del ducto principal. Existe otro tipo que, también usa un codo ordinario, pero se encuentra internamente y no se realiza reducción en el ducto principal.

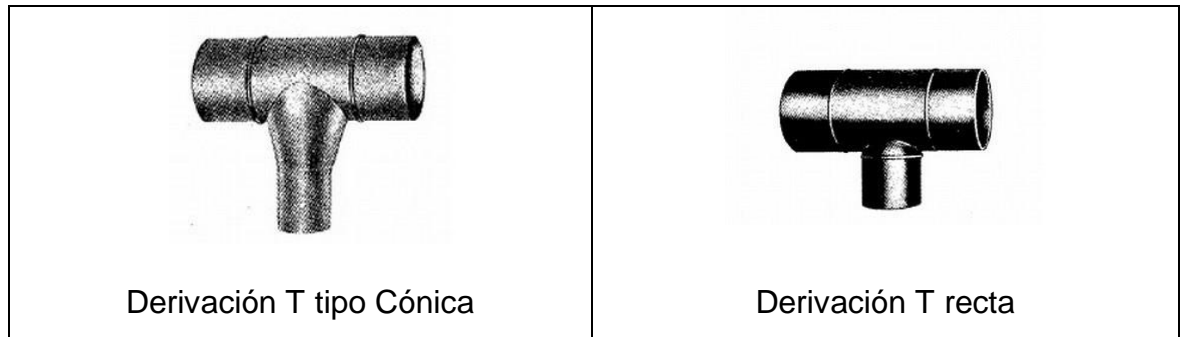
El segundo tipo se utiliza cuando la cantidad de aire derivaba es pequeña. Este consiste en una salida del ducto principal donde se conectará un anillo o codo para hacer la derivación.

El tercer tipo utiliza un codo recto con aletas. Esta es la menos recomendada por la gran pérdida de presión que sufre, solo debe ser utilizada cuando no se pueda instalar un ducto ordinario.

En ductos redondos existen dos tipos; derivación en T y derivación en T cónica de 90°.

La derivación tipo T cónica se recomienda cuando la velocidad del aire es mayor a 20 m/s y la pérdida de presión es menor.

Figura 8. Tipos de derivación



Fuente: Corporación Carrier. (1970). *Manual de aire acondicionado*. p. 2-32.

## 1.6. Trayecto de tubería

Para sistemas de acondicionamiento de aire se utilizan tuberías de diferentes materiales, usos y capacidades. Dependiendo de esto existen características que debe tomarse en cuenta para una correcta instalación.

### 1.6.1. Aspectos generales de tuberías

Los materiales más utilizados para tuberías en sistemas de acondicionamiento de aire son:

- Acero negro
- Hierro galvanizado
- Cobre

Es importante considerar las presiones y temperatura de trabajo, su espesor y qué sustancia transportarán, para seleccionar una tubería eficiente.

Cuando la temperatura del fluido transportado en la tubería es mayor o menor que la temperatura ambiental, existe la posibilidad de que la tubería se expanda o se contraiga. La dilatación de tubos juega un papel importante en la selección de material de tubería y sus accesorios; ya que deben ser capaces de absorber esfuerzos generados.

Existen tres formas de evitar que la dilatación de tubería afecte nuestro sistema:

- Bucles de expansión y codos de expansión: para esta forma se cortan los dos tubos a unir un 50 % de su dilatación máxima y se unen por el codo de expansión, así se reduce su esfuerzo hasta la mitad.
- Juntas de expansión: existen dos tipos de juntas de expansión; de fuelle y tipo deslizante. De tipo fuelle funciona para pequeñas dilataciones con tubos bien alineados. De tipo deslizante se utilizan para mayor dilatación, pero requieren mantenimiento constante y deben instalarse guías para evitar que se doblen y rompan.
- Tubos flexibles: se utilizan tubos flexibles con diámetros pequeños, ya que con un diámetro grande puede aumentar demasiado la longitud dilatada.

La mayoría de tuberías de los sistemas de refrigeración se colocan en cielos falsos o vistos en la pared, por lo cual se deben colocar soportes que aguanten correctamente el peso del tubo, los accesorios, el fluido y el aislante.

Dependiendo del diámetro exterior de la tubería y el fluido que transportan, se debe dejar cierta distancia entre soportes para evitar deformaciones por dilatación. Para tubería de acero se recomienda un espaciamiento según su diámetro de:

De 1"–1 ¾", la separación entre soportes debe ser cada 2,5 m.

De 2"–2 ¾", la separación entre soportes debe ser cada 3 m.

De 3"–3 ¾", la separación entre soportes debe ser cada 3,5 m.

De 4"– 6 ½", la separación entre soportes debe ser cada 4 m.

De 8"–12", la separación entre soportes debe ser cada 5 m.

De 14"–16", la separación entre soportes debe ser cada 6 m.

Para tubería de cobre se recomienda un espaciamiento según su diámetro de:

De 5/8", la separación entre soportes debe ser cada 2 m.

De 7/8" – 1 1/8", la separación entre soportes debe ser cada 2,5 m.

De 1 3/8" – 2 1/8", la separación entre soportes debe ser cada 3 m.

De 2 5/8" – 5 1/8", la separación entre soportes debe ser cada 3,5 m.

De 6 1/8" – 8 1/8", la separación entre soportes debe ser cada 4 m.

### **1.6.2. Tubería para agua**

Existen diferentes sistemas y factores que deben estudiarse para proyectar la distribución de agua para sistemas de acondicionamiento de aire.

Para la distribución de agua pueden utilizarse diferentes sistemas:

- Sistema abierto: en este el agua que circula por el sistema está expuesto a la atmósfera, ya sea si es recirculado o solo se utiliza una vez. En este tipo de sistema se utilizan torres de enfriamiento o lavadores de aire.
- Sistema cerrado: en este el agua no está expuesto en ningún punto con la atmósfera y es recirculada para el propósito del sistema.

Para evitar que el sistema se contamine, exista incrustación o corrosión, se debe dar tratamiento al agua.

Muchas veces; por el lugar de donde se toma el agua, esta puede ser dura, que contiene más minerales que el agua normal, por lo cual se debe eliminar para evitar incrustaciones por medio de ablandadores.

Los ablandadores de agua son sales que eliminan los iones de los minerales encontrados en el agua, evitando que se depositen en las tuberías. Se pueden utilizar:

- De roca
- Solar
- Evaporada

En los sistemas donde viaja un fluido por una tubería existen pérdidas por rozamiento, por lo cual se debe calcular correctamente ciertos factores para que estas pérdidas no afecten el funcionamiento del sistema.

Las pérdidas por rozamiento se deben por los siguientes factores:

- Velocidad: la velocidad recomendada en cualquier sistema debe ser de entre 2 y 4 m/s para evitar pérdidas y desgaste en la parte interior de la tubería.
- Diámetro de tubería: manteniendo la misma velocidad, mientras mayor sea el diámetro del tubo, menor será la pérdida por rozamiento. El diámetro de la tubería depende de la velocidad y del caudal necesario en el sistema.
- Rugosidad interna de la tubería: cada material tiene una rugosidad diferente, la cual afecta en las pérdidas por rozamiento. En la fórmula de Hazen-Williams se da un factor a cada material dependiendo qué tan rugoso sea:

Cobre	C=130
Hierro fundido	C=100
Acero corrugado	C=60
PVC	C=150

- Distancia: hay que considerar la longitud de la tubería, también como un factor de pérdida de rozamiento, mientras mayor longitud tenga el sistema de tubería, mayor serán las pérdidas por fricción. Se mide la distancia total de todos los tubos y las distancias equivalentes de los acoplamientos, válvulas, codos y demás accesorios.

Para que un sistema de tubería de agua helada sea completo debe llevar ciertos accesorios:



- Vasos de expansión: debido a que el agua se dilata a diferentes temperaturas, se debe mantener una presión constante en el sistema cuando esto suceda. Estos solo se utiliza en sistemas cerrados.
- Filtros: se deben colocar antes de bombas, válvulas y equipo sensible, debe ser protegido contra cualquier sustancia extraña que exista en el sistema. Deben seleccionarse según la capacidad del sistema y la necesidad de cada accesorio, bomba, entre otros.
- Termómetros: deben ser colocados donde se crea conveniente conocer sus datos, como la entrada y salida de cada intercambiador de calor.
- Manómetros: igual que los termómetros, deben ser colocados donde se requiera conocer la presión del sistema, como en la succión y descarga de la bomba.

Ya establecidas las pérdidas por rozamiento y el caudal necesario para el sistema, hay seleccionar la bomba de agua. Para esto, los fabricantes realizan una gráfica donde está contemplado el funcionamiento de sus bombas para un caudal y la altura manométrica necesaria (pérdidas), y seleccionar la bomba que tenga la máxima eficiencia en esos dos puntos.

### **1.6.3. Tubería para refrigerantes**

En Guatemala, el refrigerante más utilizado era el R22, pero debido a que es un clorofluorocarbono (CFC) es dañino para la capa de ozono, será discontinuado. Por lo que se han buscado reemplazos para los diferentes usos. Para los sistemas pequeños de refrigeración y aire acondicionado automotriz, en lugar del R12 se utiliza el R134a, y para los sistemas de aire acondicionado comerciales e industriales ligeros se empezó a utilizar el R410a.

Es importante considerar en la instalación de tubería para refrigerante, que esta tenga la menor pérdida de presión posible para no disminuir la carga térmica, ni tenga dificultad para que retorne el aceite al compresor. Para eso hay que seleccionar el diámetro correcto de tubería, tanto para succión como para descarga del refrigerante.

La fórmula de Darcy-Weisbach es la que se utiliza para determinar el diámetro de la tubería:

$$h = f ( L * V^2 ) / ( D * 2g ) \quad \text{(ecuación 1,19)}$$

Donde

- h = pérdida por rozamiento, m
- f = factor de rozamiento del tubo
- L = longitud del tubo, m
- V = velocidad del fluido, m/s
- D = diámetro de la tubería, m
- g = gravedad, m/s<sup>2</sup>

Existen tablas para cada refrigerante, que dependiendo de la distancia de tubería y su potencia frigorífica, determina qué diámetro de tubería es la que se debe utilizar, tanto para succión como para descarga y línea de líquido.

Cuando la unidad condensadora y la evaporadora tienen un desnivel importante es de considerar el *riser*, se coloca en la tubería de succión cuando esta tiene dirección ascendente. Se debe calcular la reducción del diámetro necesario del *riser* para mantener la presión del sistema para que el aceite retorne fácilmente al compresor.

- Accesorios para tuberías de refrigerante
  - Indicadores de líquido: es necesario una forma para poder comprobar si el sistema tiene la carga completa de refrigerante. Las mirillas de líquido permiten observar el refrigerante y no se deben observar burbujas, ya que significa que la carga es insuficiente.
  - Filtros: se recomienda instalarlos en la línea de líquido antes de la válvula de expansión, con válvulas de cierre antes y después para su cambio o mantenimiento. Su función es capturar cualquier partícula extraña en el sistema, así como la humedad.
  - Válvula solenoide: el solenoide es un dispositivo que crea un campo magnético para activar o desactivar el paso del fluido en el sistema. Se utiliza para evitar que el compresor trabaje con sobrecarga de refrigerante.
  - Válvula de expansión: la función es esta válvula es reducir la presión del refrigerante líquido, bajando su temperatura e introduciéndolo en un estado de mezcla al 75 %. Existen de tipo manual o termostática.

### **1.7. Equipos de acondicionamiento de aire**

Existen diferentes tipos de aire acondicionado dependiendo las condiciones externas e internas del lugar, la capacidad de carga térmica necesaria, el o los espacios a acondicionar, la actividad que se realizará y el presupuesto.

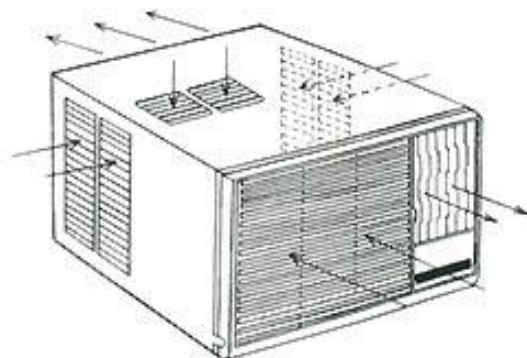
### 1.7.1. Expansión directa

Es cuando el fluido refrigerante está en contacto directo con el ambiente a acondicionar. Este sistema es utilizado cuando la distancia que recorre el refrigerante no es muy extensa para evitar pérdidas de calor en el recorrido.

#### 1.7.1.1. Aire acondicionado tipo ventana

Es un equipo de refrigeración que contiene todos los elementos juntos en un mismo lugar (compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador). No requieren instalación, solo un agujero en la pared, su base o soporte y conexión eléctrica. Su capacidad de enfriamiento es limitada, ya que solo se encuentran en un rango de 9 000 hasta 24 000 BTU/h. Su mayor desventaja es que el compresor se encuentra muy cerca del espacio a acondicionar, este por vibración y ruido puede molestar a las personas que se encuentren en el ambiente, más si se utiliza en habitaciones en horas de la noche.

Figura 9. Aire acondicionado tipo ventana



Fuente: Redsat. *Aire acondicionado de ventana.*

<http://aire.acondicionado.redsat.net/aire-acondicionado-ventana.html>.

Consulta: julio de 2015.

### 1.7.1.2. Aire acondicionado tipo portátil

Utilizan el mismo principio que los equipos de ventana, pero estos se emplean dentro del espacio a acondicionar. Se necesitan de estos equipos cuando ninguna pared da al exterior o no se pueda abrir agujeros en estas. Estos equipos son para espacios no mayores de 20 m<sup>2</sup>, ya que su capacidad de enfriamiento es solamente de 12 000 BTU/h. Por su diseño y funcionamiento, los equipos portátiles son ineficientes, ya que utilizan el aire ya acondicionado para condensar el refrigerante. El aire caliente de la condensadora debe ser sacado de la habitación por medio de tubería flexible, por lo que no es estético.

Figura 10. **Aire acondicionado tipo portátil**



Fuente: Redsat. *Aire acondicionado portátil.*

<http://aire.acondicionado.redsat.net/aire-acondicionado-portatil.html>.

Consulta: julio de 2015.

### 1.7.1.3. Aire acondicionado tipo pared

También conocidos como *minisplit* los equipos de pared separan los elementos de refrigeración en dos, conectados por tuberías de alta y baja presión; en la parte interna se encuentra el evaporador, y en la externa el compresor, el condensador y la válvula de expansión. Estos equipos reemplazaron a los equipos de ventana, ya que el costo de equipo e instalación no es tan elevado y ofrece una mejor experiencia de confort, ya que no hacen ruido dentro de la habitación. Su capacidad de enfriamiento se encuentra desde los 9 000 hasta los 60 000 BTU/h. Su desventaja es que solamente se pueden utilizar para una sola área sin tabiques.

Su uso puede ser residencial, comercial o industrial.

Figura 11. Aire acondicionado tipo pared

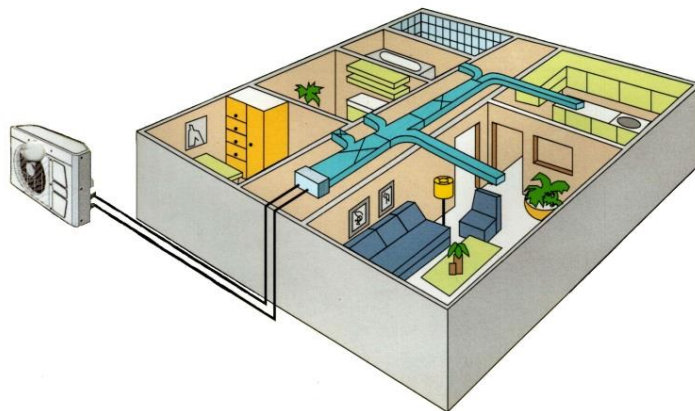


Fuente: Comercializadora Cali. *Aire acondicionado residencial*.  
[http://www.comercali.com/co/air\\_condition.htm](http://www.comercali.com/co/air_condition.htm). Consulta: julio de 2015.

#### 1.7.1.4. Aire acondicionado tipo *split*

Utilizan el mismo concepto que los equipos tipo pared (dos partes conectadas por tubería), pero estos no se colocan en la pared, sino en el techo, usualmente entre cielo falso. Se utilizan ductos para distribución de aire, siendo ideales para climatizar más de un área. Su capacidad de enfriamiento abarca desde los 18 000 hasta los 780 000 BTU/h. El problema de colocar un equipo *split* muy grande es el costo total de ductería, es más económico realizar varios sistemas de ductos, que uno grande contemplando sus materiales, fabricación e instalación. Para censar la temperatura se utiliza controles de temperatura programables que controlan el funcionamiento total de los equipos, sus funciones de ventilación y refrigeración.

Figura 12. Aire acondicionado tipo *split*



Fuente: Climatización, S.A. *Split de ductos*.

<http://www.climatizacionsa.cl/aire3.html>.

Consulta: julio de 2015.

#### 1.7.1.5. Aire acondicionado tipo paquete

Este equipo es una versión sobredimensionada del tipo ventana, cuenta con todos los elementos de refrigeración en un solo lugar y se coloca afuera de los ambientes a climatizar o sobre el techo del edificio para evitar que el ruido generado cree molestias. Igual que el tipo *split*, la distribución de aire es por medio de ductos y su capacidad de enfriamiento varía desde los 120 000 hasta 1 200 000 BTU/h.

Figura 13. Aire acondicionado tipo paquete



Fuente: Refri Aire Perú, S.A.C. *Aire acondicionado tipo paquete*.  
[http://www.pe.all.biz/aire-acondicionado-tipo-paquete-g27523#.VgIRuvl\\_Oko](http://www.pe.all.biz/aire-acondicionado-tipo-paquete-g27523#.VgIRuvl_Oko).  
Consulta: julio de 2015.

#### 1.7.2. Expansión indirecta

Es cuando el refrigerante transfiere su temperatura a otro fluido, generalmente agua, para que este sea el que viaje por medio de una bomba a un intercambiador de calor situado en el o los ambientes a acondicionar. Este



sistema se utiliza para evitar pérdidas de calor en grandes distancias, así como para evitar que en caso de una fuga, el sistema tenga mucho refrigerante.

#### **1.7.2.1. Aire acondicionado tipo *chiller***

Los equipos de agua helada, también denominados *chiller*, son sistemas que enfrían agua para procesos comerciales e industriales de gran capacidad. El proceso de enfriamiento de agua se realiza afuera de los ambientes a acondicionar, cuenta con un compresor, condensador enfriado por agua (torre de enfriamiento) o por aire, válvula de expansión, un intercambiador de calor dentro del tanque de agua para transferir la temperatura del refrigerante al agua. Al mismo tiempo; el agua ya con baja temperatura viaja por medio de un circuito hidráulico cerrado hasta otro intercambiador de calor localizado en los recintos a acondicionar. Por medio de estos intercambiadores de calor llamados *fan-coil*, el aire que pasa por este cede su calor al agua, bajando su temperatura. Después de eso, el agua regresa al intercambiador de calor ubicado en el tanque exterior para volver a bajar su temperatura y el proceso inicia nuevamente.

Para seleccionar un equipo de agua helada se deberá considerar el suministro eléctrico, refrigerante a utilizar, carga térmica, tipo y capacidad del compresor, tipo de condensación para el refrigerante, flujo de agua necesario en el sistema y la capacidad de las bombas hidráulicas para vencer las pérdidas del sistema.

Figura 14. **Aire acondicionado tipo *chiller***



Fuente: Climatización, S.A. *Chiller*.

<http://www.climatizacionsa.cl/aire7.html>. Consulta: julio de 2015.



## 2. MARCO PRÁCTICO

### 2.1. Medición de variables del salón de profesores

Las mediciones de temperatura se realizaron en abril, ya que es uno de los meses más calurosos del año. Además, para esa época se estaba utilizando el horno del laboratorio de metalurgia para la práctica de fundición de aluminio.

Se midió la temperatura ambiental, la temperatura interior y exterior al salón de profesores, así como la temperatura arriba del cielo falso a las 3:00 pm, por ser el horario con más carga solar.

Para el cálculo de las cargas térmicas se consideran el área a acondicionar, así como la cantidad de personas, aparatos eléctricos, materiales de construcción, cantidad de ventanas y la orientación.

El salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería tiene un área total a acondicionar de 68 m<sup>2</sup> con una altura 2,5 m, en el cual la temperatura interna, al igual que en la parte interior del edificio T-7 es de 28 °C. En la parte superior del cielo falso se midió una temperatura de 29 °C. La temperatura ambiental máxima promediada de abril del 2014 fue de 30 °C con una humedad del 60 %.

En el interior se encuentran personas con trabajo ligero de oficina, aproximadamente 5 fijas, pero en algún punto pueden estar hasta 10 personas. Se encuentran seis computadoras *lap tops*, una televisión, y para la iluminación tienen cuatro lámparas incandescentes de cuatro tubos cada una con balastro.

La única pared del salón de profesores al exterior está orientada hacia el norte, por lo cual no recibe ninguna carga solar directa. Esta pared fabricada de *block* tiene un área total de 27 m<sup>2</sup>, del cual las ventanas abarcan 12,16 m<sup>2</sup>. La pared orientada al este hecha de *block*, mide 13,5 m<sup>2</sup> y sirve de división con una bodega con la misma temperatura. La pared orientada al sur es tabique, con un área de 36 m<sup>2</sup> con dos ventanas, un área total de 9,54 m<sup>2</sup>, más una puerta de metal con un área de 3,6 m<sup>2</sup>. La pared oeste divide con *block* una parte con el laboratorio de CNC, que cuenta con un equipo de acondicionamiento de aire, y con el baño del salón de profesores.

La temperatura deseada en el interior del salón de profesores será 22 °C con una humedad de 50 %.

## 2.2. Cálculo de cargas térmicas

No se calcula ganancia de calor por radiación solar, ya que las paredes orientadas al este y al oeste no se encuentran expuestas al exterior.

- Ganancias de calor por transmisión: son las cargas que se transfieren a través de los materiales por la diferencia de temperatura entre el punto exterior y el interior, el material de las divisiones y el área de estas. El coeficiente U del material de construcción de las paredes es de 0,24 y el de las ventanas es igual a 1.
  - Pared 1

Es la pared orientada hacia el norte y expuesta al exterior, con un área de 185,91 ft.

$$Q_t = A \cdot U \cdot DT$$

$$= (185,91 \text{ ft}^2) \cdot (0,24) \cdot (10,8 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$= 481,87 \text{ BTU/h}$$

- Pared 2

Pared orientada hacia el este y divide el salón de profesores con una bodega. Cuenta con un área de 168,45 ft<sup>2</sup>

$$Q_t = A \cdot U \cdot DT$$

$$= (168,45 \text{ ft}^2) \cdot (0,24) \cdot (10,8 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$= 404,28 \text{ BTU/h}$$

- Pared 3

Es la pared orientada al sur, y separa el salón de profesores con los laboratorios de la Escuela de Mecánica, y tiene un área de 373,96 ft<sup>2</sup>

$$Q_t = A \cdot U \cdot DT$$

$$= (373,96 \text{ ft}^2) \cdot (0,24) \cdot (10,8 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$= 969,29 \text{ BTU/h}$$

- Pared 4

Esta pared divide el salón de profesores con el baño y con el laboratorio de CNC. Este salón cuenta con un equipo de aire acondicionado, que desde durante la realización de este trabajo de graduación se encuentra

descompuesto, por lo cual se asumirá la misma diferencia de temperatura 10,8 °F.

$$\begin{aligned} Q_t &= A \cdot U \cdot DT \\ &= (171,59 \text{ ft}^2) \cdot (0,24) \cdot (10,8 \text{ °F}) \\ &= 444,76 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Ventana 1

Están ubicadas en la pared 1 y cuentan con un área total de 151,04 ft<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} Q_t &= A \cdot U \cdot DT \\ &= (151,04 \text{ ft}^2) \cdot (1) \cdot (10,8 \text{ °F}) \\ &= 1\,631,32 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Ventana 2

Están ubicadas en la pared 3 y cuentan con un área total de 75,27 ft<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} Q_t &= A \cdot U \cdot DT \\ &= (75,27 \text{ ft}^2) \cdot (1) \cdot (10,8 \text{ °F}) \\ &= 812,87 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Techo

$$\begin{aligned} Q_t &= A \cdot U \cdot DT \\ &= (226,34 \text{ ft}^2) \cdot (0,25) \cdot (36 \text{ °F}) \\ &= 2\,037 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Personas

Se divide en ganancias de calor sensible y latente, la fórmula para conocer las 2 es:

$$Q = FCP * (\text{número de personas})$$

$$Q_s = 275 * (10)$$

$$= 2750 \text{ BTU/h}$$

$$Q_L = FCP * (\text{número de personas})$$

$$Q_L = 275 * (10)$$

$$= 2750 \text{ BTU/h}$$

- Infiltración o ventilación

Las cargas de infiltración o ventilación se refiere a las cargas térmicas del aire exterior que entre al recinto.

#### Infiltración

$$INF = (H * L * W * \text{factor}) / 60 + \text{número de personas} / (\text{estadía} * \# \text{puertas})$$

$$INF = (6.958,71 * 1,2) / 60 + 10 / (2 * 1)$$

$$= 144,47 \text{ CFM}$$

#### Ventilación

$$VENT = \text{factor según trabajo o locación} * \text{número de personas}$$

$$VENT = 15 * (10)$$

$$= 150 \text{ CFM}$$



Se utiliza para calcular las cargas térmicas la ventilación necesaria para las 10 personas que puedan estar en el salón de profesores.

$$\begin{aligned} Q_s &= 1,1*(150)*(15) \\ &= 2\,475 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_I &= 0,68*(150)*(3,359) \\ &= 342,62 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Iluminación

En el salón de profesores se encuentran 4 lámparas incandescentes de 4 tubos cada una, y 5 lámparas incandescentes de 2 tubos cada una, con balastro.

$$\begin{aligned} Q &= \text{número de tubos} * \text{watts} * \text{factor} \\ &= 4*(60\text{w})*(4,1) \\ &= 984 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 4 \text{ lámparas} * \text{consumo} \\ &= 3\,936 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{número de tubos} * \text{watts} * \text{Factor} \\ &= 2*(60\text{w})*(4,1) \\ &= 492 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 5 \text{ lámparas} * \text{consumo} \\ &= 2\,460 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

- Aparatos eléctricos

En el salón de profesores se utilizarán 6 computadoras *lap tops* y 1 televisión

Q= número de *lap tops*\*potencia en watts \* factor

$$= 6*(3,34 \text{ A})*(13 \text{ v})*(3,14)$$

$$= 818 \text{ BTU/h}$$

Q= número de televisores \* potencia en watts \* factor

$$= 1*(72 \text{ w})*(3,14)$$

$$= 226,08 \text{ BTU/h}$$

Se suman todas las cargas y dan un total de 22 510,97 BTU/h, del cual se debe agregar un factor de seguridad del 20 %.

Carga total + 20 % = 27 013,29 BTU/h

Carga en toneladas = 2,25 toneladas

Como no existen equipos de 2,25 se sube a un equipo de 3 toneladas.

- Carta psicométrica

Con la ayuda de la carta psicométrica a 5 000 ft de altura, se encontrará la capacidad que debe tener el serpentín para mantener el ambiente a 72 °F y 50 % HR.

Calor sensible: 19 446,41 BTU/h + 20 % = 23 335,69 BTU/h

Calor latente: 3 064,67 BTU/h + 20 % = 3 677,60 BTU/h

- Temperatura de mezcla

$$B_s = ((0,9)*(72) + (0,1)*(86))/1$$

$$B_s = 73,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Por medio de la gráfica se encontrará que la temperatura de  $B_h = 62 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\text{SHF} = Q_s/Q_t$$

$$\text{SHF} = 23\,335,69 / 2\,7013,29$$

$$\text{SHF} = 0,86$$

- Capacidad del serpentín

$$Q_s = 23\,335,69 \text{ BTU/h}$$

$$23\,335,69 \text{ BTU/h} = 1,1 \text{ CFM } (\Delta T)$$

$$23\,335,69 \text{ BTU/h} = 1,1 \text{ CFM } (72^\circ\text{F} - 52^\circ\text{F})$$

$$\text{CFM} = 1\,060,71 \text{ CFM}$$

$$Q_s = 1,1 \text{ CFM } \Delta T$$

$$= 1,1 (1\,060,71) (73,4-52)$$

$$= 24\,969,11 \text{ BTU/h}$$

$$Q_L = 0,68 \text{ CFM } \Delta w$$

$$= 0,68 (1\,060,71) (65-58)$$

$$= 5\,048,93 \text{ BTU/h}$$

$$Q_T = 30\,018,04 \text{ BTU/h}$$

La capacidad del serpentín debe ser de 30 018,04 BTU/h para mantener una temperatura constante de 72 °C.

## **2.3. Diseño**

Es un proceso mediante el cual se propone la mejor manera de realizar la instalación de los equipos de aire acondicionado, cuantificando los accesorios y materiales necesarios.

### **2.3.1. Diseño de instalación para equipo tipo ventana**

Estos diseños serían los equipos más fáciles y rápidos de instalar. Solo es necesario abrir un agujero en la pared o en una ventana, colocar una base de soporte y llevar la instalación eléctrica necesaria para cada equipo. Se aconseja que se coloquen a una altura mayor de 1,6 metros.

Sería necesario tres equipos tipo ventana de una tonelada de refrigeración cada uno, para mantener la temperatura de confort deseada.

La instalación eléctrica será de 220 v monofásico, una por cada aire de ventana. Se utilizará un *breaker* de 2 X 20 A por instalación, con tres cables, dos de 110 v (color rojo y color negro) y uno para la tierra (color verde). Se cubrirá las instalaciones con tubería PVC de 1¼", la cual irá por el lado exterior del salón de profesores para evitar que el tubo sea visto por lado dentro.

Para el primer equipo se utilizarán 10 metros de cable por línea, calibre #12. El segundo equipo utilizará 14 metros de cable por línea, calibre #12. Y para el tercer equipo 18 metros de cable por línea, calibre #12. Con un total de 126 metros de cable.

Cada equipo está diseñado para drenar el condensado en la parte trasera del equipo, por lo cual no es necesario realizar drenaje.

### **2.3.2. Diseño de instalación para equipo tipo pared**

Los equipos *mini split* son un poco más complicados de instalar a comparación de los equipos tipo ventana. Se debe colocar solo un equipo de 3 toneladas de refrigeración para poder cubrir las cargas térmicas del lugar.

Se debe analizar dónde irán colocadas la unidad evaporadora y la condensadora. La unidad evaporadora debe ir colocada en medio de una pared, la cual no tenga ninguna restricción enfrente, para que el aire tenga el mayor alcance en toda la habitación. También se aconseja colocarla en la pared que esté orientada al exterior, en este caso no se podrá realizar, ya que la parte superior de la pared 1 está compuesta de ventanas, donde no se puede colocar la soportaría del equipo. Se tendrá que colocar en la pared 2.

Se aconseja colocar estos equipos a una altura mayor de 2 metros cuando sea posible, o 15 centímetros debajo del techo de la habitación. El centro del equipo debe colocarse a 2,1 metros de altura, para evitar contacto directo con las personas que se encuentren dentro de la habitación.

La unidad condensadora se debe colocar en el exterior, ya que colocarlo afuera a nivel del piso afectaría el paso de las personas que transiten por el lugar, se debe poner en el techo del edificio T 7, anclado a la pared, igual que el equipo instalado en el laboratorio de CNC. No se debe separar mucho de la posición de la unidad evaporadora, ya que aumentaría la distancia de tubería de succión y descarga.

Se colocará un *breaker* de 2 X 20 A, y se llevará la instalación eléctrica desde la caja con tres cables calibre #12, dos 110 v y uno de tierra. La distancia de cada cable será de 16 metros, con un total de cables de 48 metros. La señal

del evaporador a la condensadora consta de 3 cables calibre #12 de 6 metros cada uno, con un total de cables de 18 metros.

Para la refrigeración se utilizará tubería de cobre recubierta con armaflex, para la succión se debe utilizar tubería de 7/8" de diámetro, y para la descarga 3/8". La distancia entre manejadora y condensadora es de 6 metros. Se llevará por encima del cielo falso para evitar que se observe la tubería en el salón.

La tubería de drenaje será de PVC de 1/2" y deberá tener una pendiente del 2 % para que, por gravedad, el condensado sea expulsado al exterior. Serán 2,5 metros de distancia hasta el exterior. Si no se desea que se vea la tubería, se deberá colocar una bomba de condensado y subir una manguera de drenaje con la de refrigeración, para descargar junto a la condensadora. Se deberán emplear 6 metros de manguera plástica de 3/8".

### **2.3.3. Diseño de instalación para equipo tipo *split***

La diferencia entre la instalación de un equipo *split* y uno de pared, es que la distribución del aire en el equipo *split* es por medio de ductos aislados. Estos ductos pueden ir dentro del recinto a acondicionar, o arriba del cielo falso. Para este diseño se colocará arriba del cielo falso por estética.

Para el cálculo de dimensión de ductos se utilizará el método de igual fricción. Asumiendo un flujo de aire de 1 200 CFM a la salida del equipo, dado que, por cada tonelada de refrigeración se requiere 400 CFM para realizar el intercambio de calor. La velocidad inicial en los ductos de suministro para una oficina es de 1 800 FPM.

Por medio de la tabla se buscará la intersección entre el caudal y la velocidad del aire inicial. Con eso se encontrará la fricción constante 0,41, en el mismo punto está el diámetro equivalente. Luego con ese diámetro encontrado se va a las tablas equivalentes para secciones rectangulares y se selecciona un lado constante, en este caso será 10", y el siguiente lado será el variable para ir reducir el área para mantener el mismo coeficiente de fricción.

Tabla I. **Medidas de ductos para equipo tipo *split***

Sección	CFM	FPM	Hs 100p	L pies	Ø plg	H*W plg
1	1 200	1 800	0,41	6	11	10*10
2	900	1 750	0,41	6	10	10*8
3	600	1 550	0,41	6	9	10*6
4	300	1 300	0,41	6	7	10*4

Fuente: elaboración propia.

Se utilizarán 5 láminas galvanizadas calibre 24, de 8 x 4 pies para realizar el sistema de suministro y de retorno de aire. Para las mangas de suministro, del ducto a las rejillas, se utilizará 10 metros de ducto flexible de 10 pulgadas de diámetro. Se colocarán 5 rejillas de suministro de 12 pulgadas por 12 pulgadas aisladas.

Para el retorno se colocará un ducto de 14x14 y para la manga se utilizará 2 metros de ducto flexible de 12 pulgadas de diámetro. Para el retorno general se colocará una rejilla de 14 pulgadas por 14 pulgadas.

Para la refrigeración se utilizará tubería de cobre recubierta con armaflex, para la succión se debe emplear tubería de 7/8" de diámetro, y para la descarga 3/8". La distancia entre manejadora y condensadora es de 4,5 metros. Se llevará por encima del cielo falso para evitar que se observe la tubería en el salón.

Para la instalación eléctrica se utilizará un *breaker* de 2 X 20 A. Para la alimentación de los equipos se necesitarán 33 metros de cable calibre #12, y para la señal del control de temperatura a la condensadora se empleará 20 metros de cable telefónico. Se colocará un control de temperatura programable cerca del área de retorno del equipo, a una altura de 1,5 metros.

Como el equipo se encuentra encima del cielo falso, se puede realizar un drenaje con tubo PVC de 3/4", con una distancia de 6 metros de largo con una pendiente del 5 % hasta el exterior.

#### **2.3.4. Diseño de instalación para equipo tipo paquete**

La característica del equipo tipo paquete es que la unidad condensadora y la unidad evaporadora se encuentran juntas, por lo cual no se realiza diseño ni instalación de tubería de refrigeración, facilitando el mantenimiento. El equipo se colocará fuera del salón de profesores en la pared norte, soportada por una base soldada de angular con un espesor de 1/4" anclada a la viga, y con ductos se llevará la distribución de aire a cada rejilla de suministro.



Los equipos de 3 toneladas de refrigeración tipo paquete tiene un flujo de aire de 1 600 CFM con una velocidad inicial necesaria de 1 800 FPM.

Por medio de la tabla de diseño de ductos se busca la intersección entre el caudal y la velocidad del aire inicial. Con eso se encuentra la fricción constante 0,34, en el mismo punto está el diámetro equivalente. Luego con ese diámetro encontrado se va a las tablas equivalentes para secciones rectangulares y seleccionamos un lado constante, en este caso será 10", y el siguiente lado será la variable para reducir el área y mantener el mismo coeficiente de fricción.

Tabla II. **Medidas de ductos para equipo tipo paquete**

Sección	CFM	FPM	Hs 100p	L pies	Ø plg	H*W plg
1	1 600	1 800	0,34	12	13	10*13
2	1 200	1 675	0,34	9	11	10*11
3	800	1 525	0,34	9	10	10*8
4	400	1 300	0,34	9	8	10*6

Fuente: elaboración propia.

Se necesitarán 8 láminas galvanizadas calibre 24, de 8 x 4 pies para realizar el sistema de suministro y de retorno de aire. Para llas mangas de suministro, del ducto a las rejillas, se utilizarán 7 metros de ducto flexible de 10 pulgadas de diámetro. Se colocarán 5 rejillas de suministro de 12 pulgadas por 12 pulgadas aisladas.

Para el retorno se colocará un ducto de 14x14 y para la manga se utilizará 1 metro de ducto flexible de 12 pulgadas de diámetro. Para el retorno general se pondrá una rejilla de 14 por 14 pulgadas.

La instalación eléctrica será de 220 v monofásico, se utilizará un *breaker* de 2 X 30A, con tres cables, dos de 110v (color rojo y color negro) y uno para la tierra (color verde). Se cubrirá las instalaciones con tubería PVC de 1¼", la cual irá por el lado exterior del salón de profesores para evitar que el tubo sea visto por lado dentro.

Para el primer equipo se utilizarán 10 metros de cable por línea, calibre #12. Con un total de 30 metros de cable. La señal del control de temperatura se realizará por medio de cable telefónico con una distancia de 5 metros por línea, 15 metros totales.

Como el equipo se encuentra en el exterior, no es necesario realizar tubería de drenaje

### **2.3.5. Diseño de instalación para equipo tipo *chiller***

Estos utilizan agua para realizar su intercambio de calor, en lugar de gas por razones económicas o de seguridad. Para realizar este diseño se debe calcular la bomba y diámetros de tubería para que el caudal de agua sea el necesario para un buen intercambio de calor. Se utilizará un sistema tipo chiller enfriado por aire para evitar la compra de una torre de enfriamiento y una bomba extra.

Estos equipos ya poseen su evaporador de placas, compresor y condensadora, y la manejadora de aire especifica el flujo de agua que debe

pasar por ella para realizar una buena transferencia de calor, por lo cual solo queda calcular los diámetros de tubería necesarios, tanto en descarga como en succión, y la potencia de la bomba hidráulica que se necesite.

El caudal necesario en el intercambiador de placas es de 25 GPM y la pérdida de presión que sufre en ese punto es de 41 Kpa.

El caudal necesario en el intercambiador de calor de la manejadora de aire es de 20 GPM y la pérdida de presión que sufre en ese punto es de 60 Kpa.

El caudal constante a utilizar en el sistema será de 25 GPM, con una velocidad de 2 m/s. Con estos datos se encontrará qué diámetro de tubería debe tener el sistema.

$$Q = 25 \text{ Gal/Min} * (3,785 \text{ Lts/1Gal}) * (1\text{m}^3/1\ 000\text{Lts}) * (1\text{Min}/60\text{seg})$$

$$Q = 0,001577 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = A * V$$

$$0,001577 = (\pi/4) * D^2 * 2$$

$$D = 0,03168\text{m}$$

$$D = 1 \frac{1}{4} \text{ "}$$

Ya con el diámetro de tubería, se encuentran las pérdidas por rozamiento en tuberías a través de la fórmula de Hazen-Williams, en accesorios por medio de tablas, altura que subiera el sistema y presión necesaria para vencer las pérdidas de los intercambiadores de presión.

$$CDT = Sf \text{ tubería} + Sf \text{ accesorios} + h + sf \text{ presión}$$

$$Sf \text{ tubería} = (10,64/D^{4,87}) * (Q/C)^{1,85} * L$$

Donde: C es el coeficiente del material de la tubería, como se utilizará PVC, el coeficiente es de 150.

$$Sf \text{ tubería} = (10,64/(0,03168)^{4,87} * (0,001577/150)^{1,85} * 10,3$$

$$Sf \text{ tubería} = 1,35 \text{ m}$$

Sf accesorios = 4 codos largos 90°, 1 cheque horizontal, 1 válvula de compuerta.

$$\text{Codo largo } 90^\circ \text{ para tubería de } 1 \frac{1}{4} \text{ " = } 0,7\text{m} * 4$$

$$\text{Cheque horizontal para tubería de } 1 \frac{1}{4} \text{ " = } 2,7 \text{ m}$$

$$\text{Válvula de compuerta para tubería de } 1 \frac{1}{4} \text{ " = } 0,2\text{m}$$

$$Sf \text{ accesorios} = 5,7 \text{ m}$$

Sf altura = 1,5 m por la altura que subirá el agua para llegar a la succión de la bomba.

Sf presión = 41kpa de pérdida del intercambiador de placas y 60 kpa de pérdida del intercambiador de la manejadora.

$$Sf \text{ presión} = 41 \text{ Kpa} + 60 \text{ Kpa}$$

$$Sf \text{ presión} = 101 \text{ Kpa} * (0,1450)$$

$$Sf \text{ presión} = 14,6 \text{ psi} *$$

$$Sf \text{ presión} = 7,24 \text{ m}$$

$$CDT = 1,35\text{m} + 5,7\text{m} + 1,5\text{m} + 7,24\text{m}$$

$$= 15,79\text{m}$$

$$\begin{aligned}\text{Pot} &= (z * Q * \text{CDT}) / (75 * N) \\ &= (1\ 000 * 0,001577 * 15,79) / (75 * 0,8) \\ &= 0,415 \text{ CV} * 0,986 \\ &= 0,409 \text{ HP}\end{aligned}$$

La potencia de la bomba necesaria para el sistema es de 0,5 HP

Para la distribución de aire por medio de ductos se utilizará el mismo diseño que el de tipo *split*, al igual que el drenaje de condensado.

La instalación eléctrica será monofásica 220 v, se utilizará un *breaker* de 2 X 60 A y cable calibre #8, 11 metros por línea y tierra para alimentar el *chiller*, la bomba hidráulica y la manejadora de aire, con un total de 33 metros. La señal del control de temperatura a la manejadora será con cable telefónico de 5 metros de largo, más la señal de la manejadora al *chiller* que son 5 metros adicionales.

#### **2.4. Costos de instalación de equipos**

Después de definir los accesorios y materiales necesarios para una correcta instalación de los equipos de aire acondicionado, se debe analizar los gastos de cada uno de los diseños y elegir el que este dentro de nuestro presupuesto.

### 2.4.1. Costos de instalación para equipo tipo ventana

Para la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo ventana en el salón de profesores se necesita lo siguiente:

Tabla III. Costos de instalación de equipos tipo ventana

Equipos y material	Costo
3 equipos tipo ventana de 12,000 BTU/h.	C/U Q3 000,00
3 <i>breaker</i> de 20 A.	C/U Q 100,00
126 metros de cable #12.	Q750,00
18 metros de tubería PVC eléctrico 1¼".	Q 300,00
3 estructuras metálicas para base	C/U Q 200,00
Mano de obra (agujeros en la pared, instalación de sistema eléctrico y base metálica)	Q 2 000,00
	Total Q 12 950,00
	Precio sin IVA

Fuente: elaboración propia.

## 2.4.2. Costos de instalación para equipo tipo pared

Para la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo pared en el salón de profesores se necesita lo siguiente:

Tabla IV. Costos de instalación de equipo tipo pared

Equipo y materiales	Costos
1 equipo tipo pared de 36 000,00 BTU/h.	Q 7 500,00
1 <i>breaker</i> de 20 A.	Q 100,00
66 metros de cable #12.	Q 400,00
5 metros de manguera para drenaje ½”.	Q 75,00
1 estructura metálica para base.	Q 200,00
Bomba de condensado.	Q 500,00 *
Tubería de cobre (succión y descarga).	Q 550,00
Armaflex para tubería de cobre.	Q 180,00
Mano de obra (agujeros en la pared, instalación de equipo, sistema eléctrico, base metálica, drenaje, transporte).	Q 2 000,00
	Total Q 11,325,00
	Precio sin IVA

Fuente: elaboración propia.

La bomba de condensado es opcional ya que se puede realizar un drenaje por gravedad, pero se vería expuesta en el salón causando molestias estéticas.

### 2.4.3. Costos de instalación para equipo tipo *split*

Para la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo *split* en el salón de profesores se necesita lo siguiente:

Tabla V. Costos de instalación de equipo tipo *split*

Equipo y materiales	Costos
1 equipo tipo <i>split</i> de 36 000 BTU/h.	Q 9 750,00
1 <i>breaker</i> de 20 A.	Q 100,00
33 metros de cable #12.	Q 200,00
10 metros de cable telefónico.	Q 100,00
6 metros de tubo PVC para drenaje ¾".	Q 100,00
2 estructuras metálicas para bases.	C/U Q 225,00
Armaflex para tubería de cobre.	Q 180,00
Tubería de cobre (succión y descarga).	Q 350,00
Sistema de ductos.	Q 1 650,00
Aislante de ductos.	Q 750,00
5 rejillas de suministro.	C/U Q 150,00
1 rejilla de retorno.	Q 200,00
12 metros de ducto flexible 10".	Q 800,00
2 metros de ducto flexible 12".	Q 150,00
Mano de obra (agujeros en la pared, instalación de equipo, sistema eléctrico, bases metálicas, drenaje, transporte).	Q 2 750,00
	Total Q 18 280,00
	Precio sin IVA

Fuente: elaboración propia.



#### 2.4.4. Costos de instalación para equipo tipo paquete

Para la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo paquete en el salón de profesores se necesita lo siguiente:

Tabla VI. Costos de instalación de equipo tipo paquete

Equipo y materiales	Costos
1 equipo tipo paquete de 36,000 BTU/h.	Q 12 500,00
1 <i>breaker</i> de 20 A.	Q 100,00
30 metros de cable #12.	Q 180,00
10 metros de cable telefónico.	Q 100,00
1 estructura metálica para base.	C/U Q 400,00
Sistema de ductos.	Q 2 450,00
Aislante de ductos.	Q 750,00
5 rejillas de suministro.	C/U Q 150,00
1 rejilla de retorno.	Q 200,00
12 metros de ducto flexible 10".	Q 800,00
2 metros de ducto flexible 12".	Q 150,00
Mano de obra (agujeros en la pared, instalación de equipo, sistema eléctrico, bases metálicas, transporte).	Q 2 750,00
	Total Q 21 130,00
	Precio sin IVA

Fuente: elaboración propia.

### 2.4.5. Costos de instalación para equipo tipo *chiller*

Para la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo *chiller* en el salón de profesores se necesita lo siguiente:

Tabla VII. Costos de instalación de equipo tipo *chiller*

Equipo y materiales	Costos
1 equipo tipo <i>chiller</i> de 36,000 BTU/h.	Q 14 500,00
1 <i>breaker</i> de 20 A.	Q 100,00
30 metros de cable #12.	Q 180,00
10 metros de cable telefónico	Q 100,00
1 estructura metálica para base	C/U Q 400,00
Sistema de ductos	Q 1 650,00
Aislante de ductos	Q 750,00
5 rejillas de suministro	C/U Q 150,00
1 rejilla de retorno	Q 200,00
12 metros de ducto flexible 10"	Q 800,00
2 metros de ducto flexible 12"	Q 150,00
1 bomba hidráulica de 0,5 HP	Q 500,00
Mano de obra (agujeros en la pared, instalación de equipo, sistema eléctrico, bases metálicas, transporte)	Q 2 750,00
	Total Q 22 830,00
	Precio sin IVA

Fuente: elaboración propia.

## **2.5. Mantenimiento**

Es importante considerar los planes y costos del mantenimiento antes de la compra del equipo, ya que para una vida prolongada del equipo, así como un servicio eficiente se necesita de servicio periódico. Estos pueden superar los gastos de inversión de otros equipos, así que hay que analizar tanto los precios de inversión de los equipos, más el precio de mantenimiento.

El mantenimiento de equipos de aire acondicionado busca mantener una eficiencia de trabajo, por lo cual es importante realizar estas actividades en fechas programadas para evitar ineficiencias en el sistema que se verían reflejadas en consumo eléctrico excesivo, o en gastos de reparación innecesarios.

### 2.5.1. Plan de mantenimiento para equipo tipo ventana

Este se realiza en 1 hora cada equipo. Se desmontan de la pared para el mantenimiento, requiere solamente jabones para limpiar los intercambiadores de calor y agua a presión.

Tabla VIII. Cronograma de mantenimiento de equipos tipo ventana

Actividad	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Limpiar filtros		X		
Revisar amperaje de funcionamiento		X		
Revisar voltaje de entrada		X		
Limpiar condensadora		X		
Limpiar evaporadora		X		
Buscar fugas de gas y aceite		X		
Revisar conexiones eléctricas		X		

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2. Plan de mantenimiento para equipo tipo pared

Se realiza en 45 minutos. Hay que limpiar los intercambiadores de calor con jabones, con especial cuidado al limpiar la evaporadora, ya que se encuentra cerca de conexiones eléctricas.

Tabla IX. Cronograma de mantenimiento de equipo tipo pared

Actividad	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Limpiar filtros lavables		X		
Revisar amperaje de funcionamiento		X		
Revisar voltaje de entrada		X		
Limpiar condensadora		X		
Limpiar evaporadora		X		
Buscar fugas de gas y aceite		X		
Revisar conexiones eléctricas		X		
Limpiar bomba condensado				X

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.3. Plan de mantenimiento para equipo tipo *split*

Este se realiza en 1 hora con 30 minutos, ya que se necesita limpiar filtros, evaporadora y drenaje, así como la condensadora para garantizar un buen mantenimiento. El drenaje debe ser destapado para evitar que el condensado sobrepase la bandeja y caiga sobre el ambiente.

Tabla X. Cronograma de mantenimiento de equipo tipo *split*

Actividad	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Limpiar filtros		X		
Revisar amperaje de funcionamiento		X		
Revisar voltaje de entrada		X		
Limpiar condensadora		X		
Limpiar evaporadora		X		
Buscar fugas de gas y aceite		X		
Revisar conexiones eléctricas		X		
Limpiar drenaje		X		

Fuente: elaboración propia.

#### 2.5.4. Plan de mantenimiento para equipo tipo paquete

Se realiza en 1 hora, ya que el evaporador, condensador y conexiones eléctricas se encuentran en el mismo lugar, facilitando su revisión y su limpieza.

Tabla XI. Cronograma de mantenimiento de equipo tipo paquete

Actividad	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Limpiar filtros		X		
Revisar amperaje de funcionamiento		X		
Revisar voltaje de entrada		X		
Limpiar condensadora		X		
Limpiar evaporadora		X		
Buscar fugas de gas y aceite		X		
Revisar conexiones eléctricas		X		

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.5. Plan de mantenimiento para equipo tipo *chiller*

Se realiza en 2 horas, porque se debe limpiar el condensador, revisar la bomba de agua y de ser necesario, cambiar el agua del proceso.

Tabla XII. Cronograma de mantenimiento de equipo tipo *chiller*

Actividad	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Revisar amperaje de funcionamiento		X		
Revisar voltaje de entrada		X		
Limpiar condensadora		X		
Cambiar fluido de trabajo			X	
Buscar fugas de gas y aceite		X		
Revisar conexiones eléctricas		X		
Mantenimiento de bomba hidráulica				X

Fuente: elaboración propia.



## **2.6. Costos de mantenimiento de equipos**

Además de analizar los costos de instalación para la selección de un equipo de aire acondicionado, también se deben analizar la inversión de mantenimiento de cada equipo en el período recomendado, ya que este va aumentando con el tiempo.

### **2.6.1. Mantenimiento equipo tipo ventana**

El precio recomendado del mantenimiento de un equipo de aire acondicionado tipo ventana de 12 000 BTU/h es de Q 300,00 c/u, Q900,00 totales trimestrales.

Este incluye:

- Transporte dentro de la ciudad capital (gasolina y depreciación del vehículo).
- Herramienta.
- Jabones.
- Mano de obra.

### **2.6.2. Mantenimiento equipo tipo pared**

El precio recomendado del mantenimiento de un equipo de aire acondicionado tipo pared de 36 000 BTU/h es de Q350,00 trimestrales.

El cual incluye:

- Transporte dentro de la ciudad capital (gasolina y depreciación del vehículo).
- Herramienta.

- Mantenimiento a bomba de condensado.
- Jabones.
- Mano de obra.

### **2.6.3. Mantenimiento equipo tipo *split***

El precio recomendado del mantenimiento de un equipo de aire acondicionado tipo *split* de 36 000 BTU/h es de Q350,00 trimestrales.

El cual incluye:

- Transporte dentro de la ciudad capital (gasolina y depreciación del vehículo).
- Herramienta.
- Compresor de aire para limpieza de drenaje.
- Jabones.
- Mano de obra.

### **2.6.4. Mantenimiento equipo tipo paquete**

El costo recomendado del mantenimiento de un equipo de aire acondicionado tipo paquete de 36 000 BTU/h es de Q450,00 trimestrales.

El cual incluye:

- Transporte dentro de la ciudad capital (gasolina y depreciación del vehículo).
- Herramienta.
- Jabones.
- Mano de obra.

### **2.6.5. Mantenimiento equipo tipo *chiller***

El costo recomendado del mantenimiento de un equipo de aire acondicionado tipo *chiller* de 36 000 BTU/h es de Q600,00 trimestrales.

Este incluye:

- Transporte dentro de la ciudad capital (gasolina y depreciación del vehículo).
- Herramienta.
- Compresor de aire para limpieza de drenaje de manejadora.
- Jabones.
- Anticongelantes.
- Mano de obra.

## CONCLUSIONES

1. Para acondicionar eficientemente el salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se necesitan 36 000 BTU/h o 3 toneladas de refrigeración.
2. Las cargas térmicas sensibles representan el 86 % del calor que aumenta la temperatura del ambiente en el salón de profesores.
3. El calor por transmisión afecta, mayormente el cielo falso del salón de profesores, ya que la temperatura arriba de este es de 29 °C.
4. El laboratorio de soldadura y metalurgia no aumentan directamente la temperatura del salón de profesores, gracias al sistema de extracción que poseen.
5. Por medio de la utilización de AutoCAD 2010, como software de diseño, fue más fácil encontrar distancias reales de tuberías de refrigeración y de instalación eléctrica, cables eléctricos, ductos flexibles y drenajes, y evita costos de material que no se utilizarían.
6. El equipo de aire acondicionado, tipo pared, es el equipo que mejor cumple los requerimientos y necesidades para acondicionar el ambiente, ya que no solo es eficiente sino económico, tanto como en costos de instalación, de mantenimiento y operación.



## RECOMENDACIONES

Para un buen uso del equipo de aire acondicionado:

1. Mantener la temperatura programada del equipo entre 22 y 23 grados centígrados para evitar llegar a los extremos de la temperatura de confort (21-24 grados centígrados).
2. Mantener las puertas y ventanas cerradas para evitar cargas térmicas externas no contempladas en este trabajo de graduación.
3. Realizar los mantenimientos del equipo elegido para garantizar una buena eficiencia de funcionamiento y un buen tiempo de vida.
4. Para evitar que se transfiera el calor por el cielo falso, es necesario colocar un aislante extra, como fibra de vidrio.
5. Utilizar persianas y polarizar las ventanas del salón de profesores para disminuir las cargas térmicas a través de vidrios.



## BIBLIOGRAFÍA

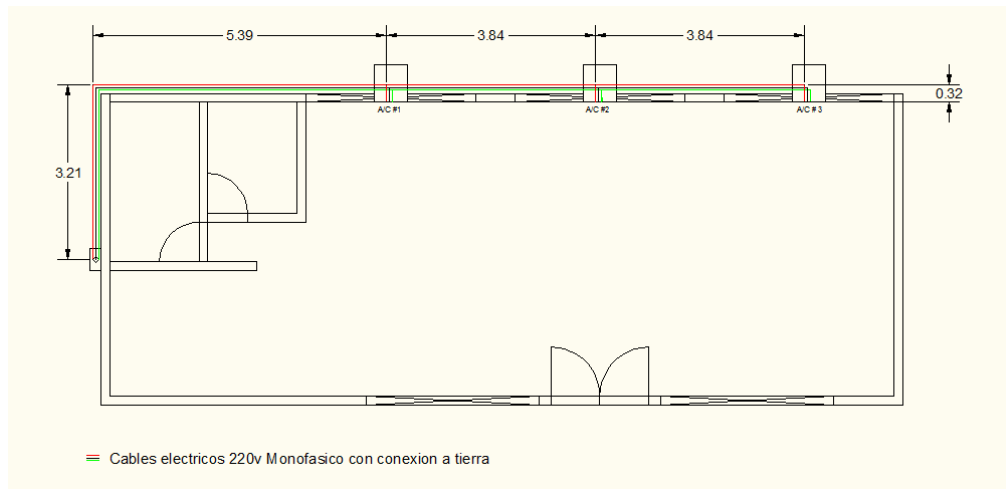
1. ARÉVALO SAGASTUME, Haroldo. Técnico en climatología II. Departamento de Climatología. Insivumeh. Entrevista. Enero 2014.
2. ARGUETA MORALES, Hermenegildo. *Descripción y mantenimiento de instalaciones de equipo hotelero*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1989. 113 p.
3. Corporación Carrier. *Manual de aire acondicionado*. España. Marcombo S.A. 1970. 858 p.
4. PITA, Edward G. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. GONZÁLEZ POZO, Virgilio. México: Compañía Editorial Continental, S. A. 1994. 548 p.





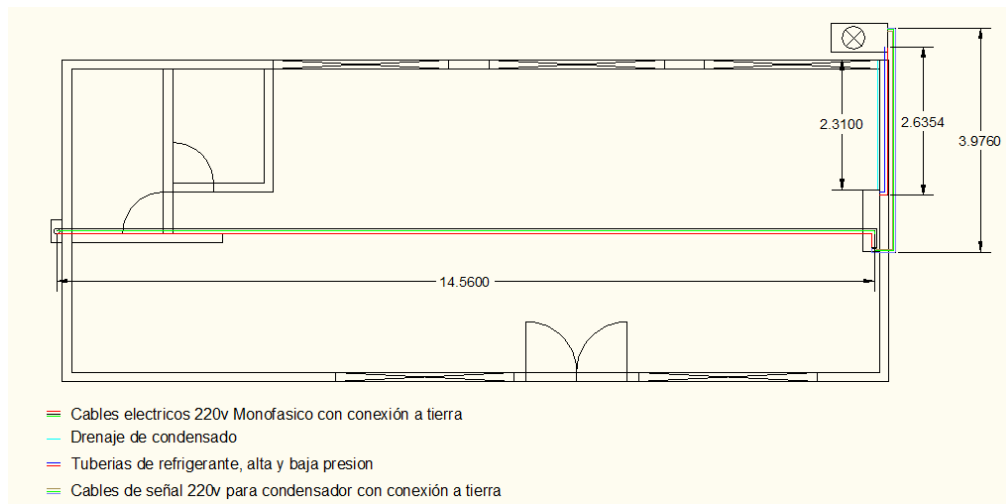
## APÉNDICES

### Apéndice 1. Plano de instalación de equipos de aire acondicionado tipo ventana



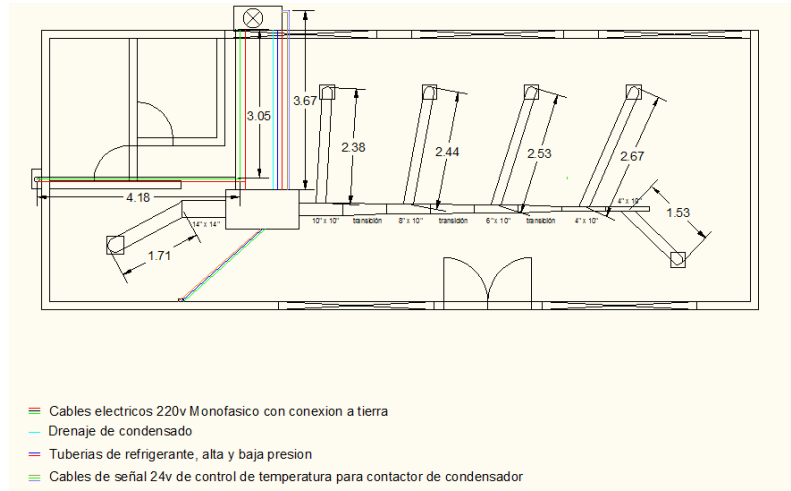
Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2010.

### Apéndice 2. Plano de instalación de equipos de aire acondicionado tipo pared



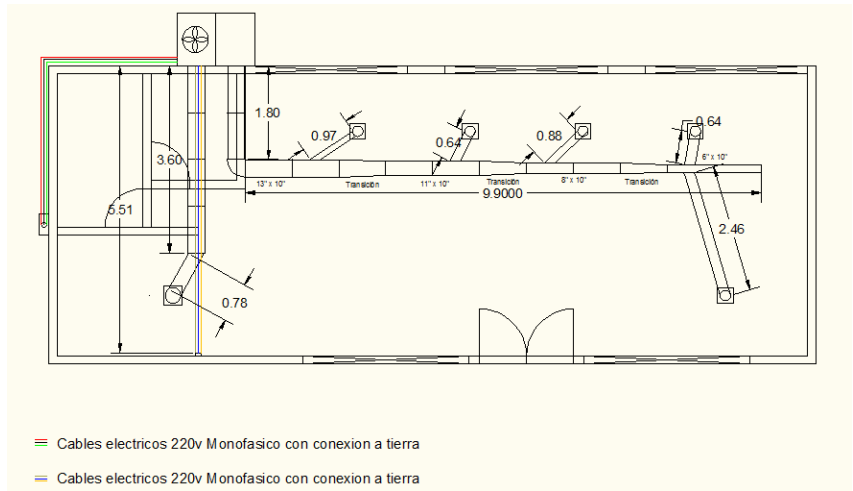
Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2010.

### Apéndice 3. Plano de instalación de equipos de aire acondicionado tipo *split*



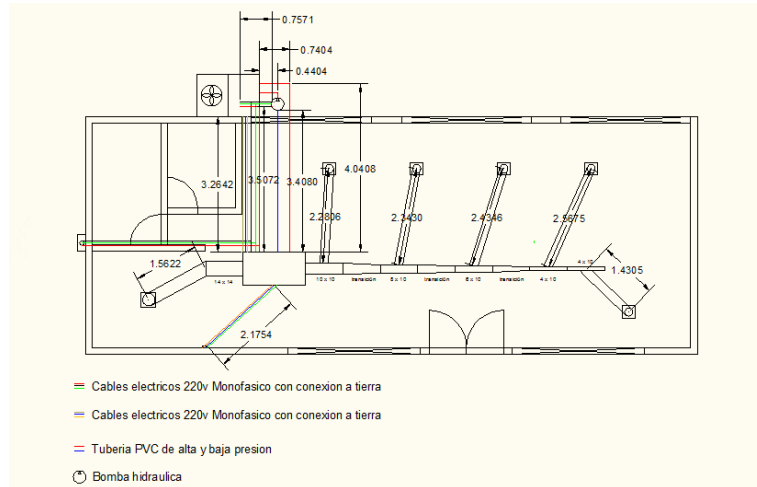
Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2010.

### Apéndice 4. Plano de instalación de equipos de aire acondicionado tipo *paquete*



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2010.

## Apéndice 5. Plano de instalación de equipos de aire acondicionado tipo *chiller*



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2010.



## ANEXOS

Anexo 1. Tabla de factores de transmisión de calor de construcción

**Tabla 7**  
**FACTORES DE TRANSMISION DE CALOR**  
(Valores U)\*

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
<b>PAREDES</b>		
Estructura con laterales de madera, forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.22	0.23
Con aislamiento R-7 (2"-2½")	0.09	0.09
Con aislamiento R-11 (3"-3½")	0.07	0.07
Estructura con ladrillo de 4" o enchapado en piedra, forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.24	0.24
Con aislamiento R-7	0.09	0.09
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
Marco con estucado de 1", forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.29	0.29
Con aislamiento R-7	0.10	0.10
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
Mampostería:		
8" de bloques de concreto, sin terminado	0.49	0.51
12" de bloques de concreto, sin terminado	0.45	0.47
Mampostería (con bloques de 8"):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½"); sin aislamiento	0.29	0.30
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.29	0.30
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.13	0.13
Mampostería (bloques de 8" de material volcánico o de losas huecas de barro):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½") sin aislamiento	0.25	0.25
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.17	0.17
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.12	0.12
Mampostería (ladrillo de 4" de fachada con bloques de material volcánico de 8" o con losas de 8" huecas de barro):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½"); sin aislamiento	0.22	0.22
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.15	0.16
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.12	0.12
Mampostería (losas huecas de barro de 12" o bloques de material volcánico de 12"):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½"); sin aislamiento	0.24	0.24
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.16	0.17
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.12	0.12
Mampostería (ladrillo de 4" de fachada, ladrillo común de 4"):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½"); sin aislamiento	0.28	0.28
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.18	0.19
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.13	0.13
Mampostería (8" de concreto u 8" de piedra):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (½"); sin aislamiento	0.33	0.34
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"); sin aislamiento	0.21	0.21
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.14	0.14
Metal con terminado interior de vinilo, R-7 (3" de fibra de vidrio)	0.14	0.14

\*Btu por hora, pie<sup>2</sup>, diferencia de temperatura en °F. 
$$U = \frac{\text{Btu/h}}{(\text{pie}^2) \times (\text{DT, } ^\circ\text{F})}$$

Fuente: Curso "Refrigeración y aire acondicionado" Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.

## Anexo 2. Tabla de infiltración

**Tabla 13**  
**INFILTRACION\***  
(pies<sup>2</sup>/min)

CLASE DE AREA O DE EDIFICIO	CAMBIOS DE AIRE POR HORA			
	Verano		Invierno	
	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable o marcos de tormenta	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable o marcos de tormenta
Sin ventanas/puertas exteriores	0.30	0.15	0.50	0.25
Sabones de entrada	1.20 a 1.80	0.60 a 0.90	2.00 a 3.00	1.00 a 1.50
Sabones de recepción	1.20	0.60	2.00	1.00
Baños	1.20	0.60	2.00	1.00
Infiltración a través de ventanas:				
Pieza con 1 lado expuesto	0.60	0.30	1.00	0.50
Pieza con 2 lados expuestos	0.90	0.45	1.50	0.75
Pieza con 3 lados expuestos	1.20	0.60	2.00	1.00
Pieza con 4 lados expuestos	1.20	0.60	2.00	1.00

\*Esta cantidad de aire se calcula del siguiente modo:  $Q = AC \cdot H \cdot L \cdot W$   
donde: H= altura de la pieza, pies  
L= longitud de la pieza, pies  
W= anchura de la pieza, pies  
AC= cambios de aire por hora

NOTA: La infiltración simultánea total que ocurre en un edificio será aproximadamente el 50% de la suma de las infiltraciones individuales para cada área o pieza.

**INFILTRACION POR PUERTAS\*1,4**  
(pies<sup>2</sup>/min)  
Sin Vestibulo<sup>2</sup>

Diferencia de temperatura* (DT) (grados F)	Tráfico de personas (TP) (TP=No. de personas/h para CADA PUERTA)							
	10	20	40	60	80	100	200	400
10	4	8	16	24	32	40	80	160
20	8	16	32	48	64	80	160	320
40	16	32	64	96	128	160	320	640
60	24	48	96	144	192	240	480	960
80	32	64	128	192	256	320	640	1280
100	40	80	160	240	320	400	800	1600

Fuente: Curso “Refrigeración y aire acondicionado” Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.

## Anexo 3. Requisitos para ventilación

**Tabla 14**  
**REQUISITOS PARA VENTILACION<sup>1</sup>**

Aplicación	Pies <sup>2</sup> /min por persona	Aplicación	Pies <sup>2</sup> /min por persona
Banco (zona de público)	7	Laboratorio	15
Pequeña	7	Oficina	15
Salón de belleza	25	General	15
Canchas de béisbol	15	Salón de conferencias	25
Cocina/le, bar	30	Sala de espera	10
Almacén de departamentos	7	Salón de billar	20
Área de público	7	Restaurante	10
Bodega	5	Comedor	10
Droguería	20	Cocina	30
Sala de trabajo del farmacéuta	7	Cafetería, ordenes para llevar, drive-in	30
Área del público	7	Colegio <sup>2</sup>	
Factoría <sup>1,3</sup>	10-35	Salón de clases	10
Garaje-Taller	1,5 <sup>4</sup>	Laboratorio	10
Panqueadero	1,5 <sup>4</sup>	Tienda	10
Área de reparaciones <sup>3</sup>	1,5 <sup>4</sup>	Auditorio	5
Hospital <sup>3</sup>		Gimnasio	20
Pieza sencilla o doble	10	Biblioteca	7
Guardería	10	Oficina	7
Corredor	20	Baños-duchas	15
Sala de operación <sup>3</sup>	20	Salón de lockers <sup>2</sup>	30
Centro de preparación de alimentos	35	Comedor	10
Hotel		Corredor	15
Pieza	7	Dormitorios y alcobas	7
Sala de una suite	10	Teatro	
Baño	20	Recibidor	20
Corredor	5	Aditorio	10
Salón principal	7	Zona de fumadores	10
Salón de conferencias (pequeño)	20	Zona de no fumadores	5
Salón de conferencias (grande)	15	Baños	15
Baños públicos	15		

Fuente: Curso “Refrigeración y aire acondicionado” Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.

#### Anexo 4. Factores de ganancia de calor para vidrios

FACTORES DE TRANSMISION DE CALOR PARA VIDRIOS*				FACTORES DE GANANCIA DE CALOR POR RADIACION SOLAR A TRAVES DE VIDRIOS		
Tipo de vidrio	Valor U*			Tipo de vidrio	Sin sombra	Con sombra (persianas venecianas cerradas, cortinas forradas o cortinas de enrollar)
	Verano		Invierno			
	Sin sombra	Con sombra**				
Vidrio sencillo	1.06	0.81	1.13	Vidrio plano (1/8")	1.00	0.64
Vidrio doble (1/4" con espacio de aire)	0.61	0.52	0.65	Vidrio plano (1/4")	0.95	0.64
Ventana corriente + ventana para tormentas	0.54	0.47	0.56	Vidrio que absorbe calor o con algún color (3/16")	0.72*	0.57*
				Vidrio reflectivo (1/4")	0.30—0.60*	0.25—0.50*
				Vidrio claro con película reflectiva aplicada por el lado interior	0.25—0.45*	0.21—0.35*
				Vidrios dobles		
				Vidrios claros (1/8")	0.90	0.57
				Vidrios claros (1/4")	0.93	0.57
				Película que absorbe calor en el exterior, vidrio claro en el interior	0.55	0.39

\* Investigue los manuales de los fabricantes para obtener los valores exactos.

Fuente: Curso “Refrigeración y aire acondicionado” Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.

#### Anexo 5. Tabla de ganancia de calor por personas

GANANCIA DE CALOR POR PERSONAS				
GRADO DE ACTIVIDAD	APLICACION TIPICA	CALOR TOTAL BTU/h	CALOR SENSIBLE BTU/h	CALOR LATENTE BTU/h
SENTADAS, DESCANSANDO	TEATRO/MATINEE SALON DE CLASE/ESCUELA	330	220	110
SENTADAS, DESCANSANDO	TEATRO/TARDE	350	245	105
SENTADAS, TRABAJO LIVIANO	OFICINA, HOTEL, SALON DE CLASE/SECUNDARIA	400	245	155
TRABAJO OFICINA MODERADAMENTE ACTIVO	OFICINA, HOTEL, SALON DE CLASE/UNIVERSIDAD	450	250	200
DE PIE TRABAJO LIVIANO CAMINA LENTAMENTE	DROGUERIA BANCO	500	250	250
TRABAJO SEDENTARIO	RESTAURANTE	550	275	275
TRABAJO BANCO LIVIANO	FACTORIA	750	275	475
BAILE MODERADO	PISTA DE BAILE	850	305	545
CAMINANDO A 3 MPH TRABAJO MODERADAMENTE PESADO	FACTORIA	1000	375	625
BOLOS TRABAJO PESADO	PISTA DE BOLOS FACTORIA	1450	580	870

Fuente: Curso “Refrigeración y aire acondicionado” Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.



Anexo 6. Tabla de ductos circulares equivalentes a ductos rectangulares

**TABLE 6—CIRCULAR EQUIVALENT DIAMETER,\* EQUIVALENT AREA AND DUCT CLASS† OF RECTANGULAR DUCTS FOR EQUAL FRICTION.**

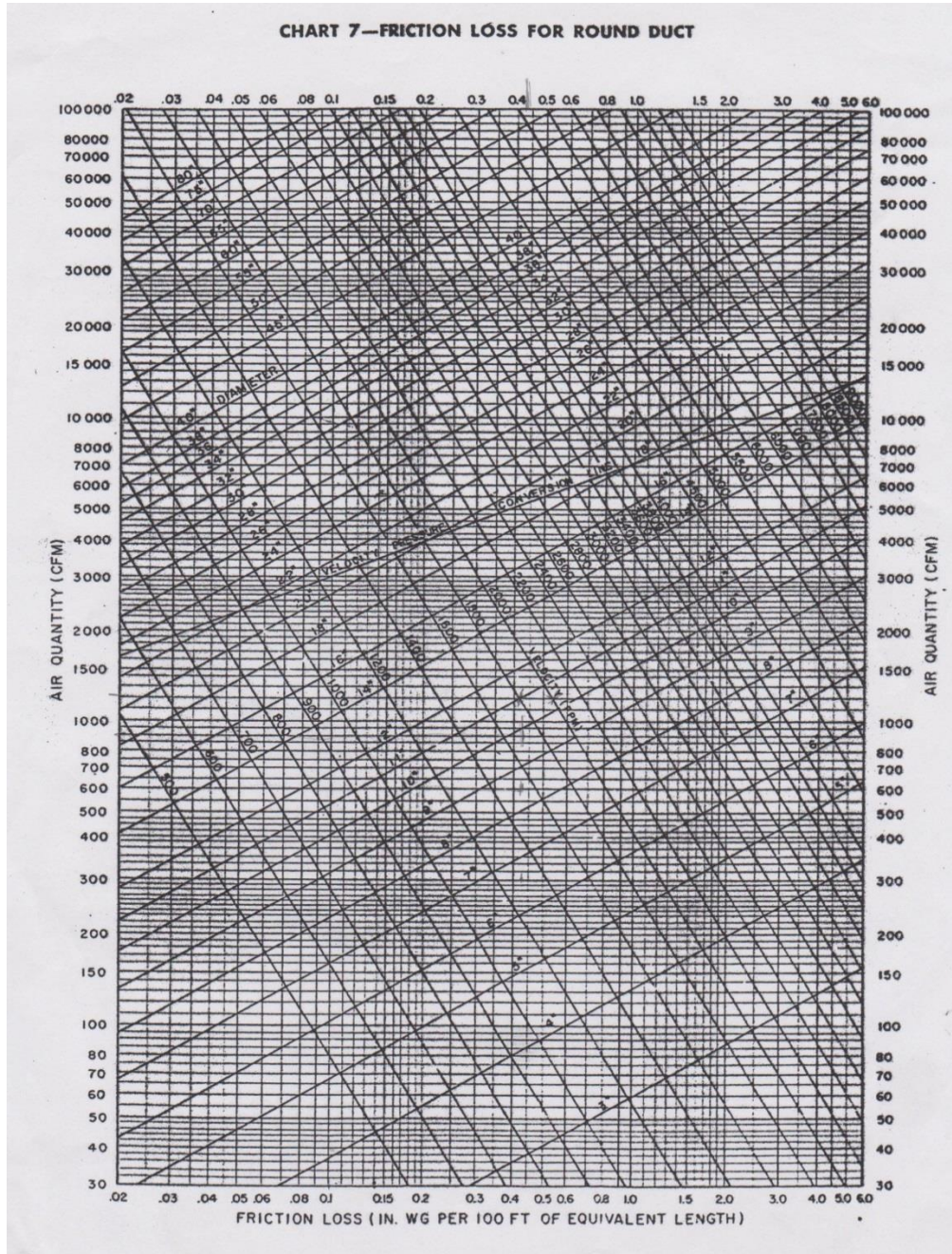
SIDE	6		8		10		12		14		16		18		20		22	
	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.
10	.39	8.4	.52	9.8	.65	10.9												
12	.45	9.1	.62	10.7	.77	11.9	.94	13.1										
14	.52	9.8	.72	11.5	.91	12.9	1.09	14.2	1.28	15.3								
16	.59	10.4	.81	12.2	1.02	13.7	1.24	15.1	1.45	16.3	1.67	17.5						
18	.66	11.0	.91	12.9	1.15	14.5	1.40	16.0	1.63	17.3	1.87	18.5	2.12	19.7				
20	.72	11.5	.99	13.5	1.26	15.2	1.54	16.8	1.81	18.2	2.07	19.5	2.34	20.7	2.61	21.9		
22	.78	12.0	1.08	14.1	1.38	15.9	1.69	17.6	1.99	19.1	2.27	20.4	2.57	21.7	2.86	22.9	3.17	24.1
24	.84	12.4	1.16	14.6	1.50	16.6	1.83	18.3	2.14	19.8	2.47	21.3	2.78	22.6	3.11	23.9	3.43	25.1
26	.89	12.8	1.26	15.2	1.61	17.2	1.97	19.0	2.31	20.6	2.66	22.1	3.01	23.5	3.35	24.8	3.71	26.1
28	.95	13.2	1.33	15.6	1.71	17.7	2.09	19.6	2.47	21.3	2.86	22.9	3.25	24.4	3.60	25.7	4.00	27.1
30	1.01	13.6	1.41	16.1	1.82	18.3	2.22	20.2	2.64	22.0	3.06	23.7	3.46	25.2	3.89	26.7	4.27	28.0
32	1.07	14.0	1.48	16.5	1.93	18.8	2.36	20.8	2.81	22.7	3.25	24.4	3.68	26.0	4.12	27.5	4.56	28.9
34	1.13	14.4	1.58	17.0	2.03	19.3	2.49	21.4	2.96	23.3	3.43	25.1	3.89	26.7	4.37	28.3	4.81	29.7
36	1.18	14.7	1.65	17.4	2.14	19.8	2.61	21.9	3.11	23.9	3.63	25.8	4.09	27.4	4.58	29.0	5.07	30.5
38	1.25	15.0	1.73	17.8	2.25	20.3	2.76	22.5	3.27	24.5	3.80	26.4	4.30	28.1	4.84	29.8	5.37	31.4
40	1.28	15.3	1.81	18.2	2.33	20.7	2.88	23.0	3.43	25.1	3.97	27.0	4.52	28.8	5.07	30.5	5.62	32.1
42	1.33	15.6	1.86	18.5	2.43	21.1	2.98	23.4	3.57	25.6	4.15	27.6	4.71	29.4	5.31	31.2	5.86	32.8
44	1.38	15.9	1.95	18.9	2.52	21.5	3.11	23.9	3.71	26.1	4.33	28.2	4.90	30.0	5.55	31.9	6.12	33.5
46	1.43	16.2	2.01	19.2	2.61	21.9	3.22	24.3	3.88	26.7	4.49	28.7	5.10	30.6	5.76	32.5	6.37	34.2
48	1.48	16.5	2.09	19.6	2.71	22.3	3.35	24.8	4.03	27.2	4.65	29.2	5.30	31.2	5.97	33.1	6.64	34.9
50			2.16	19.9	2.81	22.7	3.46	25.2	4.15	27.6	4.84	29.8	5.51	31.8	6.19	33.7	6.87	35.5
52			2.22	20.2	2.91	23.1	3.57	25.6	4.30	28.1	5.00	30.3	5.72	32.4	6.41	34.3	7.14	36.0
54			2.29	20.5	2.98	23.4	3.71	26.1	4.43	28.5	5.17	30.8	5.90	32.9	6.64	34.9	7.38	36.8
56			2.38	20.9	3.09	23.8	3.83	26.5	4.55	28.9	5.31	31.2	6.08	33.4	6.87	35.5	7.62	37.4
58			2.43	21.1	3.19	24.2	3.94	26.9	4.68	29.3	5.48	31.7	6.26	33.9	7.06	36.0	7.87	38.0
60			2.50	21.4	3.27	24.5	4.06	27.3	4.84	29.8	5.65	32.2	6.50	34.5	7.26	36.5	8.12	38.6
64			2.64	22.0	3.46	25.2	4.24	27.9	5.10	30.6	5.91	33.1	6.87	35.5	7.71	37.6	8.59	39.7
68					3.63	25.8	4.49	28.7	5.37	31.4	6.26	33.9	7.18	36.3	8.12	38.6	9.03	40.7
72					3.83	26.5	4.71	29.4	5.69	32.3	6.60	34.8	7.54	37.2	8.50	39.5	9.52	41.8
76					4.09	27.4	4.91	30.0	5.86	32.8	6.83	35.4	7.95	38.2	8.90	40.4	9.98	42.8
80					4.15	27.6	5.17	30.8	6.15	33.6	7.22	36.4	8.29	39.0	9.21	41.1	10.4	43.8
84							5.41	31.5	6.41	34.5	7.54	37.2	8.55	39.6	9.75	42.3	10.8	44.6
88							5.58	32.0	6.64	34.9	7.87	38.0	8.94	40.5	10.1	43.1	11.2	45.4
92							5.79	32.6	6.91	35.6	8.12	38.6	9.29	41.5	10.4	43.8	11.7	46.3
96							5.90	33.0	7.14	36.2	8.40	39.2	9.70	42.1	10.8	44.5	12.1	47.2
100									7.40	36.9	8.50	39.5	9.80	42.5	11.3	45.5	12.3	47.6
104									7.60	37.4	8.90	40.5	10.3	43.5	11.6	46.2	12.0	48.8
108									7.90	38.0	9.20	41.2	10.6	44.0	12.0	47.0	12.4	49.6
112									8.10	38.6	9.50	41.8	10.9	44.7	12.3	47.5	12.8	50.3
116											9.80	42.4	11.3	45.5	12.6	48.1	14.3	51.3
120											10.0	42.8	11.5	46.0	13.1	49.1	14.4	51.5
124											10.3	43.5	11.9	46.7	13.4	49.6	15.0	52.4
128											10.6	44.1	12.1	47.1	13.8	50.4	15.5	53.3
132													12.5	47.9	14.1	50.9	15.8	53.9
136													12.8	48.5	14.5	51.6	16.2	54.5
140													13.0	48.8	14.7	52.0	16.5	55.0
144													13.3	49.4	15.2	52.9	16.8	55.6

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

Fuente: Curso "Refrigeración y aire acondicionado" Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.



Anexo 7. Gráfica de igual fricción



Fuente: Curso "Refrigeración y aire acondicionado" Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.

Anexo 8. Tabla de ganancia de calor por motores eléctricos

**GANANCIA DE CALOR  
POR MOTORES ELECTRICOS  
(operación CONTINUA)  
BTU/HORA**

<b>POTENCIA DEL MOTOR HP</b>	<b>POSICION DEL MOTOR CON RESPECTO AL ESPACIO ACONDICIONADO</b>		
	<b>Motor y equipo movido dentro del espacio</b>	<b>Motor fuera y equipo movido dentro</b>	<b>Motor dentro del espacio y equipo movido fuera</b>
1/8	580	320	260
1/4	1000	640	360
1/2	1820	1280	540
3/4	2680	1930	750
1	3220	2540	680

Fuente: Curso "Refrigeración y aire acondicionado" Aire acondicionado, factores de carga de calor y tablas. Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consulta: enero 2015.