



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

**CÁLCULO, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE, REGULADO POR UN SISTEMA DE  
CONTROL INTELIGENTE, EN EL EDIFICIO DEL MINISTERIO PÚBLICO, EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Williams Giuviny Martin Choc**

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CÁLCULO, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE, REGULADO POR UN SISTEMA DE  
CONTROL INTELIGENTE, EN EL EDIFICIO DEL MINISTERIO PÚBLICO, EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**WILIAMS GIUVINY MARTIN CHOC**  
ASESORADO POR EL: ING. JORGE MARIO MUÑOZ PAZ  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **CÁLCULO, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE, REGULADO POR UN SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE, EN EL EDIFICIO DEL MINISTERIO PÚBLICO, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en agosto de 2005.

Williams Giuviny Martin Choc

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por ser la fuente de sabiduría y guía de mis pasos en todo momento, darme la fuerza y perseverancia para cumplir mis objetivos, y permitir disfrutar los días venideros.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por concederme la formación profesional en distintos puntos, para servir a la sociedad.
- Ing. Jorge Mario Muñoz Paz** Por su apoyo y colaboración incondicional, para asesorarme en la elaboración del informe final sin el cual no hubiese podido cumplir este logro.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Samuel Martin y Eusebia Choc, por el apoyo incondicional que me brindaron durante todos estos años, para concluir el objetivo propuesto. Gracias por todo.

### **Mis hermanos**

Olga Floridalma, Edwin Amilcar, Julio César e Izabmarlin Meybellin, por estar siempre a mi lado y poder compartir mis triunfos y fracasos de una u otra forma.

### **Mis amigos**

Con todos aquellos que compartí agradables e inolvidables momentos durante mi estancia en la Universidad.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII

## 1 FASE DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Generalidades

1.1.1. Descripción del Ministerio Público.....	1
1.1.2. Descripción de las diferentes áreas de trabajo.....	2
1.1.3. Descripción del departamento de mantenimiento.....	5
1.1.4. Funcionamiento del departamento de mantenimiento.....	5
1.1.4.1. Misión y visión.....	5
1.1.4.2. Estructura del departamento de mantenimiento.....	6
1.1.4.3. Responsabilidades del departamento de mantenimiento.....	6
1.1.4.4. Tipos de trabajo en el departamento de mantenimiento.....	7
1.1.5 Descripción de la construcción en las instalaciones del edificio.....	7
1.1.6 Oscilación de la temperatura dentro y fuera del edificio.....	9
1.1.7 Superficie de cada sector.....	9

1.1.8 Cargas de enfriamiento mínimo y máximo, para las distintas áreas a acondicionar.....	11
1.1.9 Variación del calor sensible y latente dentro de cada área.....	20
1.1.10 Temperatura y humedad del aire dentro del edificio a un nivel confortable.....	25
1.1.11 Inyección del aire de suministro.....	26
1.1.12 Detalles de las instalaciones del edificio, alturas del cielo falso y vigas.....	26

## **2 FASE TÉCNICO-PROFESIONAL**

### **2.1 Sistema de ductería**

2.1.1 Dimensiones de los sistemas de ductería.....	29
2.1.2 Pérdidas por fricción en los sistemas de ductería.....	39
2.1.3 <i>Damper</i> para la circulación del aire.....	52
2.1.4 Acople del sistema de ductería hacia las manejadoras.....	54
2.1.5 Selección de materiales para el aislamiento de ductos.....	55
2.1.6 Selección del sistema de soporte para los ductos.....	56

### **2.2 Sistema de tubería de agua fría**

2.2.1 Dimensiones de la tubería de agua fría.....	58
2.2.2 Pérdidas por fricción a través de la tubería.....	61
2.2.3 Selección de materiales para el aislamiento del circuito de agua fría.....	72
2.2.4 Selección del tipo de anclaje para el circuito de agua fría.....	75



<b>2.3</b>	<b>Sistema eléctrico y control inteligente de los equipos de acondicionamiento de aire</b>	
2.3.1	Conceptos básicos de electricidad y control inteligente.....	77
2.3.2	Voltaje y amperaje a utilizar en el edificio para los equipos de acondicionamiento.....	81
2.3.3	Calibre de los conductores para cada equipo.....	82
2.3.4	Diámetro de tubería para los sistemas de control y fuerza.....	86
2.3.5	Ubicación y acople de los accesorios del control inteligente.....	88
2.3.6	Anclaje de la tubería del sistema de control y fuerza.....	89
2.3.7	Conexión de los accesorios del sistema de control y fuerza.....	91
2.3.8	Desviación del voltaje entre las líneas para los equipos de acondicionamiento.....	95
2.3.9	Señal para los accesorios de control inteligente.....	97
<b>2.4</b>	<b>Circulación del agua fría en el sistema</b>	
2.4.1	Características de las bombas de agua.....	105
2.4.2	Caudal mínimo y máximo para el circuito de agua.....	107
2.4.3	Caída hidráulica de las bombas de agua.....	109
2.4.4	Potencia al freno de los motores.....	111
2.4.5	Eficiencia de las bombas de agua.....	112
2.4.6	Acople y anclaje de las bombas de agua.....	113
<b>2.5</b>	<b>Sistema de enfriamiento de agua</b>	
2.5.1	Características de los <i>chillers</i> .....	116
2.5.2	Características de los compresores y ventiladores.....	117
2.5.3	Funcionamiento del sistema de enfriamiento.....	119
2.5.4	Capacidad de los <i>chillers</i> .....	122
2.5.5	Acople de los <i>chillers</i> al circuito de agua.....	125

<b>2.6 Selección de equipos para el acondicionamiento de aire, acorde a las capacidades y especificaciones que se requieren</b>	
2.6.1 Selección de manejadoras para cada sector a acondicionar.....	129
2.6.2 Bombas para la circulación del agua en el sistema.....	131
2.6.3 Selección de accesorios.....	135
2.6.3.1 Válvulas.....	135
2.6.3.2 Manómetros.....	138
2.6.3.3 Termómetros.....	139
2.6.3.4 Termostatos.....	139
2.6.3.5 Sensores de control.....	139
2.6.3.6 Anti-vibradores.....	140
2.6.3.7 Tanque de expansión.....	140
2.6.4 Selección de los <i>chillers</i> para el enfriamiento del agua.....	147
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>151</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>155</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Organización administrativa, Fiscalía General de Guatemala.....	2
2	Organización administrativa del Ministerio Público, Guatemala.....	3
3	Organigrama del departamento de mantenimiento.....	6
4	Ubicación geográfica del edificio del Ministerio Público.....	8
5	Detalle de altura para vigas, cielo falso y nivel de piso.....	27
6	Pérdidas por fricción para flujo de aire en ductos redondos de lámina galvanizada.....	32
7	Ductulador sistema inglés.....	33
8	Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, transición.....	35
9	Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, codo 90°.....	35
10	Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, codo 45°.....	36
11	Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, tee convergente con entrada a 45°.....	36
12	Juntas transversales y refuerzos para ducto rectangular.....	37
13	Ejemplo, ductería con caída de presión de 0.1" H <sub>2</sub> O por cada 100 pies de ducto recto.....	38
14	Longitudes equivalentes, acoplamientos para plenos extendidos.....	39
15	Longitudes equivalentes, reducción de troncal a ductos.....	40

16	Longitudes equivalentes, ángulos y codos para ductos troncales, caso 1.....	40
17	Longitudes equivalentes, ángulos y codos para ductos troncales, caso 2.....	41
18	Longitudes equivalentes para acoplamiento de bota.....	41
19	Difusor de 4 vías.....	43
20	Velocidad en el cuello en función del alcance medio.....	44
21	Pérdida de carga según el número de vías.....	45
22	Detalle de la compuerta para tee convergente con entrada a 45°.....	52
23	Abertura de la compuerta.....	53
24	Acople de manejadora 40RMS008.....	54
25	Aislamiento con fibra de vidrio tipo colchoneta.....	56
26	Soportes para los sistemas de ductería.....	57
27	Sistema de dos tubos en paralelo.....	58
28	Sistema cerrado, dos tubos en paralelo con retorno inverso.....	61
29	Pérdidas por fricción para agua en tubos de sistema cerrado.....	63
30	Longitud equivalente de accesorios, caso 1.....	64
31	Longitud equivalente de accesorios, caso 2.....	65
32	Característica del sistema para circuito en paralelo.....	67
33	Cañas premoldeadas de fibra de vidrio.....	73
34	Enchaquetado de tubería expuesta a la intemperie.....	74
35	Soportes dentro del edificio para sistema de tubería Ø 3".....	75
36	Soportería para sistema de tubería Ø 10" en azotea.....	76
37	Diagrama de la válvula de tres vías.....	88
38	Soportería del sistema de fuerza Ø 1¼" y Ø ¾".....	90
39	Tubería para los sistemas de fuerza y control de Ø ¾" en vigas y losa.....	90
40	Detalle del sistema de fuerza para manejadoras.....	91
41	Diagrama de la tarjeta electrónica.....	92

42	Panel de control, <i>chiller</i> 30XA200.....	95
43	Líneas trifásicas de un motor.....	96
44	Tarjeta electrónica de manejadoras.....	98
45	<i>Status Display</i> de las manejadoras de aire, sistema CCN.....	99
46	Amplificador de señal, sistema CCN.....	100
47	Distribución de las manejadoras de aire, sistema CCN.....	100
48	Conexión del cable bus a <i>chillers</i> .....	102
49	Distribución de las bombas y <i>chillers</i> , sistema CCN.....	103
50	Componentes de las bombas centrífugas.....	105
51	Curvas características de funcionamiento, para las bombas centrífugas.....	106
52	Curvas características de desarrollo plano-pendiente, para las bombas centrífugas.....	108
53	Curva característica del sistema de dos bombas en paralelo y caída del sistema.....	110
54	Característica de la curva BHP-flujo para las bombas centrífugas.....	111
55	Característica de la curva eficiencia-flujo para las bombas centrífugas.....	113
56	Detalle típico de bomba centrífuga.....	114
57	Anclaje de las bombas centrífugas.....	115
58	Acople de los accesorios, circuito de tubería.....	115
59	Compresor de tornillo helicoidal.....	117
60	Ventiladores axiales para condensadores de <i>chiller</i> .....	119
61	Sistema de enfriamiento por compresión de vapor.....	121
62	Navegador del <i>chiller</i> , sistema CCN.....	122
63	Detalle de viga I para patín de <i>chillers</i> .....	125
64	Colocación de vigas I para <i>chillers</i> .....	126
65	Patín con antivibrador de neopreno y chapa de acero de ¼" en forma de L.....	127

66	Acople del sistema de tubería hacia <i>chillers</i> y bombas.....	128
67	Acople del sistema de tubería de agua fría hacia el <i>cooler</i> .....	128
68	Manejadoras de aire 40RMS012 y 40RMS008.....	130
69	Manejadora de aire 42DE020.....	131
70	Bomba centrífuga horizontal serie 1510 <i>Bell&amp;Gosset</i> .....	134
71	Manómetro Bourdon de 0-100 psi.....	138
72	Nivel de agua del tanque de expansión.....	144
73	Cálculo de incógnitas para el tanque de expansión.....	145
74	Tanque de expansión para sistema de agua fría.....	147
75	<i>Chillers</i> 30XA200 para el sistema de enfriamiento.....	148
76	Menú principal de <i>Carrier Network manager</i> .....	155

## TABLAS

I.	Temperaturas máximas extremas en Guatemala.....	9
II.	Áreas de agencia 10, paredes.....	10
III.	Áreas de agencias, planta.....	10
IV.	Factores de sombra para aleros.....	12
V.	Factores de ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios $\text{btu/h-pie}^2$ .....	13
VI.	Factores de transmisión de calor para vidrios, caso 1.....	13
VII.	Factores de transmisión de calor para vidrios, caso 2.....	14
VIII.	Factores de transmisión de calor valores de U $\text{Btu/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ , caso 1.....	14
IX.	Factores de transmisión de calor valores de U $\text{Btu/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ , caso 2.....	16
X.	Diferencias de temperatura equivalentes para ganancias de calor a través de techos planos.....	18

XI.	Diferencias equivalentes de temperatura para paredes soleadas y sombreadas.....	19
XII.	Caudales de aire exterior.....	22
XIII.	Datos de carga térmica agencia No. 10, sala de juntas.....	23
XIV.	Calibre de lámina galvanizada.....	29
XV.	Velocidades en sistemas de ductería pies/min.....	31
XVI.	Juntas transversales y refuerzos para ducto rectangular.....	37
XVII.	Ejemplo, ductería con caída de presión de 0.1 pulg. por cada 100 pies de ducto recto.....	42
XVIII.	Velocidad máxima recomendada en el cuello (pies/min.).....	46
XIX.	Pérdida de presión por filtro y serpentín, filtro de 2" de grosor, manejadoras de aire 40RMS.....	46
XX.	Pérdida de presión por filtro y serpentín, filtro de 2" de grosor, manejadoras de aire 42DE.....	47
XXI.	Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-205.....	47
XXII.	Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores, manejadora UMA-205.....	48
XXIII.	Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-206.....	48
XXIV.	Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores, manejadora UMA-206.....	49
XXV.	Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-202.....	49
XXVI.	Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores, manejadora UMA-202.....	50
XXVII.	Caída de presión en el sistema de ductería, manejadoras de aire segundo nivel.....	50
XXVIII.	Velocidades del agua.....	59

XXIX.	Máxima velocidad del agua a una mínima erosión.....	60
XXX.	Flujo y diámetro de manejadoras.....	61
XXXI.	Longitud equivalente, pies de tubo, para conexiones y válvulas.....	66
XXXII.	Descripción del sistema de tubería para el cálculo de caída.....	68
XXXIII.	Caída de presión del sistema, azotea.....	70
XXXIV.	Caída de presión del sistema, <i>riser</i> edificio 1 y 3.....	70
XXXV.	Caída de presión del sistema, nivel 3 suministro.....	71
XXXVI.	Caída de presión del sistema, nivel 2 parte sur.....	71
XXXVII.	Caída de presión del sistema, sótano 2 retorno inverso.....	71
XXXVIII.	Caída de presión del sistema, <i>riser</i> edificio 1 retorno inverso.....	72
XXXIX.	Caída de presión, descripción de todo el sistema.....	72
XL.	Descripción eléctrica de los equipos de acondicionamiento.....	82
XLI.	Dimensión y capacidad de conducción.....	83
XLII.	Temperatura máxima de operación.....	84
XLIII.	Interpretación de grabados en los conductores.....	84
XLIV.	Código de colores de los conductores en la instalación.....	84
XLV.	Calibre de conductores, manejadoras de aire.....	85
XLVI.	Calibre de conductores, <i>chillers</i> .....	85
XLVII.	Calibre de conductores, bombas centrífugas.....	85
XLVIII.	Cantidad de conductores por ducto.....	86
XLIX.	Especificaciones eléctricas, manejadoras de aire.....	93
L.	Especificaciones eléctricas, bombas centrífugas.....	94
LI.	Especificaciones eléctricas, <i>chillers</i> .....	94
LII.	Factores de corrección de la altitud, capacidad y Kw.....	124
LIII.	Características de las bombas centrífugas.....	134
LIV.	Descripción de los accesorios PVC para agua potable.....	135



LV.	Descripción de las válvulas de tres vías para manejadoras.....	136
LVI.	Descripción de las válvulas de compuerta.....	137
LVII.	Incremento del agua con respecto a la temperatura.....	142
LVIII.	Volumen del serpentín para las manejadoras de aire.....	143
LIX.	Volumen del sistema de tubería.....	143



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>ASHRAE</b>	<i>American Society of Heating Refrigeration, and Air Conditioning Engineers.</i>
<b>ASME</b>	<i>American Society Mechanical Engineers.</i>
<b>BHP</b>	Potencia al freno (siglas en inglés).
<b>Bridge</b>	Amplificador de señal.
<b>Btu</b>	Unidad Térmica Británica.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Bióxido de carbono.
<b>CCN</b>	Red de confort Carrier (siglas en inglés).
<b>CFM</b>	Pie cúbico por minuto (siglas en inglés).
<b>DC</b>	Corriente directa.
<b>GPM</b>	Galones por minuto.
<b>h</b>	Horas.
<b>HP</b>	Caballos de fuerza (siglas en inglés).
<b>HVAC</b>	Calefacción, ventilación y aire acondicionado (siglas en inglés).
<b>Hz</b>	Ciclos por segundo (hertz).
<b>Kw</b>	Kilowatts.
<b>m.m. H<sub>2</sub>O</b>	Milímetros de agua.
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados.
<b>mA</b>	Miliamperios.
<b>min.</b>	Minuto.
<b>NEC</b>	Código nacional eléctrico ( <i>National Electric Code</i> ).
<b>°C</b>	Grados centígrados.

<b>°F</b>	Grados Fahrenheit.
<b>pie H<sub>2</sub> O</b>	Pie de agua de presión.
<b>pie<sup>2</sup></b>	Pie cuadrado.
<b>psi</b>	Libra por pulgada cuadrada (siglas en inglés).
<b>pulg. H<sub>2</sub> O</b>	Pulgada de agua de presión.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo.
<b>Q<sub>L</sub></b>	Calor latente.
<b>Q<sub>s</sub></b>	Calor sensible.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>S</b>	Segundos.
<b>SHR</b>	Factor de calor sensible.
<b>SMACNA</b>	<i>Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association.</i>
<b>T.R.</b>	Tonelada de refrigeración.
<b>UMA</b>	Unidad manejadora de aire.
<b>VAC</b>	Voltios corriente alterna.
<b>W</b>	Relación de humedad.
<b>30XA200</b>	<i>Chiller</i> capacidad de doscientas toneladas de refrigeración.
<b>40RMS008</b>	Manejadora de aire de siete y media toneladas de refrigeración.
<b>40RMS012</b>	Manejadora de aire de diez toneladas de refrigeración.
<b>42DE006</b>	Manejadora de aire de una y media tonelada de refrigeración.
<b>42DE012</b>	Manejadora de aire de tres toneladas de refrigeración.
<b>42DE020</b>	Manejadora de aire de cinco toneladas de refrigeración.

## GLOSARIO

<b>Acondicionamiento de aire</b>	Sistema utilizado para el confort de los ocupantes en un ambiente determinado. Es el tratamiento del aire atmosférico que combina temperatura, humedad, limpieza, movimiento, circulación y renovación del aire.
<b>Aire de retorno</b>	Aire que vuelve del espacio acondicionado.
<b>Aire de suministro</b>	Aire suministrado por la manejadora hacia el espacio a acondicionar.
<b>Amplificador de señal</b>	Parte del sistema de control inteligente utilizado para controlar los equipos de acondicionamiento.
<b>Caballos de fuerza</b>	Unidad de potencia que equivale a 550 pies.lb/s, aproximadamente equivale a 746 Watts.

<b>Caída de presión</b>	Pérdida ocasionada por la resistencia que existe entre el sistema y el paso del fluido (aire o agua), para sistema de ductería pueden expresarse en pulg. de agua y para sistema de tubería de agua fría, en pies de agua.
<b>Chiller</b>	Equipo utilizado para el enfriamiento del agua en los sistemas de aire acondicionado, o para la fabricación de hielo; pueden ser enfriados por aire o agua.
<b>Difusor de aire</b>	Elemento utilizado para el suministro de aire, puede ser de distintos tipos de flujos, de uno, dos, tres y cuatro vías, así como de varios diseños geométricos para la instalación.
<b>Humedad relativa</b>	Relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la mayor cantidad posible a la temperatura de bulbo seco.
<b>Navegador</b>	Parte del sistema CCN que se utiliza para programar y controlar el <i>chiller</i> .

<b>Red de confort Carrier</b>	Conjunto de elementos del sistema de control inteligente, se utiliza para controlar en forma manual o automática el sistema de acondicionamiento de aire acorde a la carga térmica del sistema, se compone de una PC, <i>D link</i> , amplificadores de señal, tarjetas de control, variadores de frecuencia, sensores de presión, temperatura y guardanivel.
<b>Renovación de aire</b>	Es la sustitución del aire contaminado de humo, bacterias, malos olores y polvo por otro aire, limpio conveniente para la respiración.
<b>Serpentín</b>	Intercambiador de calor que se utiliza como condensador o evaporador.
<b>Tarjeta de control</b>	Tarjeta que se utiliza en el sistema CCN para regular el caudal de la válvula de tres vías, la velocidad del ventilador, la temperatura de suministro y retorno del aire de la manejadora a los parámetros programados.
<b>Tonelada de refrigeración</b>	Fusión de una tonelada de hielo en 24 horas, equivale a 12,000 Btu/hr.

**Unidad manejadora de aire**      Unidad evaporadora o la parte del ventilador que sirve para el suministro de aire.

**Unidad térmica británica**      Cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de 1 lb. de agua en 1 °F.



## RESUMEN

Debido a la elevada temperatura en los últimos años, fue necesario realizar un estudio de acondicionamiento de aire para mantener el confort en el edificio del Ministerio Público.

El diseño de aire acondicionado para el edificio se compone de: sistema de ductería, tubería de agua fría, electricidad y control inteligente.

En el diseño del sistema de tubería de agua fría se considera el caudal constante por tonelada de refrigeración, y la velocidad en un rango de diseño para la tubería PVC, así como el paso de la tubería.

En la determinación de la caída de presión, en el sistema de agua fría, se consideran factores del sistema de dos tubos en paralelo con retorno inverso y para las manejadora. El valor de la caída de presión se obtiene del fabricante.

Para la selección de las manejadoras y *chillers* se toma de base la capacidad térmica total, temperatura exterior, temperatura interna del edificio, latitud, altitud, y para las bombas centrífugas, la caída de presión total del sistema de tubería de agua fría, altitud y las curvas características de las bombas, considerando el costo del equipo, operación, mantenimiento y decoración en las instalaciones.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de acondicionamiento de aire para el nuevo edificio del Ministerio Público ubicado en la 15 calle y 15 avenida esquina zona 1, Barrio Gerona, Ciudad de Guatemala.

### **Específicos**

1. Determinar la carga térmica total para cada área a acondicionar en el edificio.
2. Diseñar el sistema de ductería para los sistemas de suministro y de retorno, en las áreas a acondicionar, dentro del edificio.
3. Diseñar el sistema de tubería de agua fría para la circulación de los sistemas de suministro y retorno del sistema de enfriamiento.
4. Diseñar el sistema de fuerza para cada equipo a utilizar en el sistema.
5. Seleccionar los equipos a utilizar para el sistema de aire acondicionado.



## INTRODUCCIÓN

La generación de calor debido al aumento de la temperatura, causados por niveles de ocupación, iluminación y utilización de aparatos eléctricos de un edificio, ha hecho que sean indispensables los sistemas de acondicionamiento de aire para transformar estos lugares en ambientes confortables para las personas que visitan y laboran en el edificio.

Para el diseño de los sistemas de ductería, tubería de agua fría y eléctrico, se ha tomado en cuenta las recomendaciones del fabricante de los equipos y como base para la construcción del sistema de acondicionamiento de aire, la aplicación de normas internacionales de diseño.

Para la regulación del funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire, se ha implementado un programa de control inteligente CCN (*Carrier Comfort Network*), dicho programa regula y controla el consumo de energía eléctrica que se debe a la variación de la carga térmica dentro del edificio.

Los parámetros más utilizados en los sistemas de acondicionamiento están en un rango de 71°F a 72°F, humedad relativa del 50% y la velocidad del aire, en el ducto de suministro principal, de 2000 pies/min. para que el nivel de ruido sea bajo como la estancia de las personas dentro del edificio sea agradable. Aunque estos valores pueden ser modificados cuando se requiera para todas las manejadoras de aire.

# **1 FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Generalidades**

### **1.1.1 Descripción del Ministerio Público**

El Ministerio Público está integrado por los órganos siguientes:

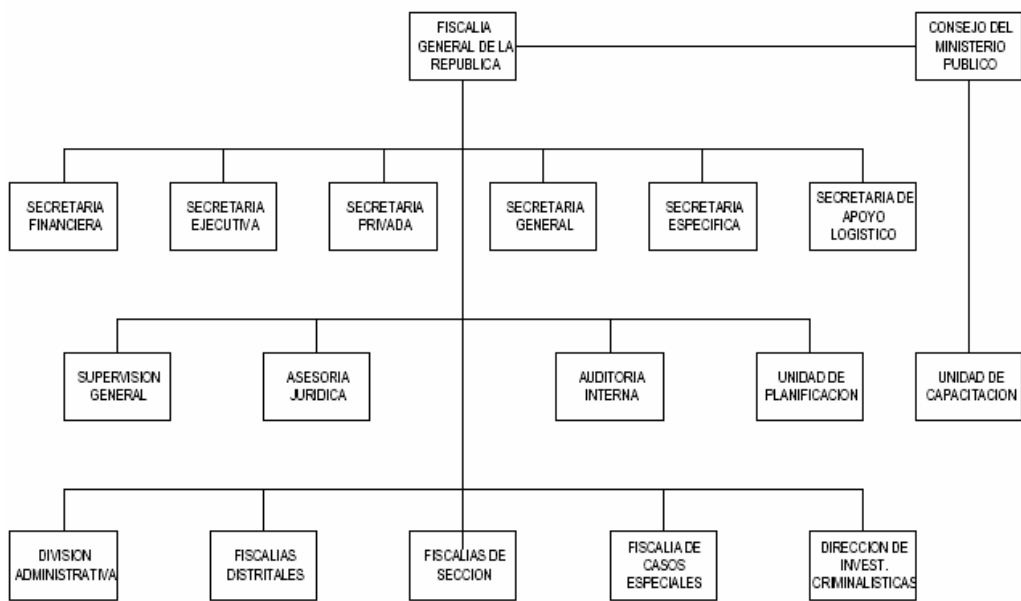
1. El Fiscal General de la República.
2. El Consejo del Ministerio Público.
3. Los Fiscales de Distrito y Fiscales de Sección.
4. Los Agentes Fiscales.
5. Los Auxiliares Fiscales.

El Ministerio Público es una institución auxiliar de la administración pública y de los tribunales, encargada según la Constitución Política de la República, el Código Procesal Penal y la Ley Orgánica que rige su funcionamiento, del ejercicio de la acción penal pública, así como de la investigación preliminar para preparar el ejercicio de la acción. También tiene posibilidades de ejercer coerción sobre las personas para poder cumplir con esta función y dirige a la policía en cuanto a la investigación del delito se refiere.

Es una institución de autonomía funcional, puesto que si bien el Fiscal General lo elige el Presidente de la República basado en un nómina elaborada por una comisión de postulación que selecciona seis candidatos; es un órgano extrapoder, es decir, no subordinado a ninguno de organismos del Estado, Legislativo, Ejecutivo y Judicial.

### 1.1.2 Descripción de las diferentes áreas de trabajo

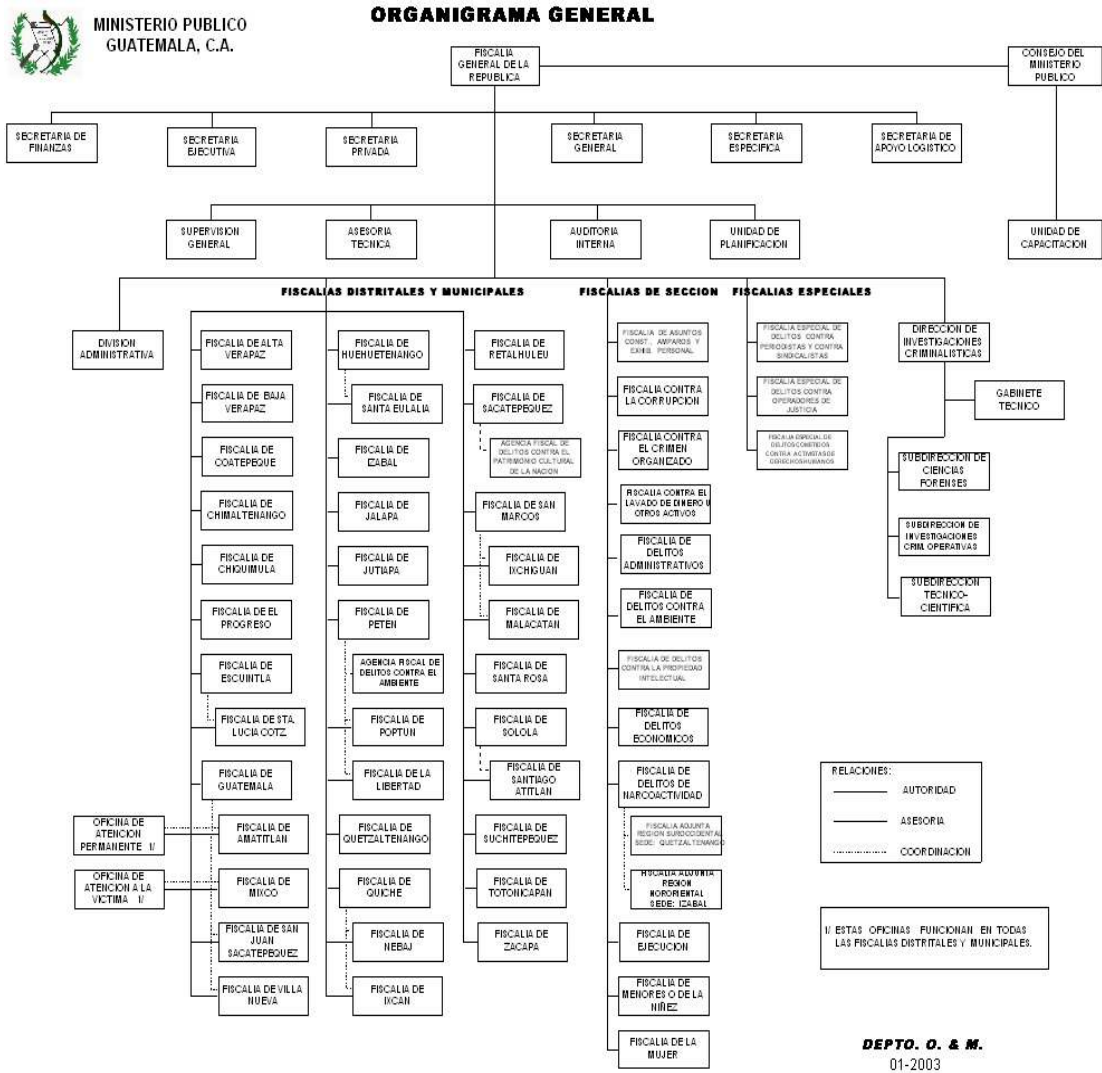
Figura 1. Organización administrativa, Fiscalía General de Guatemala



Fuente: **Ministerio Público de Guatemala**

Debido a la reingeniería que se está llevando a cabo en el Ministerio Público, la actual organización administrativa cambiará su forma estructural.

Figura 2. Organización administrativa del Ministerio Público, Guatemala



Fuente: Ministerio Público de Guatemala



### **Descripción general de la unidad**

Es la encargada de planificar, organizar, dirigir y coordinar las actividades administrativas del Ministerio Público. Su actividad principal está dirigida a velar porque las funciones administrativas se realicen en cumplimiento de disposiciones legales y aplicación de procedimientos técnicos en la materia.

### **Funciones**

1. Velar porque las actividades administrativas se realicen de conformidad con las disposiciones legales y procedimientos técnicos.
2. Proporcionar asesoría en materia administrativa al Fiscal General de la República.
3. Planificar, coordinar y supervisar las actividades de administración de recursos humanos de la institución.
4. Planificar, coordinar y supervisar la prestación de servicios generales a todas las dependencias del Ministerio Público.
5. Coordinar acciones con todas las dependencias del Ministerio Público para garantizar la integración y unidad de la gestión administrativa.
6. Velar por la correcta aplicación y observancia de la Ley Orgánica del Ministerio Público.

### **1.1.3 Descripción del departamento de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento tiene dependencia jerárquica con la Fiscalía General de la República, se compone de un administrador, asistente de administrador, secretario, operarios en (electricidad, obra civil, mecánica, mobiliario e informática).

### **1.1.4 Funcionamiento del departamento de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento se divide en varias áreas, entre las mas importantes son: electricidad, mecánica, informática y obra civil, con la apertura del nuevo edificio el departamento de mantenimiento carece de personal administrativo, se esta organizando para la creación de un sistema de mantenimiento que abarque las distintas áreas de trabajo. Dentro del plan de trabajo se contemplan varios tipos de mantenimientos de los cuales se mencionan: mantenimiento preventivo y correctivo.

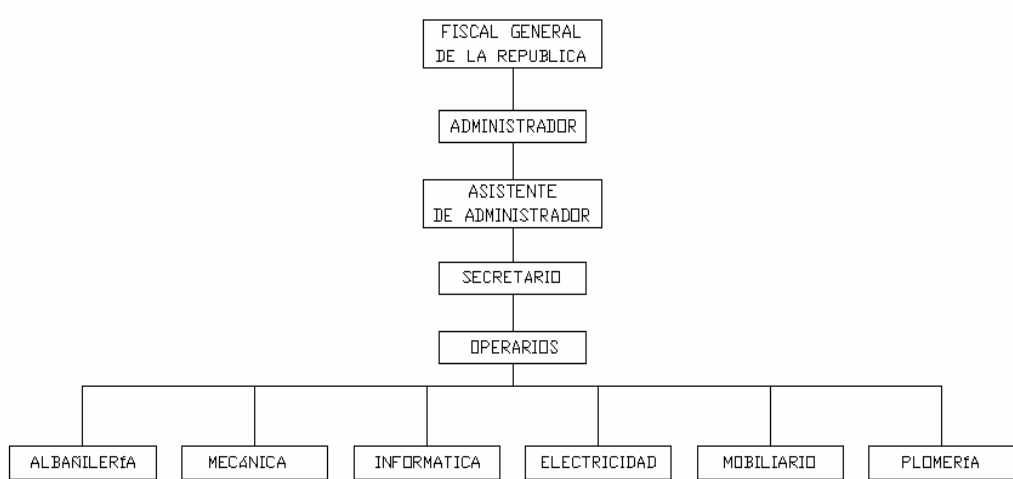
#### **1.1.4.1 Misión y visión**

**Misión:** ser un departamento efectivo y confiable, que vele por el mantenimiento del edificio, ejerciendo acciones preventivas y correctivas para aprovechar la vida útil de los equipos.

**Visión:** ser un departamento profesional que vele por el buen funcionamiento edificio, con un potencial en el personal para efectuar acciones inmediatas en el mantenimiento preventivo y correctivo.

### 1.1.4.2 Estructura del departamento de mantenimiento

Figura 3. Organigrama del departamento de mantenimiento



Fuente: Ministerio Público de Guatemala

### 1.1.4.3 Responsabilidades del departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento tiene a cargo la responsabilidad de velar por el funcionamiento efectivo de las instalaciones del edificio, así como la planificación, organización, dirección y control del mantenimiento.

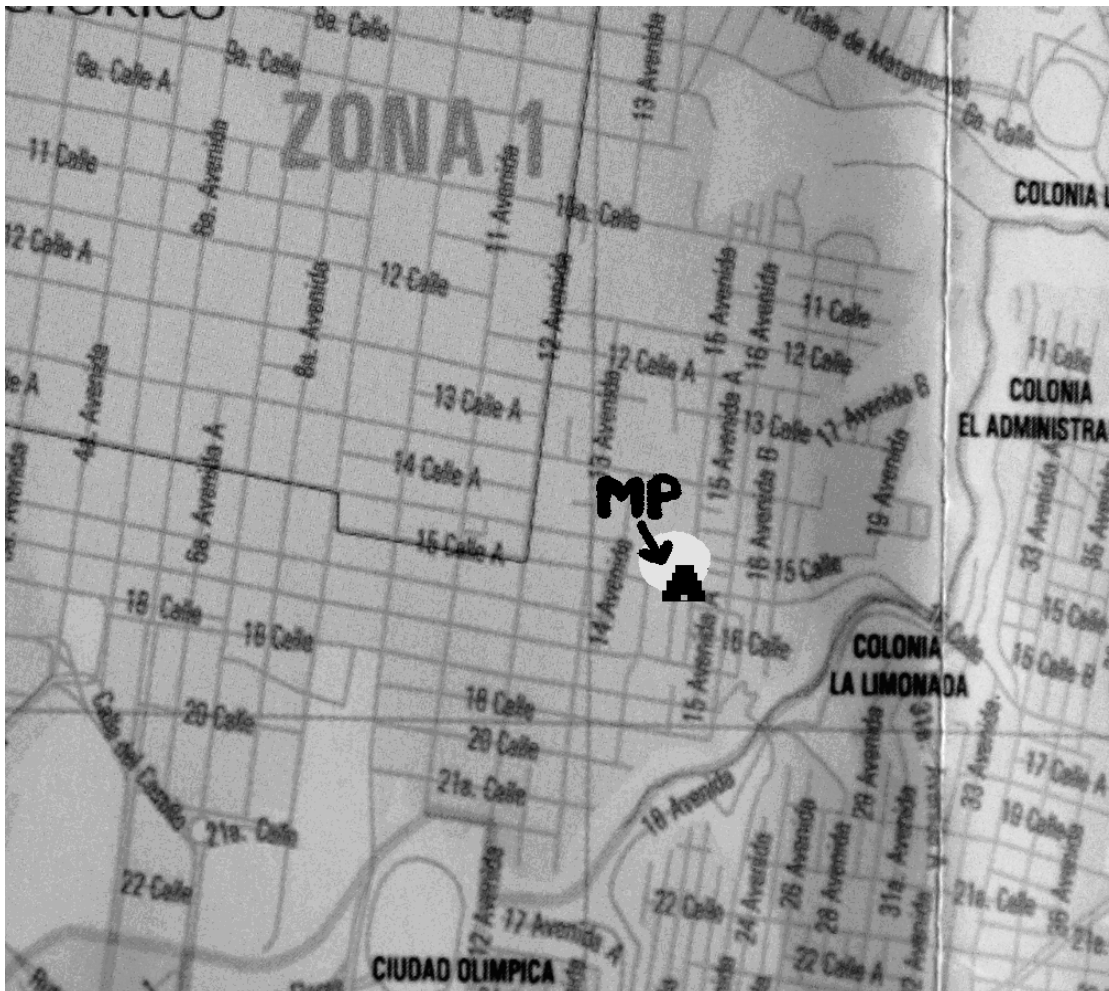
#### **1.1.4.4 Tipos de trabajo en el departamento de mantenimiento**

Los trabajos que se tienen contemplados para el departamento de mantenimiento tienen diversidad de aplicaciones, el administrador y el asistente del administrador tienen a cargo la planificación de los mantenimientos para todo el edificio, los mantenimientos contemplados son: preventivos y correctivos, para los distintos equipos y servicios que cuenta el edificio, el área eléctrica que abarca los cuartos eléctricos, subestaciones, planta de emergencia, iluminación general, fuerza normal y regulada, el área mecánica que contempla el sistema de aire acondicionado, sistemas de bombeo, escaleras eléctricas, ascensores, mantenimiento del edificio, el área civil abarca los sistemas de plomería drenaje agua pluvial, aguas negras, agua potable y coordinación con el área mecánica para trabajos de mantenimiento del edificio, el área de informática que se encarga del sistema de cableado estructurado, sonido, informática, cámaras, automatización de equipos eléctricos y el área de mobiliario que se encarga del mantenimiento del mobiliario del edificio.

#### **1.1.5 Descripción de la construcción en las instalaciones del edificio**

El edificio del Ministerio Público se ubica en la 15 calle y 15 avenida esquina Zona 1, Barrio Gerona, Ciudad de Guatemala, con una altitud de 4882.31 pies sobre el nivel del mar y una latitud de 15°. Actualmente el edificio cuenta con 2 sótanos, 8 niveles y azotea. En los sótanos cuenta con área de parqueo, desde los niveles del 1 al 8 cuentan con fiscalías y la azotea esta equipado con un helipuerto.

Figura 4. Ubicación geográfica del edificio del Ministerio Público



Fuente: TURANSA. Mapa turístico.

### 1.1.6 Oscilación de la temperatura dentro y fuera del edificio

El promedio de la temperatura dentro del edificio

Temperatura de bulbo seco 79.8 °F.

Temperatura de bulbo húmedo 65.8 °F.

Para la temperatura de diseño exterior se tiene contemplado 95 °F de bulbo seco, temperatura máxima registrada en los últimos 5 años:

**Tabla I. Temperaturas máximas extremas en Guatemala**

Año	Ciudad de Guatemala	Puerto San José	Retalhuleu	Zacapa
2000	29.8°C	40°C	37.4°C	40.5°C
2001	30.4°C	38°C	37°C	40°C
2002	30.2°C	37°C	37°C	40.5°C
2003	33.5°C	37.2°C	38°C	42.6°C
2004	32.6°C	39.5°C	38.8°C	42°C

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología  
INSIVUMEH

### 1.1.7 Superficie de cada sector

Para calcular la carga térmica del sistema se necesita conocer el área a acondicionar además conocer el área del piso, cielo falso, paredes, puertas etc.

**Tabla II. Áreas de agencia 10, paredes**

AGENCIA 10	ÁREA	ÁREA
	m <sup>2</sup>	pies <sup>2</sup>
SALA DE JUNTAS		
PARED OESTE VIDRIO	0	0
PARED OESTE BLOCK	12	129.1
PARED SUR BLOCK	8.4	90.37
PARED ESTE BLOCK	12	129.1
PARED NORTE Y PUERTA VIDRIO	5.2	55.94
PARED NORTE BLOCK	1.3	13.99
AGENTE FISCAL	ÁREA	ÁREA
	m <sup>2</sup>	pies <sup>2</sup>
PARED OESTE BLOCK	13.5	145.24
PARED SUR Y PUERTA VIDRIO	7.8	83.92
PARED ESTE TABLAYESO	11.7	125.87
PARED NORTE BLOCK	7.8	83.92
AGENCIA 10 TOTAL	ÁREA	ÁREA
	m <sup>2</sup>	pies <sup>2</sup>
PARED OESTE BLOCK	10.4	111.89
PARED OESTE TABLA YESO	10.4	111.89
PARED SUR BLOCK	19.5	209.79
PARED SUR TABLAYESO	9.62	103.5
PARED SUR VIDRIO	5.2	55.94
PARED ESTE VIDRIO	9.62	103.5
PARED ESTE TABLAYESO	11.7	125.87
PARED NORTE TABLAYESO	26	279.72
PARED NORTE BLOCK	7.8	83.92

**Tabla III. Áreas de agencias, planta**

DESCRIPCIÓN	ÁREA	ÁREA
	m <sup>2</sup>	p <sup>2</sup>
AGENCIA 10	109.83	1181.60
AGENCIA 11	84.74	911.67
AGENCIA 12	88.31	950.07
AGENCIA 13	84.74	911.67
AGENCIA 14	88.31	950.07
AGENCIA 15	84.74	911.67
AGENCIA 16	101.99	1097.25
AGENCIA 17	101.42	1091.12

### Continuación

AGENCIA 18	101.42	1091.12
AGENCIA 19	101.42	1091.12
AGENCIA 20	101.61	1093.16
AGENCIA 21	106.48	1145.55
AGENCIA 22	112.23	1207.42
AGENCIA 23	108.65	1168.90
AGENCIA 24	111.60	1200.64
AGENCIA 25	111.60	1200.64
AGENCIA 26	1129.00	12146.23
AGENCIA 27	96.98	1043.35
AGENCIA 28	120.43	1295.63
AGENCIA 29	119.56	1286.27
AGENCIA 30	109.42	1177.18
AREA DE ARCHIVO 4G	102.29	1100.48
FISCALIA DE GUATEMALA	152.09	1636.25

#### 1.1.8 Cargas de enfriamiento mínimo y máximo, para las distintas áreas a acondicionar

Para calcular la carga de enfriamiento del sistema a acondicionar es necesario conocer la temperatura exterior crítica, la conductividad térmica de los materiales del edificio, cantidad de renovación de aire, latitud y altitud del edificio. Y son ocasionadas por varias fuentes que pueden ser por medio de: radiación solar, alumbrado, conducción, convección, personas, equipo e infiltración.



Para hallar la carga máxima de enfriamiento en las paredes y techo de una construcción se analiza la generación de calor para distintas horas del día y posición del edificio (este, oeste, norte y sur) se debe conocer la conductividad de los materiales de construcción para determinar la carga que generan, por ejemplo para una pared oeste, la carga máxima se halla en horas de la tarde cuando la radiación en las paredes es mayor y mínima en la mañana porque no hay radiación directa en las paredes del edificio, y para una pared este, la carga máxima se encuentra en horas de la mañana y mínima en la tarde.

La carga térmica total es la suma de calor sensible y latente debido a todos los componentes en el edificio, la carga sensible son todas aquellas cargas que se generan con el aumento de temperatura y la carga latente es aquella que se genera con la adición de vapor de agua sin cambio de temperatura.

**Tabla IV. Factores de sombra para aleros**

Latitud	24°				32°				40°			
	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.
(Mirando hacia N)	–	–	–	0.58	–	–	–	0.63	–	–	–	0.83
NE	1.89	–	–	–	2.17	–	–	–	2.13	–	–	–
E	1	–	–	–	0.97	–	–	–	0.89	–	–	–
SE	0.93	4.55	–	–	1	3.33	–	–	0.86	2.33	–	–
S	4.35	3.57	4.35	–	2.63	2.38	2.63	–	1.85	1.59	1.85	–
SO	–	4.55	0.93	–	–	3.33	1	–	–	2.33	0.86	–
O	–	–	1	–	–	–	0.97	–	–	–	0.89	–
NO	–	–	1.89	–	–	–	2.17	–	–	–	2.13	–

Fuente: Mario Humberto Roldan Muñoz. **Tesis. Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel 3 del edificio General de Administración de la ciudad universitaria zona 12.** Pág. 51

**Tabla V. Factores de ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios btu/h-pie<sup>2</sup>**

Latitud	24				32				40			
	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.
(Mirando hacia)	–	–	–	0.58	–	–	–	0.63	–	–	–	0.83
N (para sombra)	28	37	33	12	27	36	32	14	25	34	30	15
NE	135	47	32	9	118	41	31	9	101	36	30	10
E	202	71	32	9	202	70	31	9	199	68	30	10
SE	153	83	33	9	168	107	45	9	181	131	34	10
S	32	68	48	9	41	104	71	11	59	141	98	14
SO	26	50	147	65	25	64	168	98	24	84	187	90
O	26	39	171	100	25	38	168	115	24	36	165	129
NO	26	38	153	76	25	36	82	85	24	34	65	92
Horizontal	153	267	215	39	150	256	207	41	142	239	194	42

Fuente: Mario Humberto Roldan Muñoz. **Tesis. Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel 3 del edificio General de Administración de la ciudad universitaria zona 12.** Pág. 51

**Tabla VI. Factores de transmisión de calor para vidrios, caso 1**

TIPO DE VIDRIO	VALOR U*		
	VERANO		INVIERNO
	SIN SOMBRA	CON SOMBRA	
Vidrio sencillo	1.06	0.81	1.13
Vidrio doble (1/4" con espacio de aire)	0.61	0.52	0.65
Ventana corriente+ventana para tormentas	0.54	0.47	0.56

Fuente: Mario Humberto Roldan Muñoz. **Tesis. Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel 3 del edificio General de Administración de la ciudad universitaria zona 12.** Pág. 52

**Tabla VII. Factores de transmisión de calor para vidrios, caso 2**

TIPO DE VIDRIO	Sin sombra	Con sombra(persiana veneciana cerrada, cortinas forradas o cortinas de enrollar)
Vidrio plano (1/8")	1	0.64
Vidrio plano (1/4")	0.95	0.64
Vidrio que absorbe calor o con algún color (3/16")	0.72	0.57
Vidrio reflectivo (1/4")	0.3-0.6	0.25-0.5
Vidrio claro con película reflectiva aplicada por el lado interior	0.25-0.45	0.21-0.35
Vidrios dobles		
Vidrio claros (1/8")	0.9	0.57
Vidrio claros (1/4")	0.83	0.57
película que absorbe calor en el exterior, vidrio claro en el interior	0.56	0.39

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **System Design Manual, Load Estimating.** Pág. 1-53

**Tabla VIII. Factores de transmisión de calor valores de U Btu/h-pie<sup>2</sup>-°F, caso 1**

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" -2¾")	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	0.1	0.1
Con aislamiento R-11	0.07	0.07

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos.** Pág. 478

## Continuación

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	0.3
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el envez (½"): sin aislamiento	0.29	0.3
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 pares 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
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pares 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 pares 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 pares 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
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pares 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

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 478

**Tabla IX. Factores de transmisión de calor valores de U Btu/h-pie<sup>2</sup>-°F, caso 2**

Construcción	Valor U	
	verano	invierno
PARTICIPACIONES		
Estructura (½" placas de asbesto-cemento en un lado solamente)		
Sin aislamiento	0.55	0.55
Estructura (½" placas de asbesto-cemento en ambos lados):		
Sin aislamiento	0.31	0.31
Con aislamiento R-11	0.08	0.08
Mampostería (bloques de material volcánico de 4")		
Sin aislamiento, sin terminado	0.40	0.40
Sin aislamiento, un lado con placas forradas de asbesto-cemento (½")	0.26	0.26
Sin aislamiento, ambos lados con placas forradas de asbesto-cemento (½")	0.19	0.19
Un lado con placas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y con placas de pared de asbesto-cemento (½")	0.13	0.13
CIELOFALSO-PISO		
Estructura (losas de asfalto para piso 5/8" de triplex, 25/32" X subpiso de madera cielo falso terminado):		
Calor fluyendo hacia arriba	0.23	0.23
Calor fluyendo hacia abajo	0.20	0.19
Concreto (losas de asfalto para piso, cubierta de concreto de 4", espacio de aire cielo falso terminado):		
Calor fluyendo hacia arriba	0.34	0.33
Calor fluyendo hacia abajo	0.26	0.25
TECHO (techo plano, sin cielo falso terminado)		
Cubierta de acero:		
Sin aislamiento	0.64	0.86
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.23	0.25
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.15	0.16
Cubierta de madera de 1"		
Sin aislamiento	0.40	0.48
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.19	0.21
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera, 2.5":		
Sin aislamiento	0.25	0.28
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.10	0.11
Cubierta de madera de 4":		
Sin aislamiento	0.17	0.18
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.12
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.09

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 479

## Continuación

TECHO-CIELO FALSO (techo plano, cielo falso terminado)		
Cubierta de acero:		
Sin aislamiento	0.33	0.40
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera de 1"		
Sin aislamiento	0.26	0.29
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.11
Cubierta de madera, 2.5":		
Sin aislamiento	0.18	0.20
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.13
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.10
Cubierta de madera de 4":		
Sin aislamiento	0.14	0.15
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.10	0.10
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.08	0.08
Cubierta de concreto liviano de 4"		
Sin aislamiento	0.14	0.15

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 479

Para la ganancia de calor debido a personas.

Para actividades de oficina, hoteles, apartamentos, colegios, instituciones privadas y gubernamentales. A una temperatura interior 75 °F bulbo seco el calor sensible es de 245 Btu/h y el calor latente es de 205 Btu/h por persona.

Estos valores son extraídos de la página 1-100 *Carrier Air Conditioning Company, System Design Manual, Load Estimating*.

**Tabla X. Diferencias de temperatura equivalentes para ganancias de calor a través de techos planos**

CONSTRUCCIÓN DEL TECHO	HORA ESTÁNDAR							
	a.m.				p.m.			
	9		12		3		6	
	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro
<b>CONSTRUCCIÓN LIVIANA</b>								
Cubierta de acero con aislamiento de 1 a 2"	34	14	81	42	90	50	56	34
Estructura de madera de 1" con aislamiento de 1 a 2"	19	6	65	32	88	48	70	40
Estructura de madera de 2.5" con aislamiento de 1 a 2"	7	1	38	17	68	35	73	40
<b>CONSTRUCCIÓN MEDIANA</b>								
Estructura de madera de 4" con aislamiento de 1 a 2"	8	1	21	8	44	19	60	32
Concreto liviano de 4" (sin aislamiento)	8	1	40	17	70	36	75	41
Concreto pesado de 2" con 1 a 2" de aislamiento	8	1	40	17	70	36	75	41
Concreto liviano de 6 a 8" (sin aislamiento)	32	62	19	41	6	16	1	4
<b>CONSTRUCCIÓN PESADA</b>								
Concreto pesado de 4" con aislamiento de 1 a 2"	11	3	21	8	39	19	53	28
Concreto pesado de 6" con aislamiento de 1 a 2"	18	9	21	9	33	15	44	22
<b>TECHOS BAJO LA SOMBRA</b>								
Liviano	3		11		18		17	
Medianos	2		7		15		17	
Pesados	3		5		11		15	

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 482

**Tabla XI. Diferencias equivalentes de temperatura para paredes soleadas y sombreadas**

Construcción de la pared	Hora estándar	NE		E		SE		S		SO		O		N	
		oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro
Construcción liviana	9 a.m.	28	17	35	20	29	17	16	10	18	12	18	12	14	16
	Mediodía	27	17	38	22	38	13	27	17	24	15	24	15	17	15
	3 p.m.	24	17	29	20	31	21	32	21	37	24	34	24	20	12
	6 p.m.	23	17	26	19	26	18	26	18	41	25	47	25	21	9
construcción medio liviana	9 a.m.	12	8	14	9	11	7	6	4	8	5	9	6	7	5
	Mediodía	25	14	34	18	27	15	11	7	9	7	9	6	9	4
	3 p.m.	29	18	35	23	39	22	26	16	21	16	18	12	15	11
	6 p.m.	30	20	37	24	39	25	36	24	41	24	38	25	29	20
Construcción medio-pesada	9 a.m.	14	11	17	13	16	12	14	12	18	12	20	16	17	11
	Mediodía	17	11	21	14	19	12	13	10	15	10	16	11	14	10
	3 p.m.	21	14	28	19	25	15	16	11	14	11	17	11	14	10
	6 p.m.	25	16	32	19	30	18	23	15	23	15	22	15	18	12
Construcción pesada	9 a.m.	20	14	26	16	23	15	20	16	24	16	26	17	21	15
	Mediodía	19	13	24	15	22	14	19	15	24	15	24	16	20	14
	3 p.m.	20	13	24	16	22	15	18	14	22	14	23	15	19	13
	6 p.m.	20	14	26	16	25	16	19	14	22	14	23	15	18	13

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 481



#### NOTAS:

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

Fuente: ASHRAE-1972. **Manual de Fundamentos**. Pág. 481

#### **1.1.9 Variación del calor sensible y latente dentro de cada área**

Para hallar la variación de calor sensible y calor latente se debe clasificar de la siguiente manera:

##### Calor sensible

Conducción por medio de paredes, techo y vidrios al exterior.

Conducción por medio de divisiones internas, cielo falso y piso.

Radiación solar por medio de vidrios.

Alumbrado.

Personas.

### Calor latente

Personas.

Equipos.

Renovación de aire del exterior.

Infiltración del aire exterior por medio de aberturas.

La ecuación para el cálculo de calor por medio de conducción se define como:

$$Q=UxAxDT$$

Q=ganancia de calor por medio de conducción a través del techo, paredes o vidrio, BTU/h

U=coeficiente de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios, BTU/h-pies<sup>2</sup>-°F

A=área del techo, paredes o vidrios, pies<sup>2</sup>

DT=diferencia de temperatura, °F

Para el cálculo de carga debido a la radiación solar se define con la relación matemática:

$$Q=Fac.xA$$

Fac.=factor de transmisión de calor por radiación solar en Btu/h-pie<sup>2</sup>

Para el cálculo de carga debido a lámparas fluorescentes se define como:

1 tubo fluorescente aproximadamente consume 40 watts, (1 watts aproximadamente es igual a 3.4 Btu/h)

$$Q = N_o \text{Tubos} \times 3.4$$

$N_o \text{Tubos}$  = número de tubos fluorescentes

Un equipo computador aproximadamente consume 400 watts

Y para el cálculo de la renovación de aire se utiliza la siguiente tabla:

**Tabla XII. Caudales de aire exterior**

RENOVACIÓN DE AIRE		m3/h por persona	
Aplicación	Numero de fumadores	Recomendada	Mínima
Barbería	Grande	25	17
Salón de belleza	Muy pequeño	17	13
Apartamento normal	Pequeño	34	25
Apartamento normal	Muy pequeño	51	42
Bar	Grande	51	42
Grandes almacenes	Pequeño	13	8.5
Farmacia	Grande	17	13
Hospital quirófano	Ninguno	0	0
Hospital habitación privada	Ninguno	51	42
Sala de conferencia	Muy grande	85	51
Despacho común	Pequeño	25	17
Despacho privado	Ninguno	42	25
Despacho privado	Grande	51	42
Aula	Ninguno	0	0
Teatro o sala de cine	Ninguno	13	8.5
Teatro o sala de cine	Pequeño	25	17

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **Handbook of air conditioning system design.**

Pág. 1-91

**Tabla XIII. Datos de carga térmica agencia No. 10, sala de juntas**

	AREA M <sup>2</sup>	AREA P <sup>3</sup>	FACTOR	DT	QS	QL	QT
PARED OESTE VIDRIO		0	165		0		0
PARED OESTE BLOCK	12	129.10	0.49	16	1012.15		1012.15
PARED SUR BLOCK	8.4	90.37	0.49		708.51		708.51
PARED SUR TABLAYESO		0	0.45		0.00		0.00
PARED ESTE VIDRIO		0	0.95		0.00		0.00
PARED ESTE TABLAYESO		0	0.45		0.00		0.00
PARED ESTE BLOCK	12	129.10	0.49	16	1012.15		1012.15
PARED NORTE Y PUERTA VIDRIO	5.2	55.94	0.95	16	850.34		850.34
PARED NORTE TABLAYESO		0.00	0.45		0		0.00
PARED NORTE BLOCK	1.3	13.99	0.49	16	109.65		109.65
		CANTIDAD	FACTOR	WATTS			
LAMPARAS		2	3.4	40	272		272
COMPUTADORAS		1	3.4	400	1360		1360
PERSONAS	CANTIDAD	1	CALOR				
CALOR SENSIBLE			245		245		245
CALOR LATENTE			205			205	205
				SUB-TOTAL	5569.80	205	5774.80
AGENTE FISCAL							
	AREA M2	AREA P2	FACTOR	DT	QS	QL	QT
PARED OESTE VIDRIO		0	165		0		0
PARED OESTE BLOCK	13.5	145.24	0.49	16	1138.67		1138.67
PARED SUR BLOCK		0	0.49	16	0.00		0.00
PARED SUR TABLAYESO		0	0.45	16	0.00		0.00
PARED SUR Y PUERTA VIDRIO	7.8	83.92	0.95	16	1275.52		1275.52
PARED ESTE VIDRIO		0	0.95	16	0.00		0.00
PARED ESTE TABLAYESO	11.7	125.87	0.45	16	906.29		906.29
PARED ESTE BLOCK		0.00	0.49	16	0.00		0.00
PARED NORTE VIDRIO		0.00	0.95	16	0.00		0.00
PARED NORTE TABLAYESO		0.00	0.45		0		0.00
PARED NORTE BLOCK	7.8	83.92	0.49	25	1027.97		1027.97
		CANTIDAD	FACTOR	WATTS			
LAMPARAS		2	3.4	40	272		272
COMPUTADORAS		1	3.4	400	1360		1360

### Continuación

PERSONAS	CANTIDA D	1	CALOR				
CALOR SENSIBLE			245		245		245
CALOR LATENTE			205			205	205
				SUB-TOTAL	6225.44	205	6430.44
AGENCIA 10 TOTAL							
	AREA M2	AREA P2	FACTO R	DT	QS	QL	QT
PAREDES							
PARED OESTE VIDRIO		0	165		0		0
PARED OESTE BLOCK	10.4	111.89	0.49	16	877.20		877.20
PARED OESTE TABLA YESO	10.4	111.89	0.45	16	805.59		805.59
PARED SUR BLOCK	19.5	209.79	0.49	16	1644.74		1644.74
PARED SUR TABLAYESO	9.62	103.50	0.45	16	745.17		745.17
PARED SUR VIDRIO	5.2	55.94	0.95	16	850.34		850.34
PARED ESTE VIDRIO	9.62	103.50	0.95	16	1573.14		1573.14
PARED ESTE TABLAYESO	11.7	125.87	0.45	16	906.29		906.29
PARED ESTE BLOCK		0	0.49	16	0.00		0.00
PARED NORTE VIDRIO		0	0.95	16	0.00		0.00
PARED NORTE TABLAYESO	26	279.72	0.45	16	2013.97		2013.97
PARED NORTE BLOCK	7.8	83.92	0.49	25	1027.97		1027.97
CIELO FALSO							
		0		14	0		0
PISO							
		0			0		0
		CANTIDA D	FACTO R	WATTS			
LAMPARAS		20	3.4	40	2720		2720
COMPUTADORAS		1	3.4	400	1360		1360
FOTOCOPIADORA		1	3.4	1500	5100		5100
PERSONAS							
PERSONAS	CANTIDA D	7	CALOR				
CALOR SENSIBLE			245		1715		1715
CALOR LATENTE			205			143 5	1435
INFILTRACION							
	CFM	D(W2-W1)					
VENTILACION	220	15		16	3872	224 4	6116
PUERTA DOBLE	4.68	50.35	0.42	16	338.35		338.35
				SUB-TOTAL	25549.7 5	367 9	29228.7 5
				TOTAL	37344.9 9	408 9	41433.9 9

CARGA TÉRMICA TOTAL

$Q_s=37344.99$

$Q_l=4089$

$Q_T=41433.99$

$SHR=Q_s/Q_T$

$SHR=37344.99/41433.99$

$SHR=0.90$

### **1.1.10 Temperatura y humedad del aire dentro del edificio a un nivel confortable**

El confort o la comodidad es la sensación de satisfacción física relacionada con el entorno. Los sistemas de aire acondicionado se utilizan para producir confort o comodidad al ser humano, permite tener control sobre la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, el calor radiante, eliminación de partículas suspendidas y gases contaminantes.

El estudio de la comodidad en el ser humano esta relacionado con:

1. La forma en la que el cuerpo humano funciona respecto al calor; y
2. La manera en la que el área que rodea a una persona afecta a su sensación de comodidad.

La humedad, se refiere a la cantidad de agua contenida en el aire y se registra por sensaciones de humedad, está directamente relacionado con la sensación de confort. El aire ambiente se controla para mantener la humedad relativa preestablecida mediante la humidificación o deshumidificación del aire ambiente.

La temperatura a un nivel confortable oscila entre 72 °F a 76 °F y una humedad relativa de 50% a 55%, para que los ocupantes de una determinada área de trabajo se desempeñen adecuadamente.

#### **1.1.11 Inyección del aire de suministro**

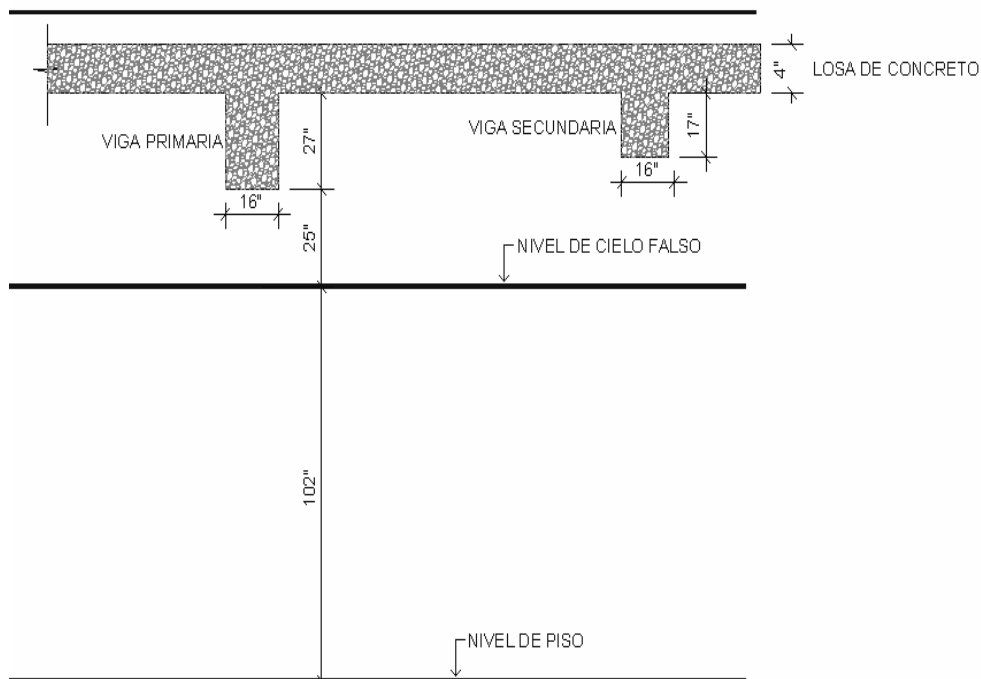
Para obtener el confort deseado, es necesario que el aire circule y sea distribuido uniformemente por todo el recinto, sin producir corrientes desagradables. La velocidad del aire desde la rejilla o difusor de impulsión hasta donde el aire alcanza una velocidad residual del orden de 0.66 pies/s a 0.82 pies/s. Las condiciones estructurales o cualquier otra situación desfavorable, resulta imposible disponer los difusores de una manera tan regular. Un espacio rectangular, hecho que puede servir de modelo, estará satisfactoriamente acondicionado si cumple la regla de que el radio de difusión máximo no supere al mínimo en más del 50% de su valor.

El caudal de aire por difusor se hallara dividiendo el caudal total de aire que sea necesario impulsar por el número de difusores.

#### **1.1.12 Detalles de las instalaciones del edificio, alturas del cielo falso y vigas**

A continuación se presenta el detalle de altura:

**Figura 5. Detalle de altura para vigas, cielo falso y nivel de piso**



Para instalar los distintos equipos de aire acondicionado, electricidad (canal eléctrica para fuerza normal y regulada), estructurado para voz y datos, tuberías de agua potable y drenaje es necesario, se debe tener un común acuerdo entre todos los contratistas para pasar por distintos puntos, que altura debe llevar cada uno, ya que a veces no se tiene espacio suficiente para pasar por ejemplo las tuberías de agua con canal eléctrica o ductería, por convenio se acordó que los sistemas de tubería de agua (agua fría, potable, pluvial y aguas negras) y ducto de aire acondicionado deben ir debajo de la tubería eléctrica, ducto barra, canal eléctrica y cableado estructurado.





## 2 FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

### 2.1 Sistema de ductería

#### 2.1.1 Dimensiones de los sistemas de ductería

En el acondicionamiento de aire, frecuentemente se utilizan sistemas de ductería, los materiales más utilizados son: lámina galvanizada y moldes de fibra de vidrio, aunque recientemente se utilice cobre, aluminio o acero inoxidable para la conducción de aire corrosivo como chimeneas de cocinas y de laboratorios químicos.

La SMACNA (*Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association*) ha establecido normas para fabricación de sistemas de ductería. Estas normas especifican los espesores (calibres) de lámina, los métodos para sujetar, reforzar y empalmar las piezas de ductería.

**Tabla XIV. Calibre de lámina galvanizada**

<b>DIMENSIÓN</b>	<b>CALIBRE</b>
Menor de 12"	No. 26
13" - 30"	No. 24
31" - 50"	No. 22
51" - 80"	No. 20

Fuente: SMACNA HVAC. **Duct construction standards**. Pág. 1-11

Los ductos rectangulares de lámina se usan con frecuencia en aplicaciones de baja presión (hasta 3 pulgadas de agua, presión estática). Para ductos de alta presión, se utiliza con frecuencia el ducto redondo o ducto rectangular de mayor espesor.

En los sistemas de ductería se deben de tomar en cuenta varias limitantes; antes de diseñar los sistemas, se necesita realizar un levantamiento de campo, revisar el peralte crítico del ducto, ubicación de las manejadoras de aire, revisar los planos de las instalaciones, electricidad, cableado estructurado, tuberías de drenaje, agua pluvial, agua potable, cielo falso, ubicación de lámparas, plano amueblado, tabiques, etc.

Para el cálculo de los sistemas de ductería se tienen dos métodos por los cuales se determinan las dimensiones del ducto, una denominada igual pérdida de carga o de igual fricción y el otro por velocidad constante. Con el método de igual fricción se proyecta la pérdida de carga por unidad de longitud, ordinariamente la pérdida de carga por cada 100 pies de ducto, para sistemas de ductería con lámina galvanizada el valor oscila entre 0.1 pulg. de H<sub>2</sub>O y 0.15 pulg. de H<sub>2</sub>O y el método de velocidad constante, se utiliza cuando se conoce la velocidad de circulación y el caudal de aire, en la actualidad existen varias instituciones internacionales como lo son SMACNA, ASHRAE, que ha creado normas con velocidades recomendadas para los sistemas de ductería.

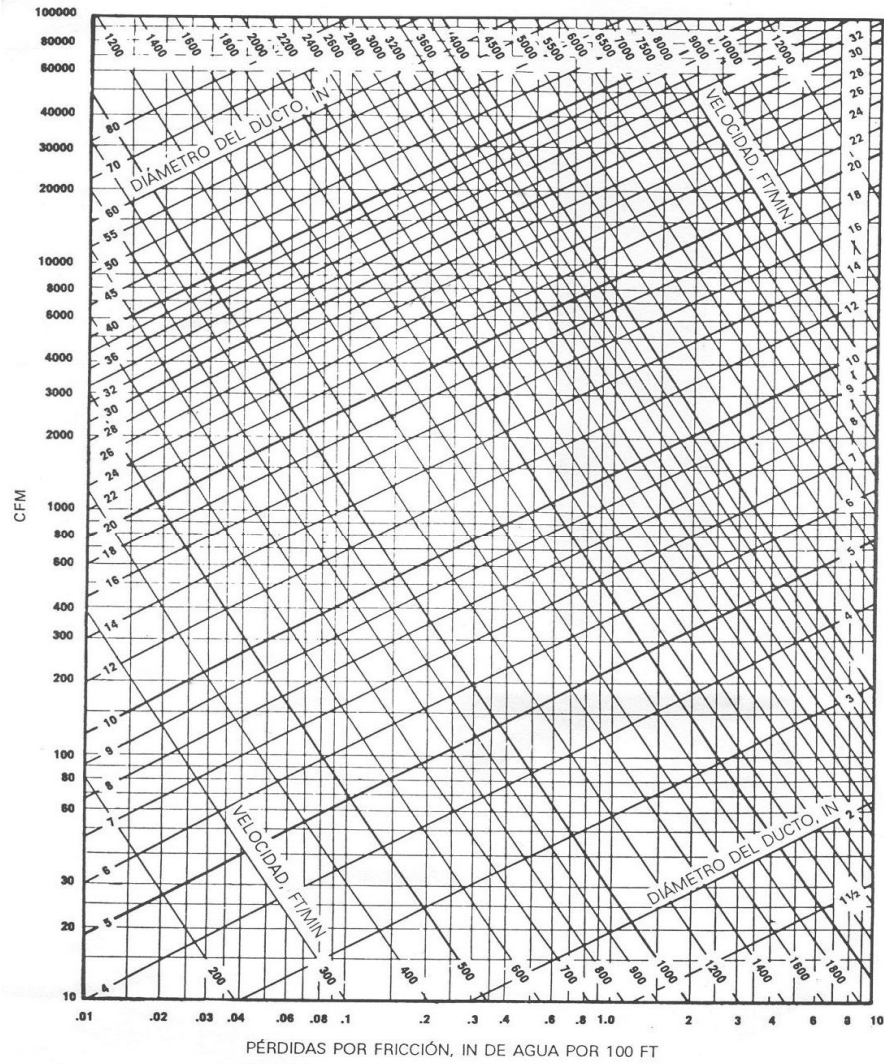
**Tabla XV. Velocidades en sistemas de ductería pies/min.**

APLICACIONES	Ducto principal		Ducto secundario	
	Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Apartamentos	1000	800	600	600
Teatros	1300	1100	1000	800
Bancos	2000	1500	1600	1200
Sala de hospital	1500	1300	1200	1000
Cuarto de hotel	1500	1300	1200	1000
Librerías	2000	1500	1600	1200
Residencias	1000	800	600	600
Restaurantes	2000	1500	1600	1200
Oficinas	2000	1500	1600	1200
Supermercados	2000	1500	1600	1200
Industrial	3000	1800	2200	1500

Fuente: ASHRAE Handbook. **System and equipment.** Pág. 2-37

Para dimensionar los sistemas existen tablas y gráficas de caída de presión para lámina galvanizada que se usa frecuentemente.

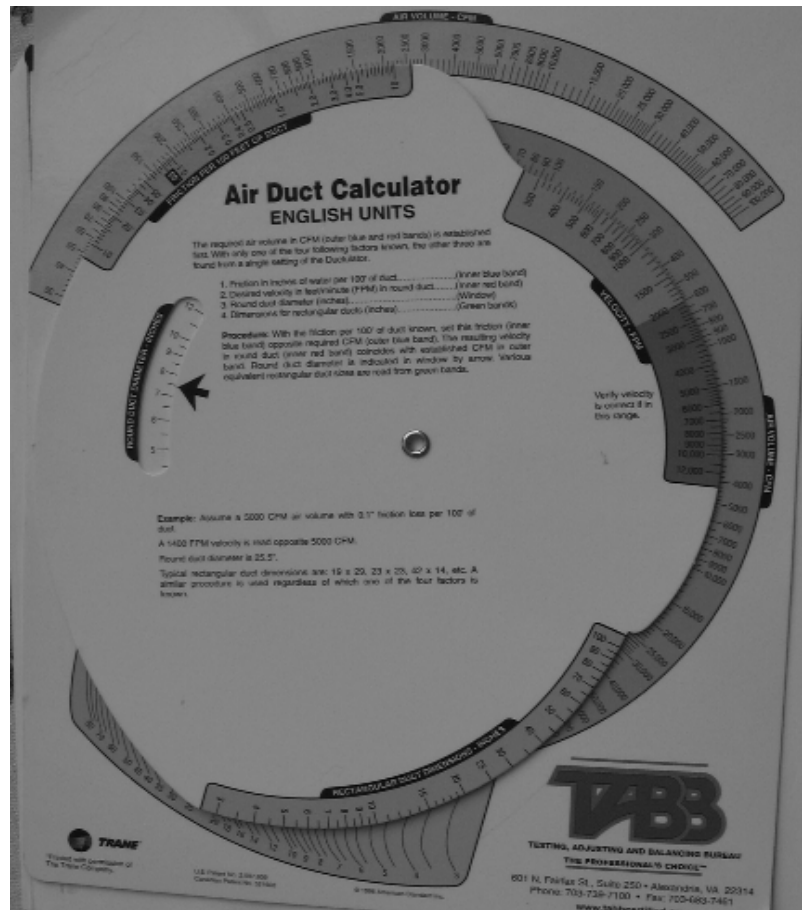
**Figura 6. Pérdidas por fricción para flujo de aire en ductos redondos de lámina galvanizada**



Fuente: Pita Edgard G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 234

A veces estos cálculos se disminuyen con el uso de un ductulador ver Figura 7, dicho ductulador se utiliza para el diseño de ductería redonda y rectangular, esta herramienta simplifica el trabajo ya que contiene todos los valores que utilizan las tablas de la SMACNA, ASHRAE, para el diseño de los sistemas.

**Figura 7. Ductulador sistema inglés**



Para calcular las dimensiones por medio del ductulador se pueden diseñar por el método de igual fricción por cada 100 pies de ducto recto, que consiste en determinar la fricción de diseño y el peralte crítico del sistema, se recomienda diseñar los sistemas con la mayor igualdad entre el ancho y el peralte para obtener un ducto cuadrado, para evitar mayores pérdidas de presión en el sistema. Y el método de velocidad se debe conocer la velocidad crítica de diseño ver Tabla XIV, y el caudal para determinar la dimensión del ducto.

$$V_A = Q_A \times 144 / (H \times W)$$

$V_A$  = velocidad del aire por el ducto, pies/min.

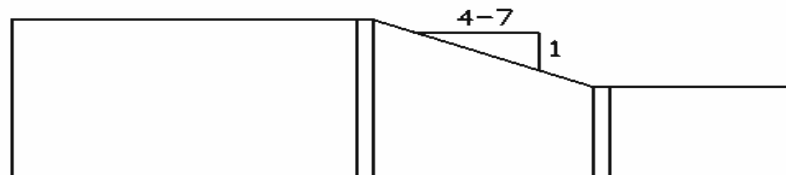
$Q_A$  = caudal de aire, CFM (pies cúbicos por minuto)

H = peralte del ducto, pulgadas

W = ancho del ducto, pulgadas

A continuación se presentan características de los accesorios utilizados en los sistemas de ductería, para estos sistemas se utiliza lámina galvanizada con los calibres antes descritos por Tabla XIII. La pendiente recomendada para las transiciones debe tener una relación de 4:1 y 7:1 para mantener mínima caída de presión en los sistemas.

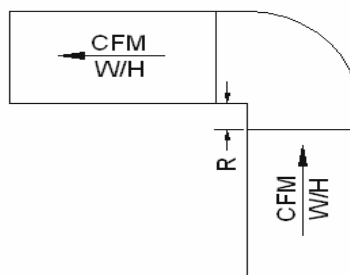
**Figura 8. Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, transición**



RELACION DE 4:1 A 7:1

Para la fabricación de codos de 90° y 45° el radio utilizado es de 4", para estos sistemas ver gráficas siguientes:

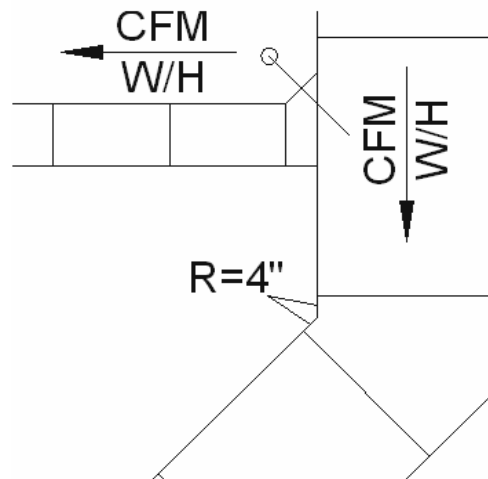
**Figura 9. Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, codo 90°**



—▶ =DIRECCION DEL FLUJO DE AIRE  
 CFM=PIES CUBICOS/MINUTO  
 W=ANCHO EN PULG  
 H=PERALTE EN PULG  
 R= RADIO (4")

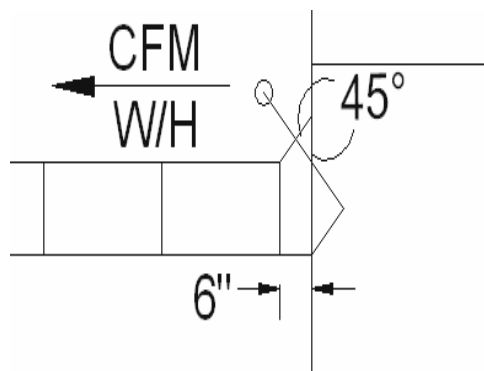


**Figura 10. Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, codo 45°**

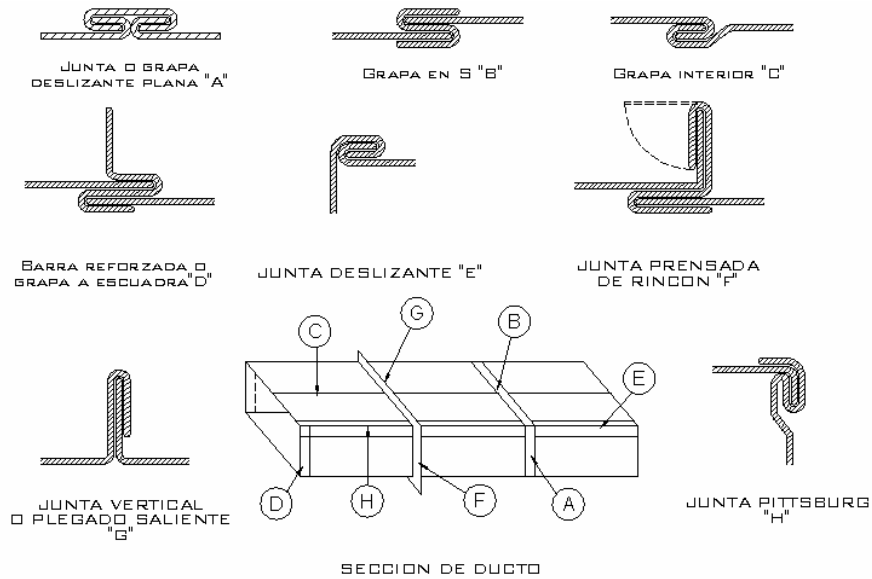


Para la fabricación de la tee convergente con entrada a 45° se minimiza la caída de presión en el sistema con relación a una tee convergente con entrada a 90°.

**Figura 11. Especificaciones de los accesorios de lámina galvanizada en ducto rectangular, tee convergente con entrada a 45°**



**Figura 12. Juntas transversales y refuerzos para ducto rectangular**



Fuente: SMACNA HVAC. **Duct construction standards**. Pág. 1-24 y 1-25

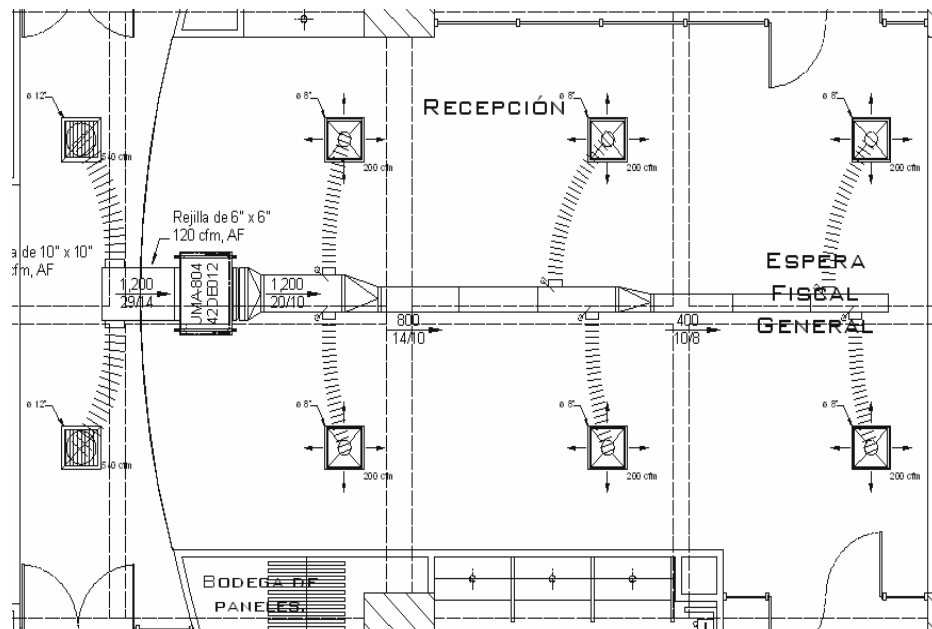
**Tabla XVI. Juntas transversales y refuerzos para ducto rectangular**

Dimensión mayor del ducto en pulg.	Calibre de lamina		Construcción recomendada para juntas transversales y refuerzos.
	Acero		
	Ducto	Grapa	
Hasta 24"	26	26	Grapa deslizante o grapa en "S", separada 48 pulg. o menos.
25" a 30"	24	24	Grapa deslizante o grapa en "S", separada 48 pulg. o menos.
31" a 60"	22	22	Grapa deslizante o grapa en "S", separada 48 pulg. o menos.
61" a 70"	20	20	Grapa deslizante reforzada o grapa a escuadra reforzada, separada 48 pulg. o menos, refuerzo de perfil angular en diagonal de 2"x2"x1/8" o cincho angular de las mismas dimensiones situada a mitad de distancia entre centros.

Fuente: SMACNA HVAC. **Duct construction standards**. Pág. 1-24 y 1-25

Para el diseño de los sistemas de ductería las especificaciones de diseño son peralte crítico de 10", el ducto debe ir debajo de tuberías eléctricas y tuberías de agua, el espacio entre el cielo falso y estructurado (el estructurado esta más bajo que la tubería eléctrica) es de 18" (la viga principal es de 27" y la viga secundaria de 17", la altura entre el piso y el cielo falso es de 8 ½').

**Figura 13. Ejemplo, ductería con caída de presión de 0.1" H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto recto**

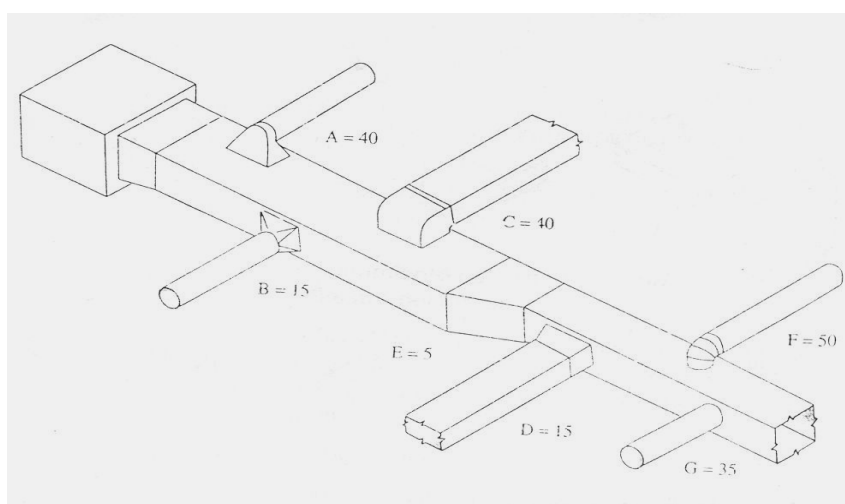


## 2.1.2 Pérdidas por fricción en los sistemas de ductería

La pérdida por fricción en estos sistemas se debe a la resistencia al paso del aire en los ductos rectos, codos, transiciones y derivaciones, los accesorios tienen una mayor pérdida que los recorridos rectos. Los sistemas de baja velocidad tienen aproximadamente una pérdida de presión de 0.08 pulg. de H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto a 0.15 pulg. de H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto, mientras que los sistemas de alta velocidad tiene una pérdida de 0.40 pulg. de H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto a 0.7 pulg. de H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto.

Para el cálculo de la caída de presión en los accesorios se utiliza el método de longitud equivalente, que consiste en sustituir o considerar al accesorio correspondiente como tramo recto de una determinada longitud equivalente que tenga igual pérdida de carga.

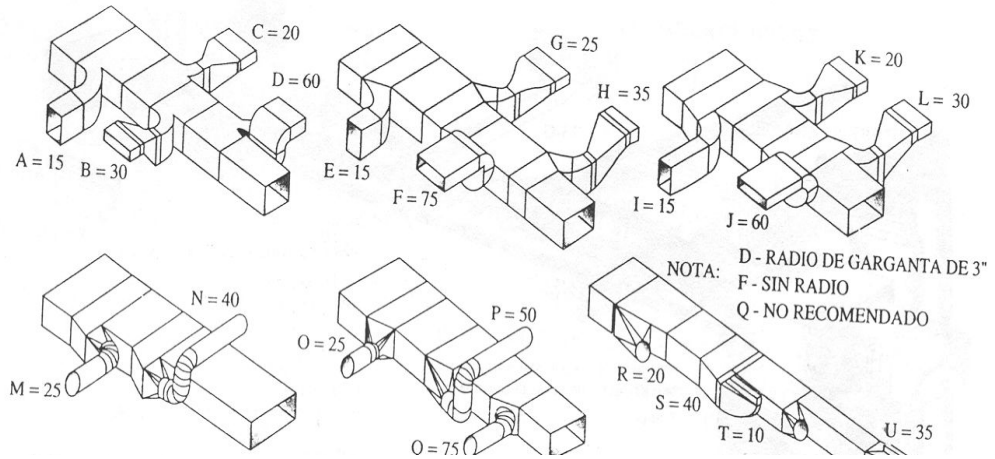
**Figura 14. Longitudes equivalentes, acoplamiento para plenos extendidos**



Fuente: Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de refrigeración y aire acondicionado Tomo II.**

Pág. 561

**Figura 15. Longitudes equivalentes, reducción de troncal a ductos**



Fuente: Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de refrigeración y aire acondicionado Tomo II.** Pág. 561

**Figura 16. Longitudes equivalentes, ángulos y codos para ductos troncales, caso 1**

ANCHO EN PULGADAS		LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES	
A	4 A 15	A=5	10
	16 A 27	A=10	15
	20 A 41	A=15	20
	42 A 52	A=20	25
	52 A 64	A=25	30

ANCHO EN PULGADAS		LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES	
B	4 A 11	B	15
	12 A 21	B	20
	26 A 33	B	25
	34 A 42	B	30
	42 A 51	B	40
	52 A 64	B	50

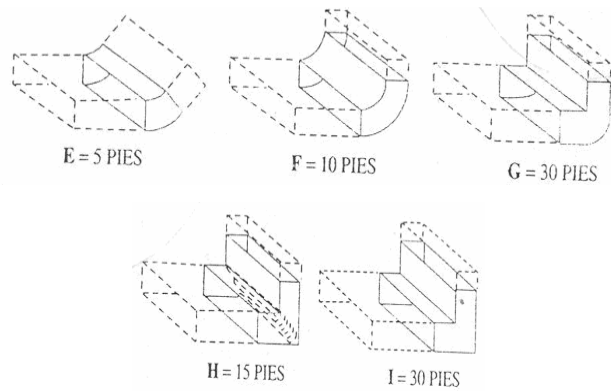
ANCHO EN PULGADAS		LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES	
C	4 A 6	C	30
	7 A 11	C	40
	12 A 15	C	55
	16 A 21	C	75
	22 A 27	C	100
	28 A 33	C	125
	36 A 42	C	150

ANCHO EN PULGADAS		LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES	
D	4 A 11	D	15
	12 A 21	D	20
	22 A 27	D	25
	28 A 42	D	40

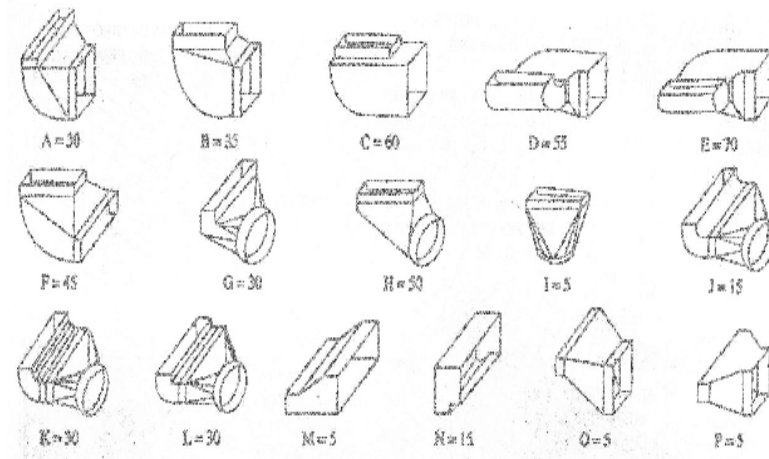
Fuente: Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de refrigeración y aire acondicionado Tomo II.** Pág. 564

**Figura 17. Longitudes equivalentes, ángulos y codos para ductos troncales, caso 2**



Fuente: Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de refrigeración y aire acondicionado Tomo II.**  
 Pág. 564

**Figura 18. Longitudes equivalentes para acoplamientos de bota**



Fuente: Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de refrigeración y aire acondicionado Tomo II.**  
 Pág. 565

Sumando la longitud de los tramos rectos y la longitud equivalente de los accesorios se obtiene la longitud total del sistema. Y para calcular la caída total del sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$ca_1 = ca_2 \times L$$

$ca_1$  = pérdida de presión, pulgadas de H<sub>2</sub>O

$ca_2$  = pérdida de presión, pulgadas de H<sub>2</sub>O por cada 100 pies de ducto recto

L = longitud de ducto recto, pies

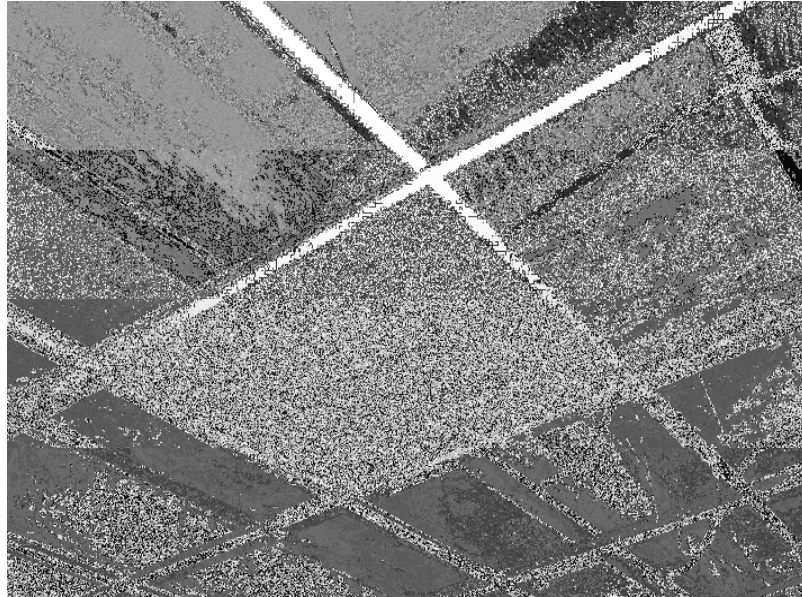
Tabla de dimensión y caída de presión de Figura 13 anterior de máquina 42DE012 con 1200 CFM de salida, por el método de igual caída de presión por cada 100 pies de ducto recto para lámina galvanizada.

**Tabla XVII. Ejemplo, ductería con caída de presión de 0.1 pulg. por cada 100 pies de ducto recto**

SECCIÓN	CAUDAL (CFM)	Pulg. de H <sub>2</sub> O $ca_2$	ANCHOXPERALTE (Pulg)	LONGITUD (Pies)	$ca_1$ en " de H <sub>2</sub> O
A-B	1200	0.1	20/10	4	0.004
B-C	800	0.1	14/10	12	0.012
C-D	400	0.1	10/8	3	0.003

Para los difusores la caída de presión se calcula mediante las Figuras 20 y 21 de caudal alcance medio y velocidad en el difusor, para los filtros y serpentines la caída de presión se obtiene por medio de tablas de especificaciones de manejadoras, que el fabricante proporciona para encontrar la caída total por manejadora.

**Figura 19. Difusor de 4 vías**

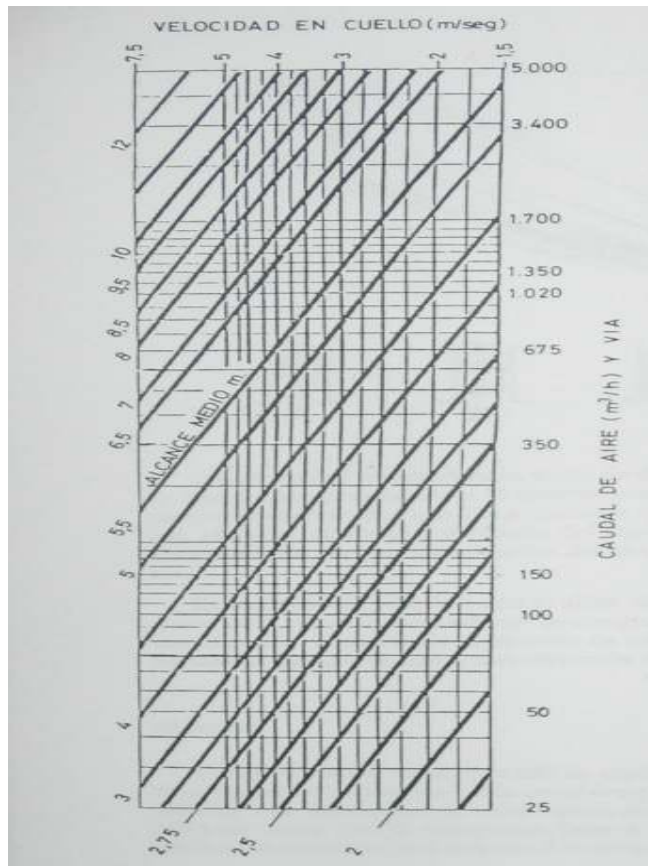


Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

Para los difusores de 4 vías o direcciones de salida del flujo de aire es obvio que lleva a cabo en dichas direcciones, la pérdida de carga viene determinada por la figura 20 que esta en función de la velocidad en el cuello, y según se corresponda con 1, 2, 3, y 4 vías. Para hallar la velocidad de cuello en el difusor se utiliza la figura siguiente:



**Figura 20. Velocidad en el cuello en función del alcance medio**



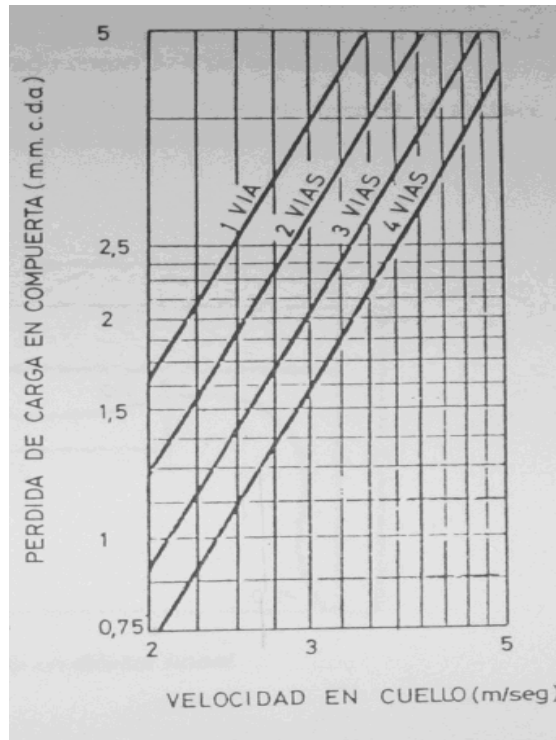
Fuente: Royo Carnicer, Enrique. **Aire acondicionado**. Pág. 124

La velocidad de cuello se encuentra intersectando el caudal de suministro y el alcance del difusor.

Se observa que con un flujo promedio en todos los sistemas es de 270 CFM (460 m<sup>3</sup>/h) para un difusor de 4 vías con un alcance promedio de 9 ½' (2.85 metros, alcance igual a la mitad de la distancia entre dos difusores contiguos) la velocidad necesaria en el cuello del difusor es de 374 pies/min. (1.9 m/s).

La pérdida de carga, que viene determinada por la siguiente figura:

**Figura 21. Pérdida de carga según el número de vías**



Fuente: Royo Carnicer, Enrique. **Aire acondicionado**. Pág. 125

Para encontrar la pérdida se relaciona la velocidad en el cuello y el número de vías que tiene el difusor (1, 2, 3 y 4 vías). Para un difusor de cuatro vías y una velocidad en el cuello de 374 pies/min. la pérdida es de 0.0295 pulg. de H<sub>2</sub>O (0.75 m.m. H<sub>2</sub>O). Siempre se debe consultar el catálogo del fabricante donde figuren las secciones, así se podrá averiguar las características del difusor que corresponda.

Comprobando que el nivel sonoro y velocidad en el cuello se halle dentro de los límites tolerables ver valores de tabla siguiente:

**Tabla XVIII. Velocidad máxima recomendada en el cuello (pies/min.)**

Aplicaciones	Caudal total por difusor CFM		
	150	580	2000
Estudios de radio	500	390	300
Estudios de sonido			
Salas de concierto			
Salas de conferencias	780	600	
Escuelas, teatros			
Salas de cine, hospitales e iglesias			
Oficinas	1000	780	600
Hoteles			
Restaurantes	1200	880	600
Oficinas			
Edificios públicos			
Cocinas	1400	1000	780
Garajes			
Gimnasios			
Fabricas(industria ligera)	1500	1200	1000
Fabricas(industria pesada)	2300	2000	1600

Fuente: Royo Carnicer, Enrique. **Aire acondicionado**. Pág. 123

**Tabla XIX. Pérdida de presión por filtro y serpentín, filtro de 2" de grosor, manejadoras de aire 40RMS**

Especificación técnica	Caudal CFM	Filtro pulg. de H <sub>2</sub> O	Serpentín pulg. de H <sub>2</sub> O	Caída total pulg. de H <sub>2</sub> O
40RMS008	3000	0.11	0.17	0.28
40RMS012	4000	0.17	0.26	0.43

Fuente: Manual Carrier. **Installation, star-up and service instructions, packaged air-handling units**. Pág. 39

**Tabla XX. Pérdida de presión por filtro y serpentín, filtro de 2" de grosor, manejadoras de aire 42DE**

ESPECIFICACIÓN	Caudal	Filtro	Serpentín	Caída total
TÉCNICA	CFM	"H <sub>2</sub> O	"H <sub>2</sub> O	"H <sub>2</sub> O
42DE006	600	0.02	0.03	0.05
42DE012	1200	0.04	0.06	0.10
42DE020	2000	0.09	0.14	0.23

Fuente: Manual Carrier. **Installation, star-up and service instructions, packaged air-handling units.** Pág. 45

**Tabla XXI. Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-205**

ACCESORIOS					Tee con entrada a 45° con <i>damper</i>				
UMA-205		40RMS012							
Codos 90					Conectores con <i>damper</i>				
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	Pulg.	PIES				Pulg.	PIES		
1	30	125	0.1	0.13				0.1	0
1	24	100	0.1	0.10		Diámetro		0.1	0
1	16	75	0.1	0.08	12	10	180	0.1	2.16
1	10	40	0.1	0.04				0.1	0
<b>SUB-TOTAL</b>		340		<b>0.34</b>	<b>SUB-TOTAL</b>	180			<b>2.16</b>
Transiciones					Acople suministro				
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	Pulg.	PIES				Pulg.	PIES		
1	30	5	0.1	0.01	1	36	35	0.1	0.04
2	24	10	0.1	0.02	Acople retorno				
1	20	5	0.1	0.01	1	22	40	0.1	0.04
1	10	5	0.1	0.01	1	18	40	0.1	0.04
1	22	5	0.1	0.01					0.00
1	18	5	0.1	0.01					0.00
<b>SUB-TOTAL</b>		35		<b>0.05</b>	<b>SUB-TOTAL</b>	115			<b>0.08</b>

**Tabla XXII. Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores, manejadora  
UMA-205**

Total de difusores	Total de rejillas	Total de ducto flexible	Total Difusores y rejillas	AP"CA/100	Difusores y Rejillas
		pies			AP"ca
12	5	42.5	17	0.019	0.323

Total de longitud equivalente, manejadora UMA-205=690 pies.

**Tabla XXIII. Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-206**

ACCESORIOS					Tee con entrada a 45° con <i>damp</i> er				
UMA-206		40RMS012							
Codos 90									
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	pulg.	pies				pulg.	pies		
1	24	100	0.1	0.10	2	24	25	0.1	0.05
2	14	150	0.1	0.15	1	14	20	0.1	0.02
			0.1	0.00		Diámetro		0.1	0.00
			0.1	0.00	16	10	240	0.1	3.84
<b>SUB-TOTAL</b>		250		<b>0.25</b>	<b>SUB-TOTAL</b>		<b>285</b>		<b>3.91</b>
Transiciones					Acople suministro				
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	pulg.	pies				pulg.	pies		
1	36	5	0.1	0.01	1	36	35	0.1	0.04
2	24	10	0.1	0.02	Acople retorno				
2	18	10	0.1	0.02	1	28	35	0.1	0.04
3	14	15	0.1	0.05				0.1	0.00
<b>SUB-TOTAL</b>		40		<b>0.09</b>	<b>SUB-TOTAL</b>		70		<b>0.07</b>

**Tabla XXIV. Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores,  
manejadora UMA-206**

Total de difusores	Total de rejillas	Total de ducto flexible	Total Difusores y rejillas	AP"CA/100	Difusores y Rejilla
		pies			AP"ca
16	9	62.5	25	0.019	0.475

Total de longitud equivalente, manejadora UMA-206=645 pies.

**Tabla XXV. Longitudes equivalentes de accesorios, manejadora UMA-202**

ACCESORIOS									
UMA-202		42DE012							
Codos 90					Tee con entrada a 45° con <i>damper</i>				
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	pulg.	pies				pulg.	pies		
1	8	40	0.1	0.04	1	14	20	0.1	0.02
1	20	75	0.1	0.08				0.1	0.00
	Codos 45		0.1	0.00				0.1	0.00
			0.1	0.00		Diámetro		0.1	0.00
			0.1	0.00	6	8,10, 12 Y 14	90	0.1	0.54
<b>SUB-TOTAL</b>		115		<b>0.12</b>	<b>SUB-TOTAL</b>		<b>110</b>		<b>0.56</b>
TRANSICIONES					Acople suministro				
CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA	CANT.	ANCHO	L. EQUI	AP"CA/100	AP"CA
	pulg.	pies				pulg.	pies		
2	20	10	0.1	0.02	1	20	35	0.1	0.04
1	16	5	0.1	0.01	Acople retorno				
1	14	5	0.1	0.01	1	20	35	0.1	0.04
1	10	5	0.1	0.01				0.1	0.00
<b>SUB-TOTAL</b>		25		<b>0.04</b>	<b>SUB-TOTAL</b>		70		<b>0.07</b>

**Tabla XXVI. Longitud de ducto flexible para rejillas y difusores,  
manejadora UMA-202**

Total de difusores	Total de rejillas	Total de ducto flexible	Total Difusores y rejillas	AP"CA/100	Difusores y Rejilla
		pies			AP"ca
6	3	22.5	9	0.019	0.171

Total de longitud equivalente, manejadora UMA-202= 320 pies.

**Tabla XXVII. Caída de presión en el sistema de ductería, manejadoras de  
aire segundo nivel**

DUCTERIA NIVEL 2								
Máquina	CFM	Ducto Recto	Ducto Recto	Ducto Recto	Ducto Flexible.	Total Flexible	Longitud Equivalente	Total ducto
		Metros	Pies	AP"/100	AP"/100	Pies	Pies	AP"ca
UMA - 201	3000	48.50	159.08	0.1	0.15	47.5	730	889.08
UMA - 202	1200	38.00	124.64	0.1	0.15	22.5	320	444.64
UMA - 203	4000	86.00	282.08	0.1	0.15	62.5	635	917.08
UMA - 204	4000	43.00	141.04	0.1	0.15	40	645	786.04
UMA - 205	4000	59.00	193.52	0.1	0.15	42.5	670	863.52
UMA - 206	4000	72.00	236.16	0.1	0.15	62.5	645	881.16
UMA - 207	4000	79.00	259.12	0.1	0.15	62.5	645	904.12
UMA - 208	4000	91.50	300.12	0.1	0.15	65	670	970.12
UMA - 209	4000	82.50	270.6	0.1	0.15	65	665	935.6
UMA - 210	4000	87.00	285.36	0.1	0.15	57.5	710	995.36
UMA - 211	4000	55.50	182.04	0.1	0.15	168	555	737.04
UMA - 212	4000	68.00	223.04	0.1	0.15	62.5	375	598.04
UMA - 213	4000	66.00	216.48	0.1	0.15	52.5	900	1116.48
UMA - 214	3000	56.50	185.32	0.1	0.15	45	695	880.32
Totales		932.50	3058.6					

## Continuación

DUCTERÍA NIVEL 2						
Máquina	Difusores y Rejilla	Ducto y Flexible	Caída de presión parcial	Porcentaje por fugas	Serpentín, filtro	Caída Total
	AP"ca	AP"ca	pulg.c.a.	pulg.c.a.	pulg.c.a.	pulg.c.a.
UMA - 201	0.361	0.96	1.32	0.33	0.23	1.88
UMA - 202	0.171	0.48	0.65	0.16	0.08	0.89
UMA - 203	0.475	1.01	1.49	0.37	0.36	2.22
UMA - 204	0.304	0.85	1.15	0.29	0.36	1.80
UMA - 205	0.323	0.93	1.25	0.31	0.36	1.92
UMA - 206	0.475	0.97	1.45	0.36	0.36	2.17
UMA - 207	0.475	1.00	1.47	0.37	0.36	2.20
UMA - 208	0.494	1.07	1.56	0.39	0.36	2.31
UMA - 209	0.494	1.03	1.53	0.38	0.36	2.27
UMA - 210	0.437	1.08	1.52	0.38	0.36	2.26
UMA - 211	0.399	0.99	1.39	0.35	0.36	2.10
UMA - 212	0.475	0.69	1.17	0.29	0.36	1.82
UMA - 213	0.399	1.20	1.59	0.40	0.36	2.35
UMA - 214	0.342	0.95	1.29	0.32	0.23	1.84

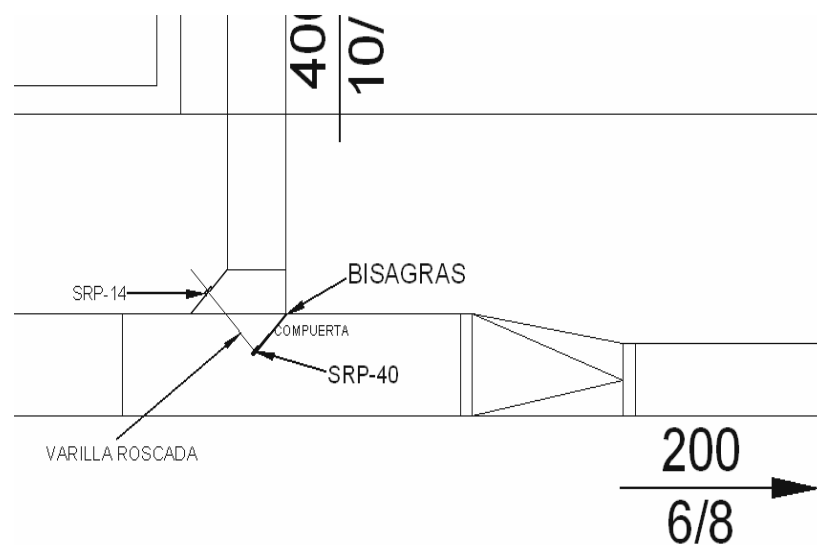
Las fugas en los sistemas son difíciles de evaluar por depender en gran manera de la fabricación y ensamblaje de los sistemas, para evitar gran cantidad de fugas se deben utilizar materiales aislantes para reducir las pérdidas, entre los materiales aislantes que se encuentran en nuestro medio están: cintas de aluminio y sikaflex. Para tomar en cuenta las fugas se considera un porcentaje de la cantidad de ducto recto y ducto flexible para los cálculos de la caída de presión se considera un 25% de la pérdida por la longitud total de ducto rectangular y ducto flexible.



### 2.1.3 Damper para la circulación del aire

El *damper* o compuerta debe tener la función de regular el paso de aire que se requiera en cada área a acondicionar, va sujeta a una tee convergente con entrada a 45° al cabezal rectangular (zapato) sujeta por medio de dos bisagras, para graduar la abertura de la compuerta se utilizan mensulas SRP-14 y SRP-40 ambas mensulas se unen por medio de una varilla roscada de  $\varnothing 1/4"$ .

Figura 22. Detalle de la compuerta para tee convergente con entrada a 45°



Para calcular la abertura de la compuerta se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$A_2 = Q_2(W_1 / Q_1)$$

$W_1$ =ancho del ducto principal, pulg.  
 $A_2$ =abertura de la compuerta, pulg.  
 $Q_1$ =caudal del ducto principal, CFM.  
 $Q_2$ =caudal del ramal, CFM.

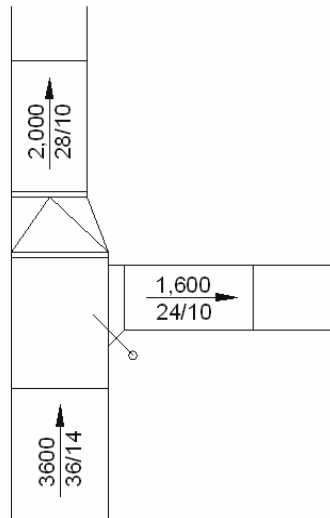
Ejemplo: Cálculo de la abertura del *damper*.

$$A_2 = Q_2(W_1 / Q_1)$$

$$A_2 = 1600 \text{ CFM} (36 \text{ pulg.} / 3600 \text{ CFM})$$

$$A_2 = 16 \text{ pulg.}$$

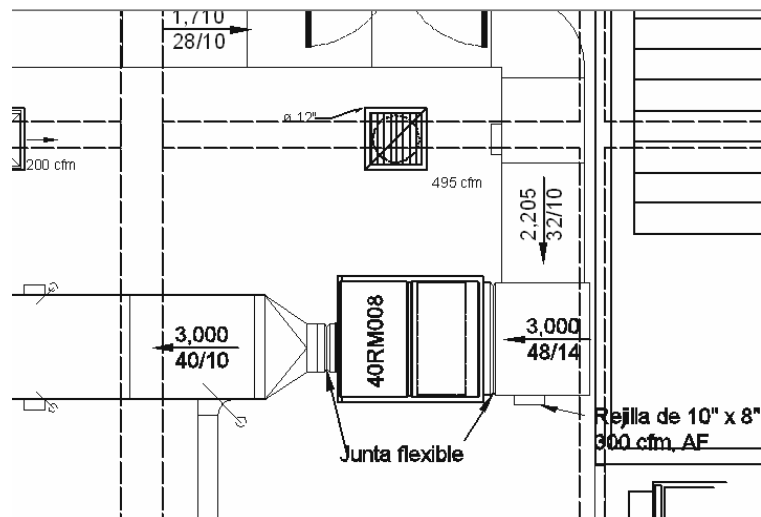
**Figura 23. Abertura de la compuerta**



### 2.1.4 Acople del sistema de ductería hacia las manejadoras

El acople del sistema de ductería hacia las manejadoras generalmente se fabrican con cierta flexibilidad entre el sistema y la manejadora, dicho acople se utiliza para evitar vibración y ruido que repercuta en el sistema de ductería. Dicho acople se fabrica de lámina galvanizada y lona azul No. 10 como material flexible al tamaño del agujero de suministro y retorno, en el suministro se acopla de un ducto principal mientras que en el retorno puede variar el número de ramales que se deriven de un *plenum* que no necesariamente debe de ser del tamaño del agujero de la manejadora. En la manejadora ambos acoples van atornillados y en lado del sistema de ductería va acoplado por grapas deslizantes planas y grapa a escuadra. Ambos acoples van aislados con colchoneta de fibra de vidrio para los sistemas que van dentro y para los sistemas expuestos fibra de vidrio negra rígida para evitar condensación en el sistema que pueda ocasionar daños en las instalaciones.

**Figura 24. Acople de manejadora 40RMS008**



### **2.1.5 Selección de materiales para el aislamiento de ductos**

El aislamiento de ductos se utiliza para evitar pérdidas, ahorra hasta 50% de la energía que se utiliza para el aire acondicionado, además recubre con una barrera de vapor para evitar la condensación de agua en ductos fríos. El material de alta resistencia térmica o fibra de vidrio es el material más utilizado para el aislamiento de los sistemas de ductería. Para los sistemas de ductería expuestos a la intemperie, pueden utilizarse aislamiento de tablero rígido y de colchoneta para los sistemas que no están expuestos. El aislamiento de colchoneta lleva un laminado de foil de aluminio reforzado con hilos de vidrio que le confieren a los ductos fabricados una alta resistencia mecánica. Este mismo foil actúa como barrera de vapor, previniendo la condensación y sus efectos.

Al colocar sobre los ductos de un sistemas de ductería metálica se obtiene un eficiente aislamiento térmico, que evita las pérdidas de frío en el interior del ducto hacia el medio ambiente, y la formación de condensados pues debe garantizarse con el aislamiento que la temperatura superficial de el siempre este por lo menos dos (2°C) grados centígrados por encima de la temperatura de rocío.

**Figura 25. Aislamiento con fibra de vidrio tipo colchoneta**

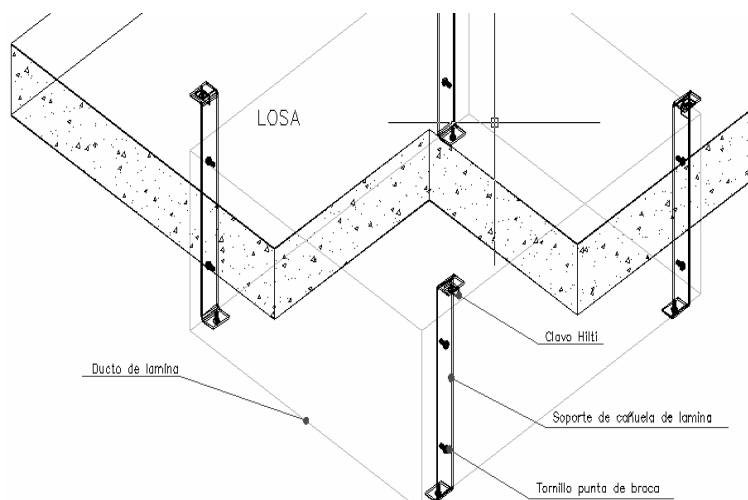


Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

### **2.1.6 Selección del sistema de soporte para los ductos**

Los sistemas de ductería horizontales pequeños pueden soportarse con banda metálica delgada y los sistemas de ductería grandes con varilla roscada y angular metálico.

**Figura 26. Soportes para los sistemas de ductería**



Estos sistemas se soportan con grapa deslizante plana (cañuela) de lámina galvanizada, de 2 3/8" de ancho, la longitud entre soportes es de 6 1/2', para sujetar la grapa deslizante a la losa se utilizan clavos HILTI con roldada de 1" y en el ducto sujeto con tornillos punta de broca No. 10 de 1" de largo cabeza hexagonal.

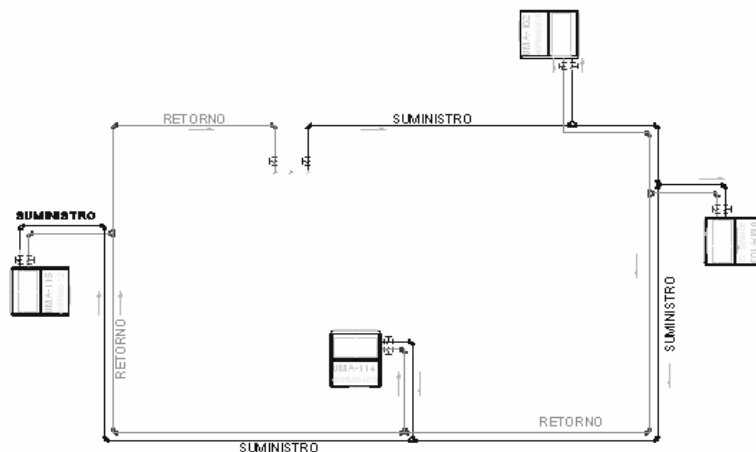
## 2.2 Sistema de tubería de agua fría

### 2.2.1 Dimensiones de la tubería de agua fría

Un sistema de tubería de circuito cerrado es aquel en el cual el agua recircula en forma continua y no hay abertura alguna de la tubería. En un sistema cerrado no hay cambio neto de elevación del agua en todo el circuito, y por lo tanto la elevación es cero en la ecuación de energía de flujo.

El sistema de tubería para la circulación de agua fría en el acondicionamiento de aire a utilizar es el cabezal de dos tubos con retorno inverso, con este sistema se eliminan inconveniencias de balanceo para los ramales ya que la longitud del trayecto del agua es uniforme entre las manejadoras de aire.

**Figura 27. Sistema de dos tubos en paralelo**



Para el cálculo de dimensiones del sistema de tubería, se deben tener varios factores para obtener una máxima eficiencia del sistema, así como el mínimo costo para los materiales que se necesitan, entre los factores importantes están: la velocidad de diseño, el caudal, el paso del sistema de tuberías que se define entre todos los trabajos que se realizan en el proyecto.

La recomendación del caudal de diseño es de 2.5 galones por minuto por tonelada de refrigeración (1 T.R.=400 CFM), y para el cálculo de las dimensiones se relaciona la velocidad de diseño y el caudal para el sistema de tubería. Velocidad del agua en sistemas de tubería PVC de 3 pies/s a 6 pies/s.

La ecuación para el diseño de las dimensiones de tubería se define como:

$$\varnothing = 12\sqrt{(4xQ)/(\pi xV)}$$

Q = caudal del fluido, pies<sup>3</sup>/s. (1 Gal=0.133680 Pies<sup>3</sup>).

V = velocidad del fluido, pies/s.

Ø = diámetro del tubo, pulg.

**Tabla XXVIII. Velocidades del agua**

Servicio	Rango de velocidad (Pies/s)
Descarga de la bomba	8 a 12
Succión de la bomba	4 a 7
Línea de drenaje	4 a 7
Descendencia de agua	4 a 15
Ascendencia de agua	3 a 10

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **System design manual, piping system.** Pág. 3-21



Estas velocidades de recomendación dependen de dos condiciones:

- El efecto a la erosión
- El servicio del tubo por el cual es sometido

El diseño del sistema de tubería de agua, es limitado por la máxima velocidad permisible del fluido. La erosión en el sistema de tubería se incrusta en la superficie del tubo, es una función del tiempo, la velocidad del agua y los materiales suspendidos en el agua.

**Tabla XXIX. Máxima velocidad del agua a una mínima erosión**

<b>Operación normal</b>	<b>Velocidad del agua</b>
Horas/año	Pies/s
1500	15
2000	14
3000	13
4000	12
6000	10
8000	8

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **System design manual, piping system.**

Pág. 3-21

Por medio de la ecuación se obtiene el tamaño para la entrada de las manejadoras de aire teniendo en cuenta la velocidad y caudal de diseño.

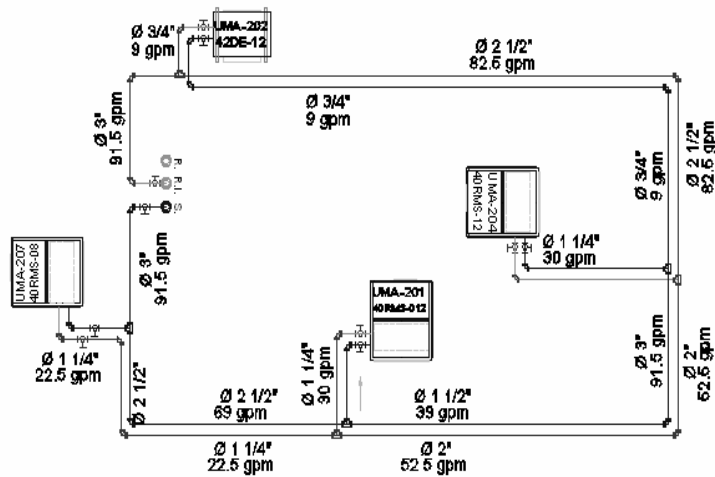
$$\text{Ø} = 12\sqrt{(4xQ)/(\pi xV)}$$

**Tabla XXX. Flujo y diámetro tubería de manejadoras**

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CAPACIDAD	CAUDAL	CAUDAL	DIÁMETRO
	T.R.	GPM	Pies <sup>3</sup> /s.	Pulg.
42DE060	1.5	3.75	0.008	3/4"
42DE012	3	7.5	0.017	1"
42DE020	5	12.5	0.027	1 ¼"
40RMS08	7.5	18.75	0.042	1 ½"
40RMS012	10	25	0.056	1 ½"

Ejemplo: Diseño de sistema con dos tubos en paralelo con retorno inverso.  
 Caudal 3 GPM por tonelada de refrigeración.  
 Velocidad de 3 a 6 pies/s.

**Figura 28. Sistema cerrado, dos tubos en paralelo con retorno inverso**



### 2.2.2 Pérdidas por fricción a través de la tubería

La fricción es la resistencia debido al flujo como resultado de la viscosidad y rugosidad de las paredes del tubo, generalmente el flujo que se forma en las tuberías de agua fría son del tipo turbulento. La caída de presión debida a la fricción esta dada por la ecuación de:

Darcy-Weisbach

$$H_f = f \left( \frac{L}{\varnothing} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

$H_f$  = pérdida de presión debida a la fricción en tubo, pies

$f$  = factor de fricción adimensional

$L$  = longitud del tubo, pies

$V$  = velocidad del fluido, pies/s.

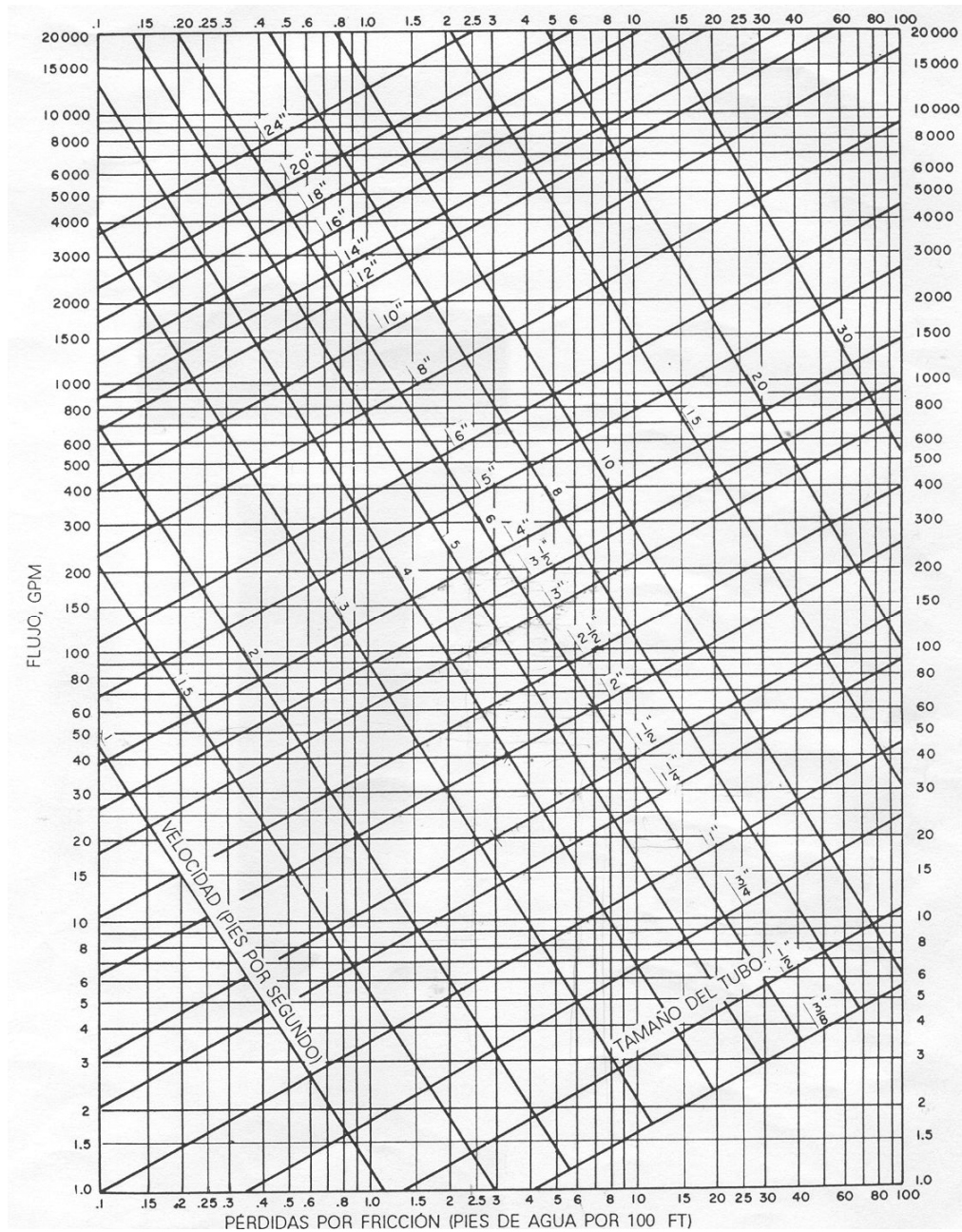
$\varnothing$  = diámetro del tubo, pulg.

El factor de fricción  $f$  depende de la rugosidad del material del tubo, las superficies más ásperas causan mayor resistencia por fricción, en las superficies lisas, la fricción disminuye y se usa menos energía. Las velocidades menores y los diámetros mayores reducen la pérdida de presión, y por lo tanto ocasionan menor consumo de energía, aunque aumentan el costo del tubo.

Para el cálculo de la caída de presión debida a la fricción en el tubo recto se ha facilitado con la representación de varias gráficas de varios materiales como acero cedula 40, cobre K, L, M y otros materiales que se utilizan en los sistemas de tubería de agua fría abiertos y cerrados.

Mientras que para los accesorios de la tubería se pueden calcular por el método de longitud equivalente, la cual existen tablas con representación equivalente de varios accesorios que tendrían la misma caída de presión, luego se emplea la gráfica adecuada de pérdidas por fricción para encontrar la caída real de presión a través de los accesorios.

**Figura 29. Pérdidas por fricción para agua en tubos de sistema cerrado**



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 225

Figura 30. Longitud equivalente de accesorios, caso 1








Screwed, Welded, Flanged, and Flared Connections

17	8	6	4	0.5	5	—	—	Obispo & Verhoff Life Span of Clubs
18	9	7	7	0.7	6	—	3	
22	11	9	9	0.9	8	—	4	
29	15	12	12	1.0	10	—	5	
36	20	15	15	1.5	14	—	9	
43	24	18	18	1.8	16	—	10	
50	30	24	24	2.0	20	—	14	
57	36	28	28	2.5	24	—	18	
64	42	34	34	3.0	28	—	22	
71	48	40	40	3.5	32	—	26	
78	54	46	46	4.0	36	—	30	
85	60	52	52	4.5	40	—	34	
92	66	58	58	5.0	44	—	38	
99	72	64	64	5.5	48	—	42	
106	78	70	70	6.0	52	—	46	
113	84	76	76	6.5	56	—	50	
120	90	82	82	7.0	60	—	54	
127	96	88	88	7.5	64	—	58	
134	102	94	94	8.0	68	—	62	
141	108	100	100	8.5	72	—	66	
148	114	106	106	9.0	76	—	70	
155	120	112	112	9.5	80	—	74	
162	126	118	118	10.0	84	—	78	
169	132	124	124	10.5	88	—	82	
176	138	130	130	11.0	92	—	86	
183	144	136	136	11.5	96	—	90	
190	150	142	142	12.0	100	—	94	
197	156	148	148	12.5	104	—	98	
204	162	154	154	13.0	108	—	102	
211	168	160	160	13.5	112	—	106	
218	174	166	166	14.0	116	—	110	
225	180	172	172	14.5	120	—	114	
232	186	178	178	15.0	124	—	118	
239	192	184	184	15.5	128	—	122	
246	198	190	190	16.0	132	—	126	
253	204	196	196	16.5	136	—	130	
260	210	202	202	17.0	140	—	134	
267	216	208	208	17.5	144	—	138	
274	222	214	214	18.0	148	—	142	
281	228	220	220	18.5	152	—	146	
288	234	226	226	19.0	156	—	150	
295	240	232	232	19.5	160	—	154	
302	246	238	238	20.0	164	—	158	
309	252	244	244	20.5	168	—	162	
316	258	250	250	21.0	172	—	166	
323	264	256	256	21.5	176	—	170	
330	270	262	262	22.0	180	—	174	
337	276	268	268	22.5	184	—	178	
344	282	274	274	23.0	188	—	182	
351	288	280	280	23.5	192	—	186	
358	294	286	286	24.0	196	—	190	
365	300	292	292	24.5	200	—	194	
372	306	298	298	25.0	204	—	198	
379	312	304	304	25.5	208	—	202	
386	318	310	310	26.0	212	—	206	
393	324	316	316	26.5	216	—	210	
400	330	322	322	27.0	220	—	214	
407	336	328	328	27.5	224	—	218	
414	342	334	334	28.0	228	—	222	
421	348	340	340	28.5	232	—	226	
428	354	346	346	29.0	236	—	230	
435	360	352	352	29.5	240	—	234	
442	366	358	358	30.0	244	—	238	
449	372	364	364	30.5	248	—	242	
456	378	370	370	31.0	252	—	246	
463	384	376	376	31.5	256	—	250	
470	390	382	382	32.0	260	—	254	
477	396	388	388	32.5	264	—	258	
484	402	394	394	33.0	268	—	262	
491	408	400	400	33.5	272	—	266	
498	414	406	406	34.0	276	—	270	
505	420	412	412	34.5	280	—	274	
512	426	418	418	35.0	284	—	278	
519	432	424	424	35.5	288	—	282	
526	438	430	430	36.0	292	—	286	
533	444	436	436	36.5	296	—	290	
540	450	442	442	37.0	300	—	294	
547	456	448	448	37.5	304	—	298	
554	462	454	454	38.0	308	—	302	
561	468	460	460	38.5	312	—	306	
568	474	466	466	39.0	316	—	310	
575	480	472	472	39.5	320	—	314	
582	486	478	478	40.0	324	—	318	
589	492	484	484	40.5	328	—	322	
596	498	490	490	41.0	332	—	326	
603	504	496	496	41.5	336	—	330	
610	510	502	502	42.0	340	—	334	
617	516	508	508	42.5	344	—	338	
624	522	514	514	43.0	348	—	342	
631	528	520	520	43.5	352	—	346	
638	534	526	526	44.0	356	—	350	
645	540	532	532	44.5	360	—	354	
652	546	538	538	45.0	364	—	358	
659	552	544	544	45.5	368	—	362	
666	558	550	550	46.0	372	—	366	
673	564	556	556	46.5	376	—	370	
680	570	562	562	47.0	380	—	374	
687	576	568	568	47.5	384	—	378	
694	582	574	574	48.0	388	—	382	
701	588	580	580	48.5	392	—	386	
708	594	586	586	49.0	396	—	390	
715	600	592	592	49.5	400	—	394	
722	606	598	598	50.0	404	—	398	
729	612	604	604	50.5	408	—	402	
736	618	610	610	51.0	412	—	406	
743	624	616	616	51.5	416	—	410	
750	630	622	622	52.0	420	—	414	
757	636	628	628	52.5	424	—	418	
764	642	634	634	53.0	428	—	422	
771	648	640	640	53.5	432	—	426	
778	654	646	646	54.0	436	—	430	
785	660	652	652	54.5	440	—	434	
792	666	658	658	55.0	444	—	438	
799	672	664	664	55.5	448	—	442	
806	678	670	670	56.0	452	—	446	
813	684	676	676	56.5	456	—	450	
820	690	682	682	57.0	460	—	454	
827	696	688	688	57.5	464	—	458	
834	702	694	694	58.0	468	—	462	
841	708	700	700	58.5	472	—	466	
848	714	706	706	59.0	476	—	470	
855	720	712	712	59.5	480	—	474	
862	726	718	718	60.0	484	—	478	
869	732	724	724	60.5	488	—	482	
876	738	730	730	61.0	492	—	486	
883	744	736	736	61.5	496	—	490	
890	750	742	742	62.0	500	—	494	
897	756	748	748	62.5	504	—	498	
904	762	754	754	63.0	508	—	502	
911	768	760	760	63.5	512	—	506	
918	774	766	766	64.0	516	—	510	
925	780	772	772	64.5	520	—	514	
932	786	778	778	65.0	524	—	518	
939	792	784	784	65.5	528	—	522	
946	798	790	790	66.0	532	—	526	
953	804	796	796	66.5	536	—	530	
960	810	802	802	67.0	540	—	534	
967	816	808	808	67.5	544	—	538	
974	822	814	814	68.0	548	—	542	
981	828	820	820	68.5	552	—	546	
988	834	826	826	69.0	556	—	550	
995	840	832	832	69.5	560	—	554	

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **System design manual, piping system.**  
 Pág. 3-16

Figura 31. Longitud equivalente de accesorios, caso 2

Screwed, Welded, Flanged, Flared, and Brazed Connections

NOMINAL PIPE OR TUBE SIZE (in.)	SMOOTH BEND ELBOWS						SMOOTH BEND TEES			
	90° Std*	90° Long Rad.†	90° Street*	45° Std*	45° Street*	180° Std*	Flow-Thru Branch	Straight-Thru Flow		
									No Reduction	Reduced 1/4
3/8	1.4	0.9	2.3	0.7	1.1	2.3	2.7	0.9	1.2	1.4
1/2	1.6	1.0	2.5	0.8	1.3	2.5	3.0	1.0	1.4	1.6
3/4	2.0	1.4	3.2	0.9	1.6	3.2	4.0	1.4	1.9	2.0
1	2.6	1.7	4.1	1.3	2.1	4.1	5.0	1.7	2.3	2.6
1 1/4	3.3	2.3	5.6	1.7	3.0	5.6	7.0	2.3	3.1	3.3
1 1/2	4.0	2.6	6.3	2.1	3.4	6.3	8.0	2.6	3.7	4.0
2	5.0	3.3	8.2	2.6	4.5	8.2	10	3.3	4.7	5.0
2 1/2	6.0	4.1	10	3.2	5.2	10	12	4.1	5.6	6.0
3	7.5	5.0	12	4.0	6.4	12	15	5.0	7.0	7.5
3 1/2	9.0	5.9	15	4.7	7.3	15	18	5.9	8.0	9.0
4	10	6.7	17	5.2	8.5	17	21	6.7	9.0	10
5	13	8.2	21	6.5	11	21	25	8.2	12	13
6	16	10	25	7.9	13	25	30	10	14	16
8	20	13	—	10	—	33	40	13	18	20
10	25	16	—	13	—	42	50	16	23	25
12	30	19	—	16	—	50	60	19	26	30
14	34	23	—	18	—	55	68	23	30	34
16	38	26	—	20	—	62	78	26	35	38
18	42	29	—	23	—	70	85	29	40	42
20	50	33	—	26	—	81	100	33	44	50
24	60	40	—	30	—	94	115	40	50	60

NOMINAL PIPE OR TUBE SIZE (in.)	MITRE ELBOWS			
	90° EII	60° EII	45° EII	30° EII
3/8	2.7	1.1	0.6	0.3
1/2	3.0	1.3	0.7	0.4
3/4	4.0	1.6	0.9	0.5
1	5.0	2.1	1.0	0.7
1 1/4	7.0	3.0	1.5	0.9
1 1/2	8.0	3.4	1.8	1.1
2	10	4.5	2.3	1.3
2 1/2	12	5.2	2.8	1.7
3	15	6.4	3.2	2.0
3 1/2	18	7.3	4.0	2.4
4	21	8.5	4.5	2.7
5	25	11	6.0	3.2
6	30	13	7.0	4.0
8	40	17	9.0	5.1
10	50	21	12	7.2
12	60	25	13	8.0
14	68	29	15	9.0
16	78	31	17	10
18	85	37	19	11
20	100	41	22	13
24	115	49	25	16

\*R/D approximately equal to 1. †R/D approximately equal to 1.5.

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. System design manual, piping system.

Pág. 3-17

**Tabla XXXI. Longitud equivalente, pies de tubo, para conexiones y válvulas**

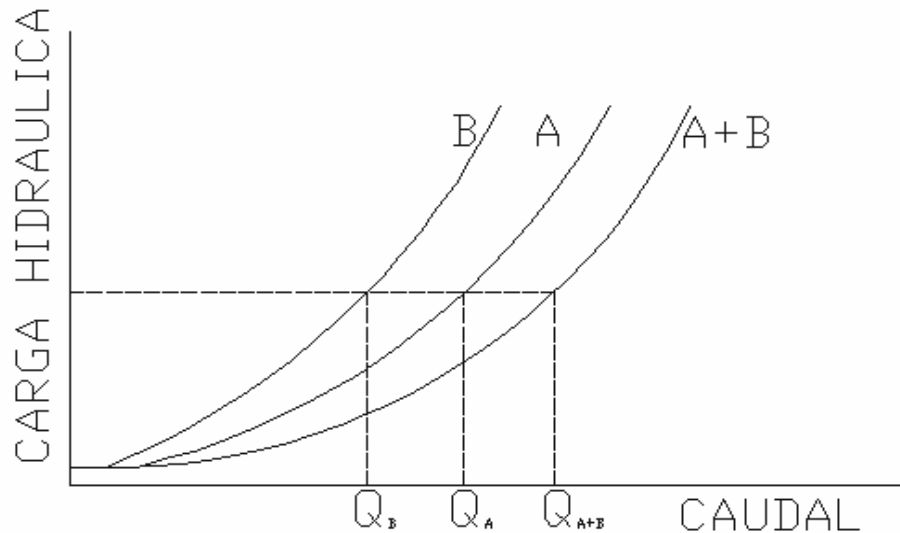
	Tamaño Nominal de tubo (pulgadas)												
	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Codo de 45°	0.8	0.9	1.3	1.7	2.1	2.8	3.3	4	5.2	6.5	7.9	10	13
Codo normal de 90°	1.6	2	2.6	3.3	4.3	5.5	6.5	8	11	8.4	16	22	26
Codo de 90° radio largo	1	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7	6	10.4	14	16.8
Válvula de compuerta abierta	0.7	0.9	1	1.5	1.8	2.3	2.8	3.2	4.5	13.4	7	9	12
Tee flujo recto	3	4	5	7	9	12	14	17	22	50	34	44	100
Válvula de retención horizontal	6	8	10	14	126	20	25	30	40		60	80	
Tee divergente		20	14	11	12	14	14	14					
Válvula de retención de flujo		27	42	60	63	83	104	125	126				

Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 229

La caída de presión para el sistema de dos tubos en paralelo es la suma de las pérdidas a través de cada parte en uno de los trayectos o circuitos, desde la succión hasta la descarga de la bomba, que incluye tubería recta, conexiones, válvulas y equipos, la caída debida a los equipos se obtiene por medio del fabricante.

Para encontrar la pérdida de presión para este sistema, se toma únicamente la caída de presión para un solo trayecto de preferencia el que tenga mayor longitud o el que tenga mayor resistencia al flujo, para que tenga mayor caída de presión en el sistema. Con este valor la caída de presión se representa como el mayor, ya que la caída de presión siempre se mantiene constante para cualquier punto.

**Figura 32. Característica del sistema para circuito en paralelo**



Fuente: John Wiley & Sons. **Calefacción, ventilación y aire acondicionado**. Pág. 304

Para hallar la caída del sistema se utiliza el método de igual fricción por cada 100 pies de tubería recta, se utiliza la Figura 29 para sistemas cerrados, mientras para los accesorios se utiliza las Figuras 30, 31 y la Tabla de Longitud equivalente para hallar la equivalencia de tubería recta con el mismo procedimiento de pérdida para los distintos puntos. La caída de presión en todo el sistema se describe a continuación:



**Tabla XXXII. Descripción del sistema de tubería para el cálculo de caída**

PUNTO	UBICACIÓN
1	Nivel-9 azotea, sistemas de suministro y retorno inverso.
2	<i>Riser</i> edificio 1 nivel-9 al nivel-3.
3	<i>Riser</i> edificio 1 nivel-3 al <i>riser</i> edificio 3 nivel-3.
4	<i>Riser</i> edificio 3 nivel-3 al <i>riser</i> edificio 3 nivel-2.
5	<i>Riser</i> edificio 3 nivel-2 al sistema de tubería nivel-2 edificio 2y 3.
6	<i>Riser</i> edificio 3 nivel-2 al <i>riser</i> edificio 3 sótano-2.
7	<i>Riser</i> edificio 3 sótano-2 al <i>riser</i> edificio 1 sótano-2.
8	<i>Riser</i> edificio 1 sótano-2 al <i>riser</i> edificio 1 nivel 9.

1. En el punto 1 se tomo el circuito desde el nivel 9 del *riser* edificio 1 del tubo de retorno inverso a la succión de la bomba No. 4, luego de la descarga de la bomba a la entrada del *cooler* (enfriador) del *chiller* No. 4 ya que tiene mayor longitud entre los demás *chillers*, después de la salida del *cooler* al tubo de suministro del *riser* edificio 1.
2. Circuito de suministro del *riser* edificio 1 nivel-9 al tubo de suministro *riser* edificio 1 nivel 3 en esta sección las dimensiones del tubo varían con respecto a suministro de cada nivel desde el nivel-8 al nivel-3. en el nivel 8 el tubo es de Ø 10" y en nivel-3 de Ø 6".
3. Luego el circuito de suministro de Ø 6" del *riser* edificio 1 al *riser* edificio 3 con Ø 6" este tubo alimenta los edificios 2 y 3 para los niveles 4, 2, 1, sótano-1 y sótano-2.
4. Circuito de suministro del *riser* edificio 3 nivel 3 al *riser* edificio 3 nivel-2.

5. Circuito del *riser* edificio 3 nivel 2 al circuito de suministro a la manejadora (UMA-207) mas lejana con respecto al *riser* para obtener mayor caída de presión en el sistema, luego de la manejadora al circuito de retorno al *riser* edificio 3.
6. Circuito de retorno inverso del *riser* nivel 3 al sótano-2 edificio 3.
7. Circuito de retorno inverso del *riser* sótano 2 edificio 3 al edificio 1 con un tubo Ø 6", este circuito recolecta el agua de retorno de los niveles 4, 2, 1, sótano-1 y sótano-2 de los edificios 2 y 3.
8. En el circuito del retorno inverso del *riser* edificio 1 nivel 1 al *riser* edificio 1 nivel 9 (azotea) la tubería del sistema es de Ø 10", en este circuito retorna toda el agua del sistema ya que se acumulan del los dos *risers* para el retorno al los enfriadores.

Nivel 2 parte sur la caída de la manejadora es de 4.4 pies columna de agua, dato extraído de manual Carrier, *Installation, star-up and service instructions*, 40RM, 40RMQ y 40RMS *Packaged air-handling units*.

**Tabla XXXIII. Caída de presión del sistema, azotea**

AZOTEA														
SECCIÓN	GPM	Ø	PIES/100P	L.(M)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
R. E. 1 R.I.	T.E.	2065	10	1.9	21	68.88	2					50	118.88	2.26
T.E.	MAN.	2065	10	1.9	5.8	19.02	1					25	44.02	0.84
MAN.	B. 1	516.25	6	1.7	1.9	6.23			1	1		117	123.23	2.09
B. 1	MAN.	516.25	6	1.7	1.9	6.23		1	1	1		70.8	77.03	1.31
MAN.	1	2065	10	1.9	5.5	18.04	2		1			55.2	73.24	1.39
1	2	1548.8	10	1.4	6.3	20.66			1			5.2	25.86	0.36
2	3	1038.5	8	1.7	6.3	20.66			1			4.7	25.36	0.43
3	E.C.	516.25	6	1.7	16.6	54.45	3		1			55	109.45	1.86
E.C.	S.C.	516.25												13.20
S.C.	4	516.25	6	1.7	16.6	54.45	3		1			51.8	106.25	1.81
4	5	1038.5	8	1.7	6.3	20.66			1			4.7	25.36	0.43
5	6	1548.8	10	1.4	6.3	20.66			2			10.4	31.06	0.43
6	R. SUM	2065	10	1.9	29	95.12	3					75	170.12	3.23
													<b>SUB-TOTAL</b>	<b>29.65</b>

**Tabla XXXIV. Caída de presión del sistema, riser edificio 1 y 3**

RISER EDIFICIO 1 Y 3														
SECCIÓN	GPM	Ø	PIES/100P	L.(M)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
N9	N8	2065	10	1.9	4.2	13.78			1			5.2	18.976	0.36
N8	N7	1910	10	1.8	4.2	13.78			1			5.2	18.976	0.34
N7	N6	1755	8	4.4	4.2	13.78			1			4.7	18.476	0.81
N6	N5	1602.5	8	3.8	4.2	13.78			1			4.7	18.476	0.70
N5	N4	1463.75	8	3.1	4.2	13.78			1			4.7	18.476	0.57
N4	N3	1281.25	8	2.4	4.2	13.78			1			4.7	18.476	0.44
N3	N2	458.75	6	1.3	4.2	13.78			2			7.6	21.376	0.28
N2	N1	216.25	4	2.7	4.2	13.78			1			2.8	16.576	0.45
N1	S1	347.5	4	6.7	5.2	17.06			1			2.8	19.856	1.33
S1	S2	467.5	6	1.4	5.2	17.06			1			3.8	20.856	0.29
													<b>SUB-TOTAL</b>	<b>5.58</b>

**Tabla XXXV. Caída de presión del sistema, nivel 3 suministro**

NIVEL 3 SUMINISTRO															
SECCIÓN		GPM	Ø	PIES/100P	L.(M)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
1	2	870	6	4.9	4.5	14.76		3	1				20.6	35.36	1.73
2	3	523	6	1.8	86	282.08	4	3		2			66.4	348.48	6.27
<b>SUB-TOTAL</b>														<b>8.01</b>	

**Tabla XXXVI. Caída de presión del sistema, nivel 2 parte sur**

NIVEL 2 PARTE SUR															
SECCIÓN		GPM	Ø	PIES/100P	L.(M.)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
1	2	151.5	3	5.2	7.3	23.94	2		1	1			36.2	60.144	3.13
2	3	125	3	4.3	1.7	5.58			1				17	22.576	0.97
3	4	100	3	4.3	15	49.20	1		1				25	74.2	3.19
4	5	50	2.5	0.8	2.5	8.20			1				14	22.2	0.18
5	E. UMA	25	1.5	1.4	16.7	54.78	3	2		1	1	1	33.2	87.976	1.23
	E. S. UMA														4.40
	S. UMA	6	25	1.5	1.4	16.7	3	2	1	1			27.9	82.676	1.16
6	7	50	2 1/2	1.1	2.5	8.20			1				14	22.2	0.24
7	8	101.25	3	1.3	17.7	58.06	2		1				33	91.056	1.18
8	9	126	3	1.8	11.5	37.72	2		1				33	70.72	1.27
9	10	151.25	3	2.3	14.2	46.58	2			1			19.2	65.776	1.51
<b>SUB-TOTAL</b>														<b>18.47</b>	

**Tabla XXXVII. Caída de presión del sistema, sótano 2 retorno inverso**

SÓTANO 2 RETORNO INVERSO															
SECCIÓN		GPM	Ø	PIES/100P	L.(M)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
RISER E.3	RISER E.1	523.75	6	1.8	82	268.96	5		1	2			62.3	331.26	5.96
<b>SUB-TOTAL</b>														<b>5.96</b>	

**Tabla XXXVIII. Caída de presión del sistema, riser edificio 1 retorno inverso**

<i>RISER EDIFICIO 1 RETORNO INVERSO</i>														
SECCIÓN	GPM	Ø	PIES/100P	L.(M)	L.(PIES)	C90	C45	TEE	V.C	"Y"	V3V	L. E.	L. TOT.	TOT.
S-2	N9	2065	10	1.9	52	170.56	4					56	226.56	4.30
<b>SUB-TOTAL</b>													<b>4.30</b>	

**Tabla XXIX. Caída de presión, descripción de todo el sistema**

<b>DESCRIPCIÓN DE TODO EL SISTEMA</b>		
<i>Cooler</i>		13.20 pies
Nivel 2	Edificio 1	18.47 pies
Nivel 3	Suministro	8.01 pies
Sótano 2	Retorno inverso	5.96 pies
<i>Riser</i> edificio 1	Retorno inverso	4.30 pies
<i>Azotea</i>		29.65 pies
<i>Riser</i>	Edificio 1 Y 3	5.58 pies
<b>TOTAL</b>		<b>85.17 pies</b>

La caída total del sistema es de **85.17 pies columna de agua**.

### **2.2.3 Selección de materiales para el aislamiento del circuito de agua fría**

El aislamiento térmico en el sistema hidrónico de agua fría se utiliza para reducir la pérdida de energía, condensación de la humedad del aire sobre el exterior de la tubería fría y la mínima fluctuación de temperatura en la distribución del agua fría.

Entre las características que debe tener el aislamiento están:

- Baja conductividad térmica
- No combustible
- No sujeto a deterioro o pudrición
- Resistencia adecuada

Los sistemas de tubería dentro de las instalaciones del edificio, están cubiertos con cañas premoldeadas al tamaño del tubo de fibra de vidrio (cañuelas de fibra de vidrio) de diámetros y espesores distintos, con hojas de aluminio para formar una barrera de vapor.

**Figura 33. Cañas premoldeadas de fibra de vidrio**



Fuente: Owens Corning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

Mientras que en la azotea el aislamiento de caña premoldeada está cubierto por un enchaquetado con lámina de aluminio, este enchaquetado se utiliza para evitar deterioro del aislamiento ya que esta a la intemperie.

**Figura 34. Enchaquetado de tubería expuesta a la intemperie**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

#### 2.2.4 Selección del tipo de anclaje para el circuito de agua fría

Existe diversidad anclajes utilizados en el sistema de tubería de agua fría, el más utilizado dentro de las instalaciones del edificio es el de: riel perforado (P-4000), sujetos con tarugos de expansión tipo HILTI, varilla roscada, tuercas y roldadas galvanizadas de  $\text{Ø } \frac{1}{4}$ ", dicha soportería se utilizó cada 2 metros por longitud lineal de tubería con diámetro de tubería de hasta 3", y para la tubería con diámetro mayor de 3" se utilizó riel perforado P-1000, sujetos con tarugos de expansión, varillas roscadas, tuercas y roldadas galvanizadas de  $\text{Ø } \frac{3}{8}$ ", todo el sistema de tubería esta sujeta con abrazaderas unicanal (*unistrud*) al diámetro respectivo de la tubería.

**Figura 35. Soportes dentro del edificio para sistemas de tubería  $\text{Ø } 3$ "**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala



En el *riser* y en la azotea el tipo de anclaje varía por la posición del circuito de agua fría, en el ascenso y descenso de tubería se utiliza riel perforado P-1000, abrazaderas unicanal, bases de angular de 2 ½"x¼", tarugos de expansión de Ø ½", y en la azotea se utiliza bases de riel perforado P-1000 soldados con tubos cuadrados de 2 ½"x2 ½"x2 m.m. sujetos con tarugos de expansión de Ø ½".

**Figura 36. Soportería para sistema de tubería Ø 10" en azotea**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

## **2.3. Sistema eléctrico y control inteligente de los equipos de acondicionamiento de aire**

### **2.3.1 Conceptos básicos de electricidad y control inteligente**

La relación entre el potencial eléctrico, E, medido en volts(V), el flujo de corriente, I, medido en amperes (A), y la resistencia, R medida en ohms, se expresa en la ley de Ohm. En términos sencillos dice que mientras mayor sea la resistencia, menor será el flujo de corriente. La ley de Ohm se expresa de manera matemática como “la corriente es igual al potencial eléctrico dividido entre la resistencia”, se aplica para corrientes continuas y corrientes alternas.

$$I=E/R$$

$$I=P/E$$

Donde

I = corriente en amperes

E = potencial eléctrico en voltios

R = resistencia en ohmios

P=potencia en watts (1HP=746watts)

Esta ecuación es útil para analizar un circuito, ya que cuando se conocen dos de los términos o estos se pueden medir, el tercero puede calcularse utilizando la ecuación anterior. Se pueden aplicar en circuitos en serie y circuitos en paralelo.

La corriente alterna es una diferencia de potencial que tiene una forma de onda senoidal alternando la polaridad de manera continua a una velocidad o frecuencia fija. El número de veces por segundo que la polaridad se invierte es la frecuencia, que se expresa en Hertz, (ciclos por segundo), y es la fuente más común de energía para la mayor parte de los sistemas HVAC, para los equipos de acondicionamiento de aire pueden ser máquinas monofásicas y trifásicas. Las cargas más comunes en los sistemas HVAC son los motores eléctricos que pueden impulsar compresores, ventiladores, bombas de agua, calentadores, válvulas solenoides y otros dispositivos que se utilizan en el acondicionamiento de aire.

Los sistemas monofásicos pueden ser de 120 y 240 voltios a 60 Hz el sistema utiliza tres hilos, dos vivos y uno neutro conectado a tierra, los equipos HVAC se fabrican para operar satisfactoriamente a voltajes de más o menos 10% del voltaje nominal, a menos que se indique lo contrario, comúnmente estos equipos tienden a operar mas satisfactoriamente a máximo voltaje que a uno mínimo.

Los sistemas trifásicos se utilizan por lo común para grandes instalaciones. Pueden ser de 230, 208 y 480 voltios a 60 Hz, los de 230 voltios son transformadores que tienen tres terminales vivas con energía y una terminal del neutro, este tipo de alimentación de energía se obtiene a partir de una conexión del secundario del transformador en delta. Se obtiene energía trifásica a 230 voltios al usar las tres terminales vivas. Asimismo obtener energía monofásica a 230 voltios al conectarse dos de las terminales vivas y al conectarse una línea viva y el neutro en el punto medio se obtiene energía monofásica de 120 voltios.

En los sistemas de 208 voltios a 60 Hz de cuatro hilos, tres vivos y uno neutro se puede obtener energía trifásica de 208 voltios , monofásica de 208 entre dos líneas vivas y monofásica de 120 voltios entre una de las líneas vivas y el neutral.

Y los sistemas trifásicos de 480/277 voltios con cuatro hilos, tres hilos vivos y uno neutro del que se obtiene 480 voltios entre las líneas vivas y conectando una línea viva con la neutral se obtiene 277 voltios, en estos sistemas se pueden utilizar motores trifásicos estándar a 460 voltios. También se puede utilizar transformadores reductores para obtener de 480 a 208 o de 480 a 120 voltios, con este mayor voltaje de alimentación permite que se le de servicio a cargas superiores con menor alambre, además con mayor voltaje se reducen las caídas de voltaje en el sistema.

El sistema de control inteligente últimamente es utilizado para la automatización de los equipos de acondicionamiento de aire, existen varios tipos de accesorios entre los cuales se tienen: amplificadores de señal (*Bridge*), tarjetas electrónicas, cajas de volumen variable, variadores de frecuencia, transformadores, *relay*, contactores, válvulas de tres vías, diferencial de presión, sensores de temperatura para suministro y retorno de aire, guardanivel de condensado, sensor de CO<sub>2</sub>, sensor para humedad relativa, estos accesorios se conectan por medio de cables bus blindados a una tarjeta electrónica o amplificador de señal y todo este sistema a una computadora para controlar el funcionamiento de los equipos. Los amplificadores de señal se utilizan para obtener información del sistema de control por medio del cable bus, la información que le envían al amplificador puede ser de 24 VAC, 10VDC o 0-4mA. La tarjeta electrónica se utilizan para el control de cada manejadora, además almacena parámetros para el funcionamiento de la manejadora, entre los parámetros más utilizados están:

horario de funcionamiento de la manejadora, temperatura de suministro y retorno de aire, control de la válvula de tres vías esta válvula tiene la función de abrir y cerrar cuando la tarjeta le envíe la señal, puede ser por medio de la temperatura de la manejadora y por el nivel de condensado dentro de la bandeja, cuando la temperatura de la manejadora es alta la válvula de tres vías se abre para que circule el agua dentro del serpentín y cuando la temperatura de la máquina esta baja se cierra para que el agua ya no pase por el serpentín sino que regrese al sistema de tubería, la caída de presión que existe entre el filtro y el ventilador, la caída de presión para el filtro se utiliza para conocer la suciedad del filtro. El sensor de CO<sub>2</sub> le envía la señal al sistema para que exista renovación de aire dentro del área a acondicionar y el sensor de humedad relativa para conocer la calidad de aire que existe en el sistema de acondicionamiento de aire. Las cajas de volumen variable se utilizan para regular el caudal de aire que existe en el sistema, tienen la función de abrir y cerrar la compuerta cuando el sistema de control se los indique puede ser por un parámetro de temperatura, o por caudal de aire en el sistema. Los variadores de frecuencia se utilizan para regular las RPM de los equipos de acondicionamiento de aire, pueden ser ventiladores y bombas, además almacenar información del equipo que controlan (voltaje del equipo, potencia, consumo de amperios, frecuencia, RPM, tipo de arranque, capacidad de funcionamiento, rampa para el paro y arranque).

Las bombas pueden ser controladas por el sistema ya sea en forma independiente o por medio de un variador de frecuencia que regulan el arranque y paro (0 a 100% y de 100 a 0%), es indispensable para disminuir vibraciones al sistema de tubería para aprovechar la vida útil del sistema.

El *chiller* tiene una tarjeta electrónica que puede controlar los parámetros utilizados para el funcionamiento; presión, temperatura de entrada y salida del agua, tipo de arranque y paro, porcentaje de la demanda de los compresores, por el cual ha sido programado, además puede detectar alarmas del funcionamiento por medio de un código de alarma para cada una, puede rotar el funcionamiento de los compresores y ventiladores axiales del *chiller* para minimizar el funcionamiento de los equipos y ahorrar energía eléctrica.

### **2.3.2 Voltaje y amperaje a utilizar en el edificio para los equipos de acondicionamiento**

El voltaje y amperaje para el edificio depende en gran parte de las especificaciones de los equipos que se utilizan en todo el edificio, en la mayoría de máquinas se pueden obtener voltajes para distintas conexiones, ya que el fabricante puede proporcionarlo.

Para el cálculo de voltaje, potencia y amperaje (para las manejadoras de aire el promedio de máquinas monofásicas esta hasta 5.5 T.R. mayores a esta capacidad máquinas trifásicas) de las manejadoras se pueden calcular por medio de un programa proporcionado por Carrier. Para las especificaciones eléctricas de los *chillers* y bombas se obtienen por medio del fabricante generalmente estos equipos son trifásicos de 480 voltios. Además el consumo de amperios de los *chillers* y las bombas puede variar con base a la demanda del sistema, ambos equipos pueden ser programados para distintos funcionamientos, los *chillers* pueden ser alternados entre si y cada *chiller* puede alternar la capacidad de sus compresores.

A continuación se presentan tablas con voltaje y amperaje para máquina en el acondicionamiento de aire:

1hp=746watts

110volt I=6.21amps

240volt I=3.1amps

480volt I=1.5amps

Mayor voltaje=menor amperaje

**Tabla XL. Descripción eléctrica de los equipos de acondicionamiento**

<b>Tipo de equipo</b>	<b>Especificación</b>	<b>No. fases</b>	<b>V</b>	<b>Amperios</b>
Manejadora	42DE006	1	208/230	0.73
Manejadora	42DE012	1	208/230	1.47
Manejadora	42DE020	1	208/230	2.94
Manejadora	40RMS008	3	208/230	9.4
Manejadora	40RMS012	3	208/230	13.3
<i>Chiller</i>	30XA200	3	480	194
Bomba centrífuga	B&G SERIE 1510	3	460	26

Fuente: Carrier Air Conditioning Company, Ministerio Guatemala. **Energy management system**. Pág. 3-14

### **2.3.3 Calibre de los conductores para cada equipo**

Para hallar el calibre de los conductores se toma la corriente máxima, voltaje y factor de potencia del equipo, longitud y coeficiente de conductividad del conductor.

Para equipos monofásicos  $A = 2 \times \text{Cos}\phi \times I_1 \times L / (C_c \times V)$

Para equipos trifásicos  $A = 1.73 \times \text{Cos}\phi \times I_1 \times L / (C_c \times V)$

A=área de sección transversal del conductor (m.m<sup>2</sup>.)

C<sub>c</sub>=conductividad del cobre (57m/Ωmm<sup>2</sup>)

I<sub>1</sub>= corriente alterna monofásica(A)

I<sub>2</sub>= corriente alterna trifásica (A)

Cosφ=factor de potencia

L=longitud del conductor (m)

**Tabla XLI. Dimensión y capacidad de conducción**

CALIBRE	ÁREA DE SECCIÓN TRANS. NOM.	NÚMERO DE HILOS	ESP. AISLAMIENTO NOMINAL	ESP. CUBIERTA NOMINAL	DIAMETRO EXTERNO TOTAL	PESO TOTAL	RES. ELÉCTRICA C.D MAX. A 20 °C	CAP. DE CORRIENTE MAX. 30° C
AWG/MCM	mm <sup>2</sup>	#	pulg.	pulg.	pulg.	kg/km	Ω/KM.	A
12	3.31	7	0.015	0.004	0.13	36	5.423	30
10	5.26	7	0.02	0.004	0.164	57	3.412	40
8	8.37	7	0.03	0.005	0.216	94	2.145	55
2	33.63	19	0.04	0.006	0.378	348	0.5337	130
250	126.7	37	0.06	0.008	0.712	1266	0.1417	290

Fuente: **National Electrical Code Handbook**. Pág. 888

Monoconductores eléctricos de cobre suave recocido, sólidos o cableados con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y protegido por una cubierta termoplástica de nylon diseñados para una utilidad máxima de 600 voltios.



**Tabla XLII. Temperatura máxima de operación**

Temperatura máxima	Tipo de ambiente
90°C	Ambientes secos o húmedos
75°C	Ambientes mojados

Fuente: Phelps Dodge. **Conductores Eléctricos THHN 600V**. Pág. 2

**Tabla XLIII. Interpretación de grabados en los conductores**

Grabado	Interpretación
THHN	Ambientes secos o húmedos, temperatura máxima en el conductor de 90 °C
THWN	Ambientes mojados, temperatura máxima en el conductor de 75 °C
MTW	Alambrado de herramientas eléctricas
SUNLIGHT RESISTANT	Resistente a los rayos ultravioleta de la luz solar
GAS&OIL RESITANT	Resistente a los hidrocarburos

Fuente: Phelps Dodge. **Conductores Eléctricos THHN 600V**. Pág. 2

**Tabla XLIV. Código de colores de los conductores en la instalación**

Negro/azul	Conductor <b>vivo</b> para circuitos de iluminación.
Rojo/azul	Conductor <b>vivo</b> para circuitos de tomacorrientes.
Blanco	Conductor <b>neutro</b> para todos los circuitos.
Verde	Conductor <b>puesta a tierra</b> para todos los circuitos.

Fuente: Phelps Dodge. **Conductores Eléctricos THHN 600V**. Pág. 2

Dimensiones y Capacidades de Conducción.

Para los calibres 14 AWG a 1 AWG se pueden obtener en colores negro, rojo, azul y verde y para calibre 1/0 AWG a 1000 MCM en color negro resistente a la intemperie.

**Tabla XLV. Calibre de conductores, manejadoras de aire**

MANEJADORAS	No. FASES	CALIBRE	V	Hz
42DE006	1	No. 12 THHN	208/230	60
42DE012	1	No. 12 THHN	208/230	60
42DE020	1	No. 12 THHN	208/230	60
40RMS008	3	No. 12 THHN	208/230	60
40RMS012	3	No. 12 THHN	208/230	60

Para el calibre de los *chillers* se utilizan dos conductores No.250 MCM por fase y dos conductores No. 2 THHN para tierra física.

**Tabla XLVI. Calibre de conductores, *chillers***

CHILLERS	No. FASES	CALIBRE	V	Hz
3XA200	3	No. 250 y 2	480	60

Y para la alimentación eléctrica de las bombas se utiliza un conductor calibre No. 8 THHN por fase y para la tierra física un conductor calibre No. 10 THHN.

**Tabla XLVII. Calibre de conductores, bombas centrífugas**

BOMBAS	No. FASES	CALIBRE	V	Hz
B&G SERIE 1510	3	No. 10 y 8	460	60

### 2.3.4 Diámetro de tubería para los sistemas de control y fuerza

Es indispensable encontrar el diámetro de la tubería para el sistema de fuerza según las especificaciones del *National Electrical Code* (NEC), para hallar el diámetro de la tubería se debe relacionar el calibre y cantidad de conductores que deben en un ducto, ver Tabla XLVIII. con información de los conductores y diámetro de ducto.

**Tabla XLVIII. Cantidad de conductores por ducto**

Calibre	Diámetro del ducto								
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"
AWG/MCM									
12	8	15	25	43	59	99	141	218	293
10	5	9	15	27	37	62	89	137	184
8	3	5	9	16	21	36	51	79	106
2	1	1	3	5	7	11	16	25	33
250	0	0	1	1	1	3	4	7	10

Fuente: **National Electrical Code Handbook 1996**. Pág. 999

Los materiales que se utilizan en los sistemas de fuerza para los equipos de acondicionamiento de aire son: tubería conduit galvanizada y tubería ducton de varias medidas.

En el sistema de tubería principal de fuerza para las manejadoras se utilizan dos tubos ducton  $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ ", y la línea de distribución para cada manejadora tubería ducton de  $\varnothing \frac{3}{4}$ " para un total máximo de cuatro conductores calibre No. 12 (solo para manejadoras trifásicas).

Para los *chillers* se utiliza tubería conduit galvanizada Ø 4" esto es debido a que la alimentación de los *chillers* es de 480 voltios trifásico, con dos conductores calibre No. 250 por fase y dos conductores calibre No. 2 para la tierra física.

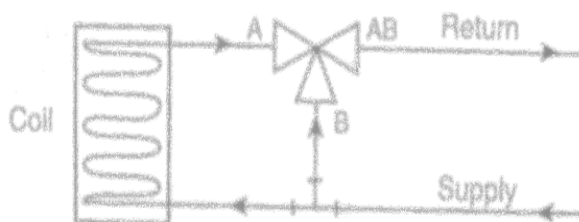
Para el sistema de fuerza de las bombas centrífugas, se utiliza tubería conduit galvanizada de Ø 1" para alimentación de 460 voltios trifásico, con un conductor calibre No. 8 por fase y un conductor calibre No. 10 para la tierra física.

Y para el sistema de control inteligente se utilizo tubería PVC de Ø ¾" ya que el sistema de control únicamente utiliza dos cables bus de comunicación como máximo.

### 2.3.5 Ubicación y acople de los accesorios del control inteligente

Las manejadoras utilizan varios tipos de sensores en el sistema de control inteligente, de los cuales podemos mencionar: válvula de tres vías, sensor de temperatura para retorno y suministro de aire, diferencial de presión y guardanivel de condensado, estos sensores se conectan por medio de un cable bus de tres hilos blindado a una tarjeta electrónica para cada manejadora de aire, cada tarjeta electrónica esta conectada en paralelo al sistema de cada nivel, y los extremos del cable uno esta conectado a la ultima tarjeta del nivel y el otro al amplificador de señal (*Bridge*) en cada nivel. La válvula de tres vías varia en el tamaño del diámetro de las entradas al sistema de tubería de agua (el fabricante de las manejadoras recomienda la válvula de tres vías acorde al tamaño de la manejadora), la válvula de tres vías se conecta en el retorno de cada manejadora al sistema de tubería, cuando la válvula esta abierta el agua pasa por el serpentín de la manejadora y el flujo pasa del punto A hacia AB y cuando la válvula esta cerrada el agua no pasa por el serpentín sino se desvía del punto B a AB.

**Figura 37. Diagrama de la válvula de tres vías**



Fuente: BELIMO. **B3 Series Characterized Control Valve**. Pág. 19

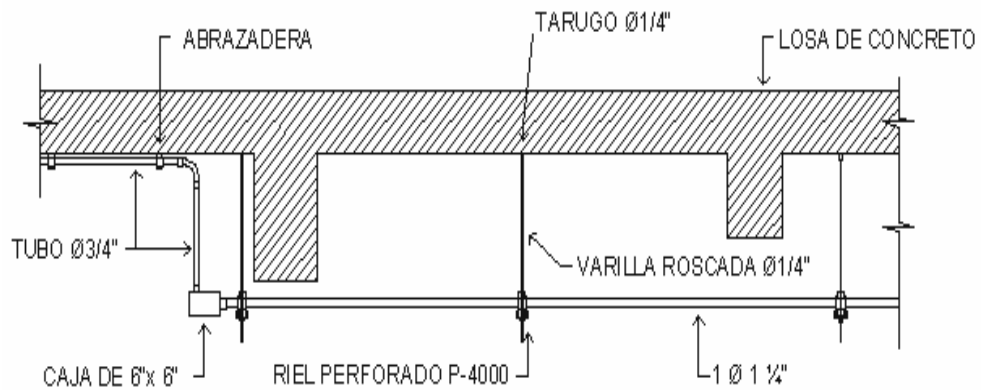
Los sensores de temperatura se colocan en el ducto de retorno y suministro de la manejadora, el diferencial de presión se coloca en el ducto de suministro de aire de cada manejadora y se conectan 2 mangueras de  $\text{Ø } \frac{1}{4}$ " una el ducto de suministro y la otra en el retorno (presión alta y baja) con esta diferencia determina el funcionamiento de la manejadora. El guardanivel se acopla en la bandeja de condensado de la manejadora por medio de tornillos de fijación, siempre se debe verificar el desnivel de la bandeja de condensación del serpentín para colocar el guardanivel.

Cada bomba centrífuga tiene un diferencial de presión que se coloca entre la descarga y succión de la bomba (reducidores de acero al carbono), en la descarga de la bomba se coloca un manómetro de presión para conocer la presión del sistema.

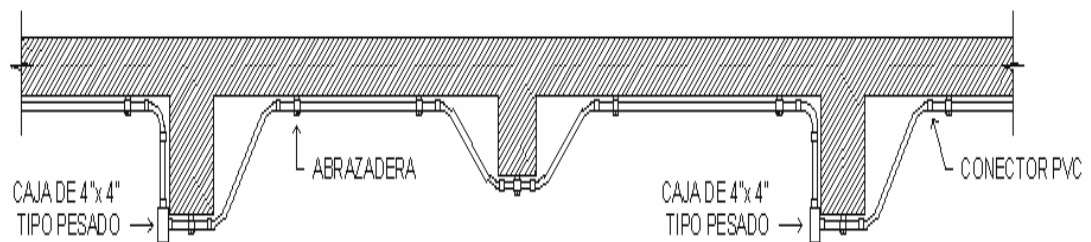
### **2.3.6 Anclaje de la tubería del sistema de control y fuerza**

Para el sistema de control inteligente la tubería se ancla a la losa y vigas por medio de abrazaderas *hanger* de  $\frac{3}{4}$ ", el detalle de paso de tubería se debe a que se necesita espacio para que trabajos posteriores como cableado estructurado, tubería de agua potable, drenaje, canaleta para iluminación, fuerza normal y regulada, sistema de ductería, tubería de agua fría, etc. El detalle de paso de tubería se define a continuación:

**Figura 38. Soportería del sistema de fuerza  $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " y  $\varnothing \frac{3}{4}$ "**

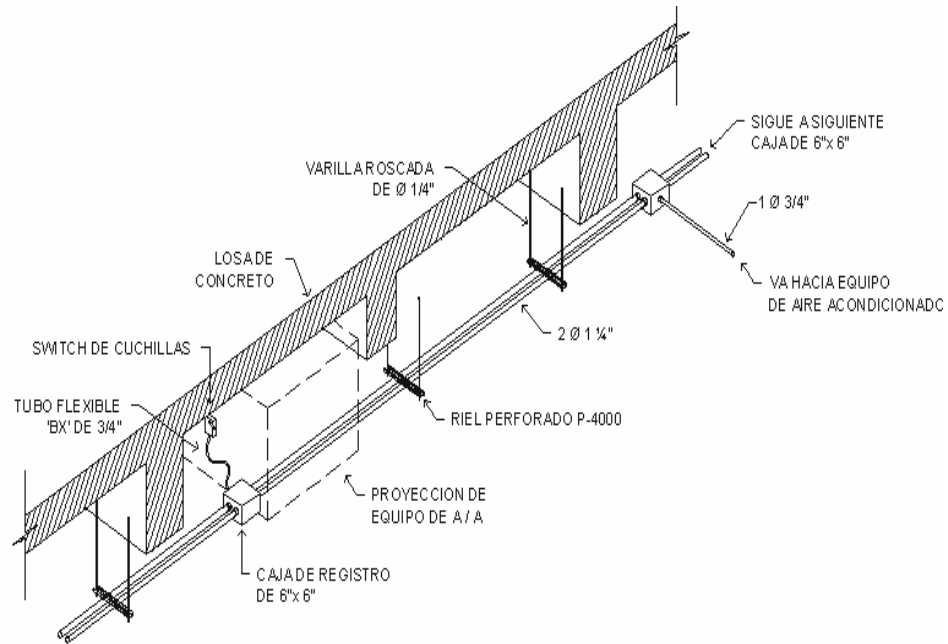


**Figura 39. Tubería para los sistemas de fuerza y control  $\varnothing \frac{3}{4}$ " en vigas y losa**



Para el sistema principal de fuerza se utiliza dos tubos ducton de  $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " y para el sistema de soportería se utilizan rieles perforados P-4000, tarugos, tuercas, roldadas y varilla roscada de  $\varnothing \frac{1}{4}$ ", mientras que para la tubería ducton de  $\varnothing \frac{3}{4}$ " ver detalle Figura 39 abrazaderas *hanger* y para unir el sistema de tubería de fuerza y control con las manejadoras se utiliza tubería flexible bx de  $\varnothing \frac{3}{4}$ " ver detalle siguiente.

**Figura 40. Detalle del sistema de fuerza para manejadoras**

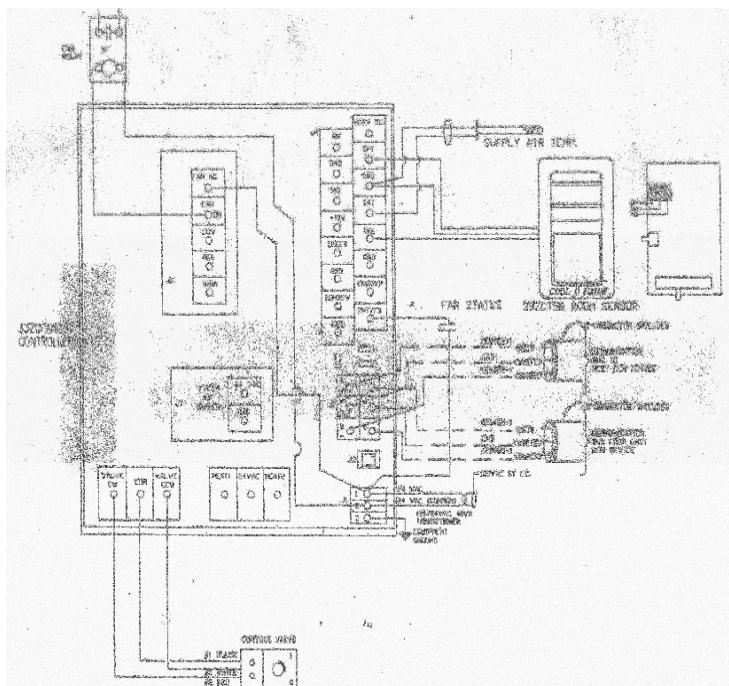


### **2.3.7 Conexión de los accesorios del sistema de control y fuerza**

Todos los sensores de las manejadoras de aire se conectan por medio del diagrama siguiente:



Figura 41. Diagrama de la tarjeta electrónica



Fuente: Carrier Air Conditioning Company, Ministerio Guatemala. **Energy management system**. Pág. 2/14

La conexión de los sensores con la tarjeta electrónica se hacen por medio del cable bus blindado y tubería bx de  $\text{Ø } \frac{3}{4}$ ", la tubería bx se utiliza para que tenga flexibilidad entre el sistema de control y la manejadora de aire, para la válvula de tres vías (*control valve*), la conexión debe ser por medio de los colores del cable para que funcione correctamente, mientras que el diferencial de presión (*fan status*), guardanivel de condensado y los sensores de temperatura no tienen polaridad para conectar, pero se recomienda conectar por medio de los colores que el fabricante indique (rojo positivo, negro negativo y blanco neutral) además se deben empalmar correctamente los accesorios de la manejadora para evitar mal funcionamiento del sistema.

La bomba se conecta al variador de frecuencia y los variadores se conectan al amplificador de señal, los variadores regulan el arranque y paro de las bombas además controlan el diferencial de presión, y los *chillers* se conectan al amplificador de señal.

Y para la conexión del sistema de fuerza para las manejadoras se indica por medio de las tablas siguientes:

**Tabla XLIX. Especificaciones eléctricas, manejadoras de aire**

<b>MANEJADORAS</b>	<b>No. FASES</b>	<b>CALIBRE</b>	<b>V</b>	<b>Hz</b>
42DE006	1	No. 12	208/230	60
42DE012	1	No. 12	208/230	60
42DE020	1	No. 12	208/230	60
40RMS008	3	No. 12	208/230	60
40RMS012	3	No. 12	208/230	60

En la entrada de las manejadoras de aire se coloca tubería bx para los conductores, la conexión de los equipos se realiza según el tipo de máquina ver Tabla XLIX, siempre se recomienda identificar el número de circuito para evitar confusiones a la hora de conectar los equipos al tablero principal, en las máquinas monofásicas 230 voltios, se conectan dos hilos vivos, un neutral y la conexión a tierra y los sistemas trifásicos utilizan tres líneas vivas además de conectar a tierra, es importante conectar correctamente las líneas para evitar que se invierta la rotación de la manejadora.

El sistema de fuerza de las bombas viene de la subestación del noveno nivel, se conecta de la subestación al variador de frecuencia luego del variador a la bomba de agua.

**Tabla L. Especificaciones eléctricas, bombas centrífugas**

<b>BOMBAS</b>	<b>No. FASES</b>	<b>CALIBRE</b>	<b>V</b>	<b>Hz</b>	<b>HP</b>
B&G SERIE 1510	3	No. 10 y 8	460	60	20

En la conexión del sistema de fuerza para los *chillers* es importante verificar la secuencia entre las líneas, ya que si la secuencia esta invertida puede causar daños al compresor, se conectan las tres líneas vivas de 480 voltios y la puesta a tierra al panel principal. Y el sistema de control se conecta desde el amplificador de señal (azotea) a cada panel de control de cada *chiller* en paralelo con el cable bus, siempre el rojo (+), negro (-), blanco (neutral) y el blindaje puesta a tierra.

**Tabla LI. Especificaciones eléctricas, *chillers***

<b>CHILLER</b>	<b>No. FASES</b>	<b>CALIBRE</b>	<b>V</b>	<b>Hz</b>
3XA200	3	No.250 y 2	480	60

**Figura 42. Panel de control, *chiller* 30XA200**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

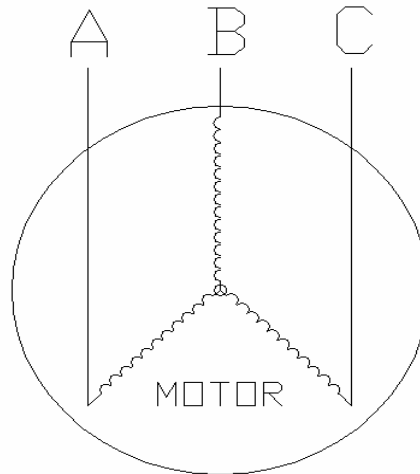
### **2.3.8 Desviación del voltaje entre las líneas para los equipos de acondicionamiento**

Para el arranque de las máquinas de acondicionamiento de aire, se deben revisar antes de ser arrancadas, ya que puede existir un desbalance mayor de lo permitido entre las fases de cada línea, cuando el desbalance de voltaje es  $\geq$  del 2 % no se debe operar el motor. El porcentaje de desbalance se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{desbalance} = 100 \times V_{\text{max des}} / V_{\text{prom}}$$

$$V_{\text{prom}} = (AB + BC + AC) / 3$$

**Figura 43. Líneas trifásicas de un motor**



Fuente: Manual Carrier. **Installation, star-up and service instructions, packaged air-handling units.** Pág. 21

%desbalance=porcentaje de desbalance

V<sub>max des</sub>=voltaje máximo de desviación entre fases

V<sub>prom</sub>=voltaje promedio

A, B, C=línea A, línea B y línea C

Ejemplo:

400 Voltios-3 Fases-60 Hz

(AB) 397-393=4 V

(BC) 403-397=6 V

(AC) 397-396=1 V

Máxima desviación 6 V

Porcentaje de desbalance

% Voltaje de desbalance= $100 \times 6 / 397$

% Voltaje de desbalance=1.5%

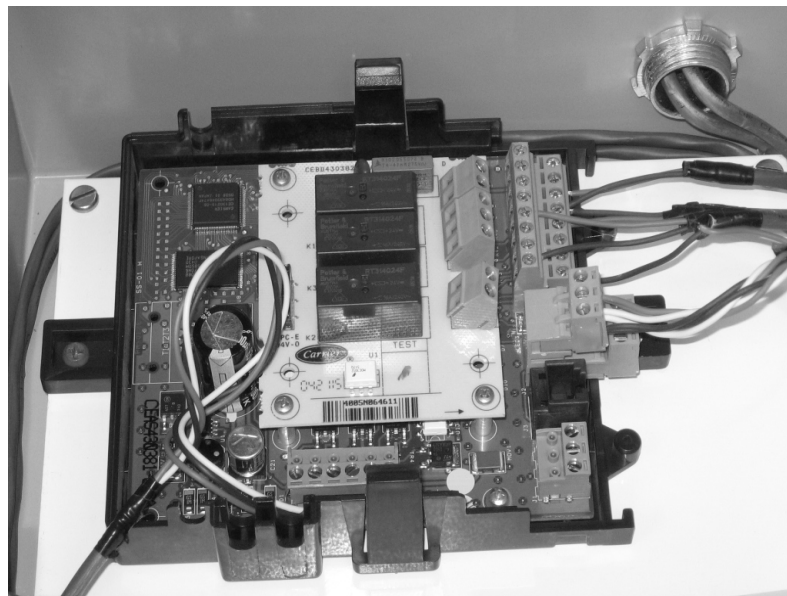
También es importante verificar el voltaje que tiene el sistema ya que puede tener mucha desviación de voltaje total del sistema, aunque a veces los equipos HVAC están diseñados para una fluctuación del  $\pm 10\%$  de voltaje total no se recomienda arrancar los equipos con un voltaje fuera de los límites.

### **2.3.9 Señal para los accesorios de control inteligente**

El sistema de control inteligente es capaz de controlar y manejar la totalidad de los equipos de aire acondicionado, de tal manera que se obtenga un sistema operado en forma automática, bajo los parámetros de operación más eficiente y respondiendo continuamente a las condiciones de confort del edificio, de manera segura y confiable. El comando reside en el control central, operado desde la sala de control (Cuarto de monitoreo sótano 1), o bien con acceso desde una red de comunicación local (LAN), estación remota o por medio de internet (WAN). El sistema permite la programación de horarios normales durante cada día del año, programación especial para fines de semana, o actividades especiales. Parámetros para diferentes horas del día, arranque secuencial de todos los equipos del sistema con base a la demanda, carga térmica o cambio de parámetros internos de operación.

Las manejadoras de aire de cada nivel deben ser programadas y dirigidas desde el control central, para mantener las condiciones de confort en cada una de las áreas acondicionadas de manera individual, se direccionan por un número de nivel y número de manejadora, las tarjetas se conectan por medio de un cable bus blindado y la señal de salida de los sensores es de 24 VAC, este voltaje se obtiene por medio de un transformador con salida de 24 VAC, que se conecta a la tarjeta y a un *relay* para obtener la señal, dicha tarjeta almacena información para cada manejadora. Controla la bandeja de condensado, temperatura de aire suministro y retorno, diferencial de presión, suciedad del filtro, horario de funcionamiento, el tipo de arranque y control de la válvula de tres vías.

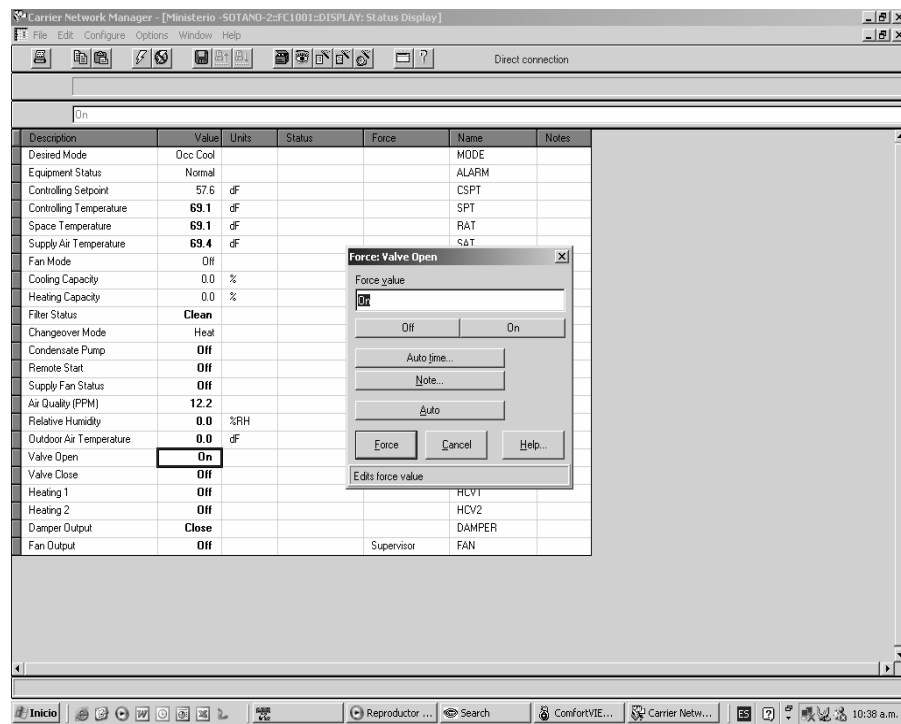
**Figura 44. Tarjeta electrónica de manejadoras**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

La tarjeta de control de cada manejadora contiene diversidad de información, contiene parámetros del funcionamiento de la manejadora, estos parámetros pueden controlarse por medio del control central, varios parámetros pueden funcionar en forma manual o automática ver Figura 45 *Status Display*:

**Figura 45. Status Display de las manejadoras de aire, sistema CCN**

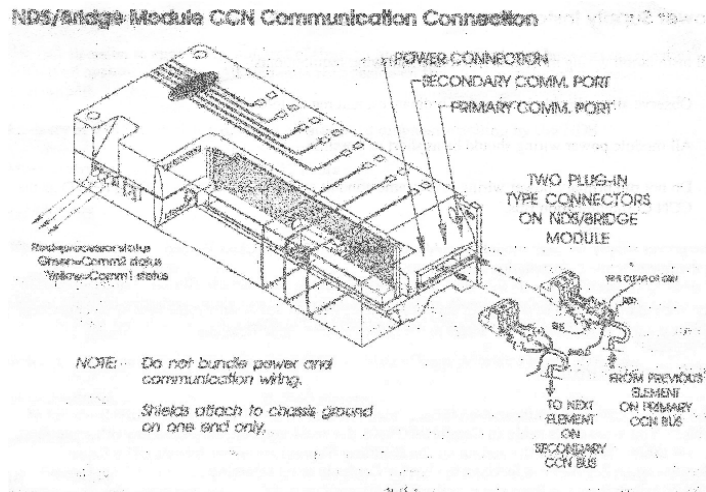


Fuente: Carrier Network Manager. **Ministerio Público-Sótano 2- FC10-01**

La conexión del sistema en cada nivel esta conectado en paralelo para cada manejadora de aire con los cables bus blindado que se conectan a un controlador local en cada nivel (*Bridge*).

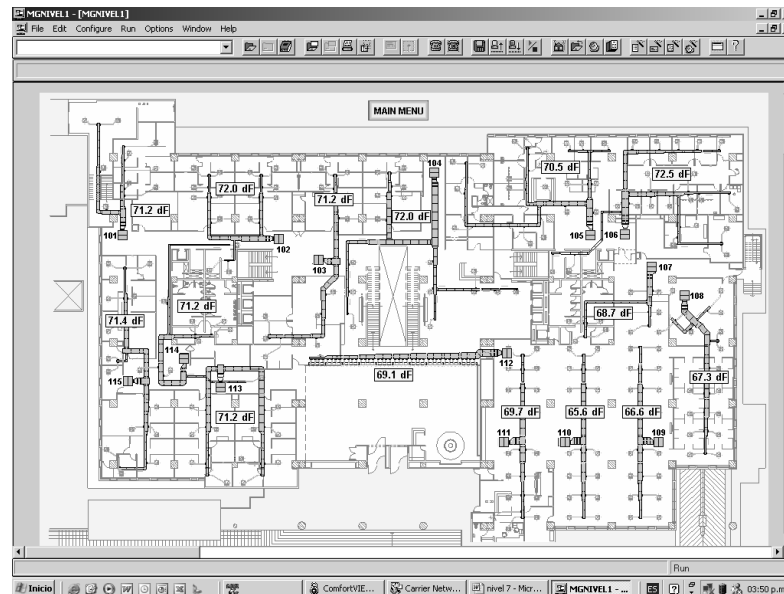


Figura 46. Amplificador de señal, sistema CCN



Fuente: Carrier Comfort Network. Pág. 3-8

Figura 47. Distribución de las manejadoras de aire, sistema CCN



Fuente: Carrier Network Manager. Ministerio Público-Nivel 1

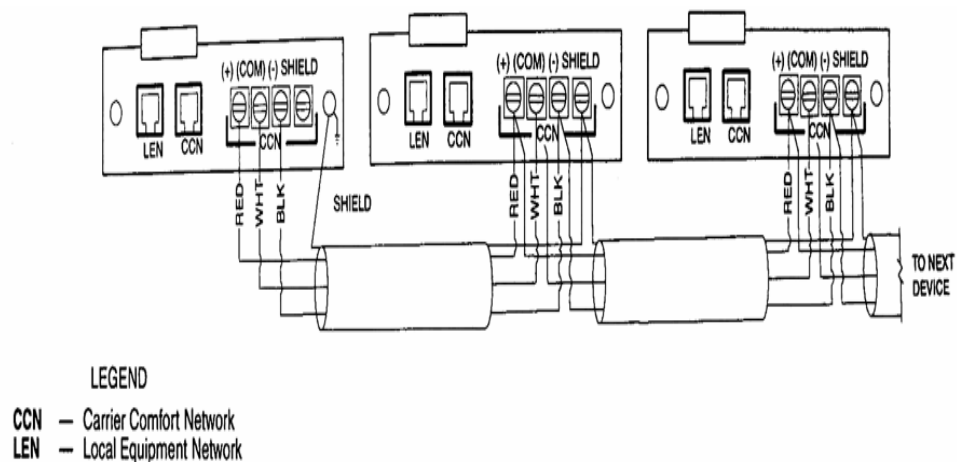
Para ver los parámetros de funcionamiento de la manejadora se pueden saber por medio de la gráfica de distribución de manejadoras de aire, esta gráfica tiene acceso directo para cada manejadora de aire.

Para el sistema de enfriamiento, el sistema CCN (*Carrier Comfort Network*), se encarga del arranque y paro de cada uno de los equipos utilizados para el sistema de enfriamiento, la toma de carga según las condiciones del sistema de tal manera que se mantenga en la franja de operación en condiciones óptimas tanto en el uso de la energía eléctrica y confort del sistema en forma totalmente automática y de acuerdo con los algoritmos de programación desarrollados por Carrier. La comunicación del cable bus para los *chillers* es importante cuando se conecta a un sistema de control inteligente, el cable bus de comunicación debe conectarse por los códigos de colores, para facilitar la instalación, el rojo se recomienda usar para signo positivo, el negro para signo negativo y el blanco para tierra, siempre usar cables con colores similares, para cada elemento del sistema

Si la comunicación del cable bus que existe esta dentro de un edificio conectar solo en un punto la tierra en la tapa.

Y si la comunicación del cable bus que existe esta de un edificio a otro debe ser conectado a tierra en un punto donde pasa el cable en cada edificio (solamente un punto por edificio).

**Figura 48. Conexión del cable bus a *chillers***

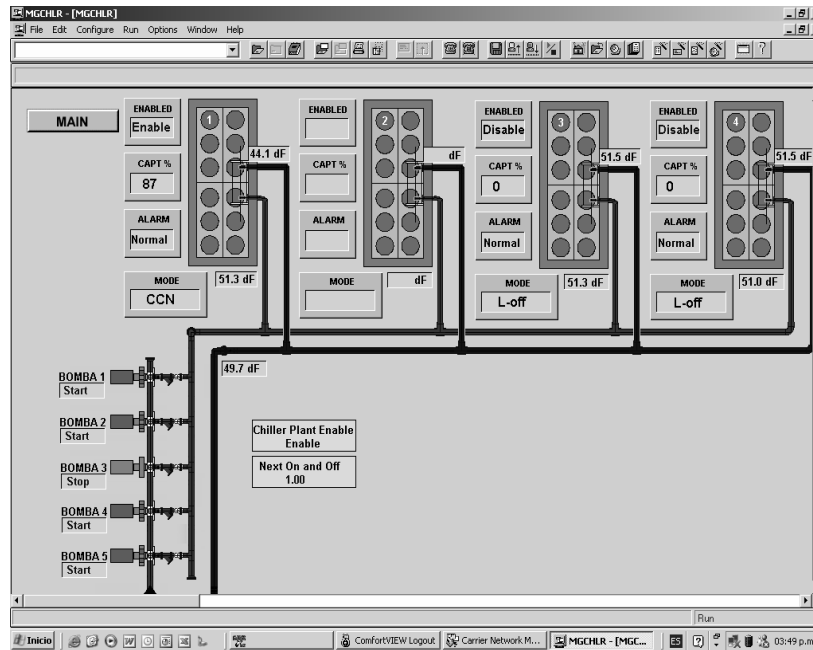


Fuente: Manual Carrier. **Aquaforce 30XA080-500, air-cooled liquid chillers.** Pág. 40

Conexión de la unidad a la red:

1. Desenergizar la caja de mando.
2. Cortar los cables del CCN (*Carrier Comfort Network*) y el punto final del cable al amplificador de señal, los cables de color rojo (+), blanco (común) y negro (-). Cuando se necesita sustituir los cables utilizar colores similares para facilitar la instalación.
3. Conectar el cable rojo a la terminal (+), el cable blanco a la terminal común y el cable negro a la terminal (-) y el blindado a tierra.
4. También puede utilizarse un conector para el control de CCN, solo si se utiliza la conexión temporal (por ejemplo, a una computadora portátil de servicio).
5. Además se pueden instalar accesorios opcionales para los *chillers* una de ellas el tipo de arranque, como el modulo de dirección remoto, donde las aplicaciones del monitoreo lo requiera, carga de accesorios mínimos, baja temperatura de operación, accesorios de comunicación, opciones de servicio, protección de accesorios/seguridad de las unidades.

Figura 49. Distribución de las bombas y *chillers*, sistema CCN



Fuente: Carrier Network Manager. **Ministerio Público-Nivel 9**

Los variadores de frecuencia se programan de acuerdo con los parámetros de cada bomba, frecuencia, voltaje, consumo de amperios, potencia al freno, número de revoluciones por minuto (RPM), lapso para regular el caudal en el paro y arranque, (rampa de 30 segundos al porcentaje indicado), además regula el voltaje de cada línea, y todos los controladores locales (amplificadores de señal) de cada nivel están conectados en paralelo al controlador central, en donde pueden ser controladas todas las máquinas de acondicionamiento de aire de todo el edificio, manejadoras, variadores de frecuencia, bombas y *chillers* por medio de una computadora con un programa de control del sistema, que contiene todos los parámetros para cada máquina en el acondicionamiento de aire.

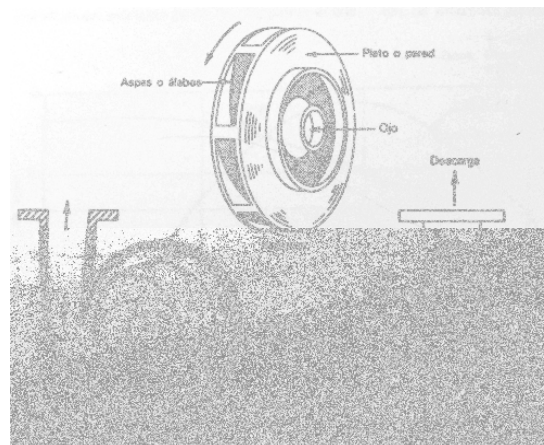
El controlador central se comunica con cada uno de los *chillers*, y desde este pueden ser monitoreados todos los parámetros de operación de cada máquina, que incluyen presión del refrigerante, lubricación, temperatura de entrada y salida del agua (manejadoras y *chillers*), porcentaje de capacidad de carga para cada compresor (cada *chiller* tiene dos compresores), voltaje y amperaje de cada compresor, desbalance de fases, toda esta información puede brindar individualmente cada sistema para su adecuada operación y mantenimiento y el manejo del panel general de alarmas internas de los equipo.

## 2.4. Circulación del agua fría en el sistema

### 2.4.1 Características de las bombas de agua

Las bombas centrífugas frecuentemente son utilizados en los sistemas de acondicionamiento de aire, da la presión necesaria para vencer la resistencia al flujo de un líquido en un sistema de tubería. Eleva la presión del agua al aumentar primero su velocidad para convertir esa energía de velocidad en energía de presión. El impulsor es la parte que transmite la energía al agua, esta fluye desde el tubo de succión de la bomba y entra a la abertura del centro del impulsor, llamado ojo. El impulsor gira, movido a su vez por un motor u otra máquina. El agua se impulsa en dirección centrífuga debido al movimiento de los alabes o aspas del impulsor. La velocidad del agua aumenta mucho en esta acción. La carcasa de la bomba contiene y guía a el agua hacia la abertura de descarga.

**Figura 50. Componentes de las bombas centrífugas**

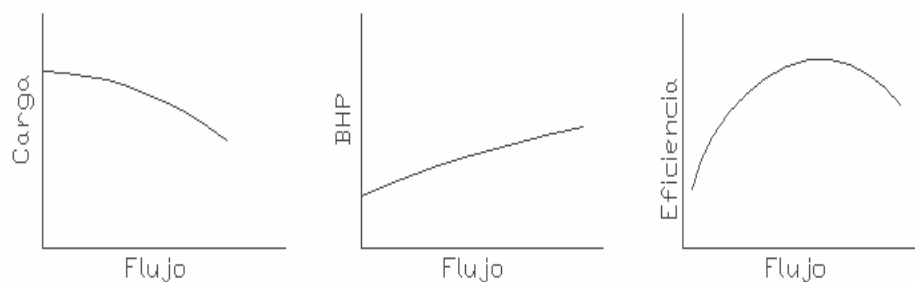


Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 312

Las características se representan en general en forma de curvas para cada bomba las cuales son: la presión o carga que puede desarrollar, el flujo que entrega, la potencia necesaria para impulsarla y su eficiencia.

Estas curvas se utilizan para determinar la bomba adecuada de diseño, la curva carga-flujo de una bomba centrífuga desarrolla menos presión o carga a flujos mayores, el BHP-flujo es directamente proporcional al flujo a mayor flujo mayor potencia al freno y la curva eficiencia-flujo al principio es cero luego aumenta conforme aumenta el flujo llegando a un punto máximo, luego disminuye al llegar al flujo máximo, la gráfica esta hecha para una variación limitada de capacidad, las escalas de carga, eficiencia y BHP se seleccionan de manera que no coinciden sus líneas de cero y algunas veces estas escalas se amplían tanto que su desarrollo total no se puede ver en la figura.

**Figura 51. Curvas características de funcionamiento, para las bombas centrífugas**



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 313

Para el diseño del sistema de acople de las bombas, se utiliza el método de circuito en paralelo para las bombas, el gasto volumétrico total es la suma de cada bomba. Las bombas centrífugas serán reguladas por medio de un variador de frecuencia, el cual está conectado al sistema de control inteligente, con este sistema se podrá regular las RPM para obtener el caudal de consumo del sistema.

#### **2.4.2 Caudal mínimo y máximo para el circuito de agua**

Para determinar la variación del caudal de la bomba es necesario conocer la capacidad de los *chillers*, para la circulación del agua del sistema, este valor se obtiene por medio de la ecuación que relaciona la carga de enfriamiento, diferencial de temperatura a utilizar y flujo de agua.

Para los sistemas de bombas en paralelo, el caudal total es la suma de los caudales de cada bomba en el sistema y se define como la relación:

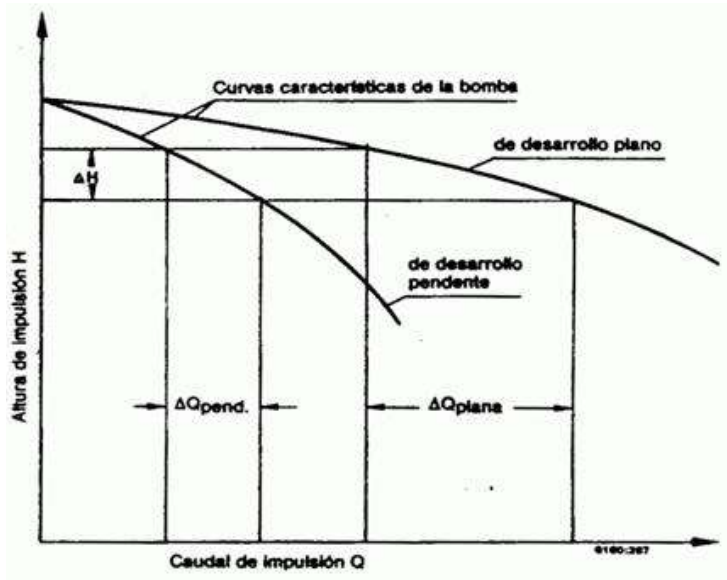
$$GPM_T = GPM_{b1} + GPM_{b2} + GPM_{b3} + GPM_{b4}$$

$GPM_{b1, 2, 3 \text{ y } 4}$  =caudal para cada bomba GPM.

$GPM_T$  =caudal total del sistema GPM.



Figura 52. Curvas características de desarrollo plano-pendiente, para las bombas centrífugas



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas.** Pág. 317

$$Q = mxc\Delta T$$

$$GPM_T = Q/(500 \times \Delta T)$$

Q=cantidad de calor total, BTU/h

c=1.0 BTU/lb-°F

m=flujo de agua, lb/h

ΔT=cambio de temperatura del agua, °F

GPM<sub>T</sub>=flujo total del agua del sistema, GPM

GPM<sub>b 1, 2, 3 y 4</sub>=caudal para cada bomba, GPM

Aproximadamente

$$1 \text{ GPM} = 500 \text{ lb de agua/h}$$

Caudal nominal

$$\text{GPM}_T = 9912000 / (500 \times (55 - 44))$$

$$\text{GPM}_{b1,2,3 \text{ y } 4} = 450.54 \text{ GPM}$$

Para hallar el caudal mínimo y máximo de cada bomba de agua se utilizan los valores del fabricante de los *chillers*, la caída de presión en el sistema es la misma para cualquier punto.

Caudal mínimo para cada bomba a 40 y 45°F

$$\text{GPM}_{b1,2,3 \text{ y } 4} = 223 \text{ GPM}$$

Caudal máximo para cada bomba a 60 y 70°F

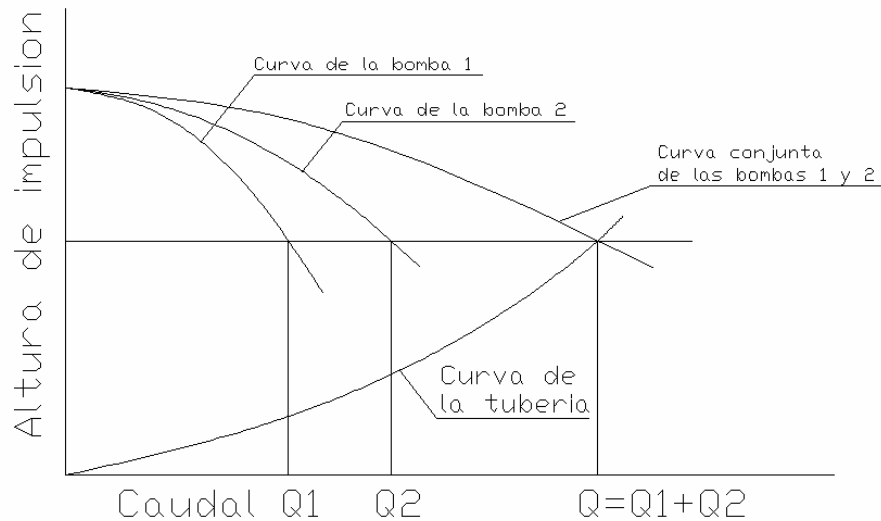
$$\text{GPM}_{b1,2,3 \text{ y } 4} = 892 \text{ GPM}$$

Datos extraídos del Manual Carrier. *Aquaforce 30XA080-500, Air-Cooled Liquid Chillers*. Pág. 30.

### **2.4.3 Caída hidráulica de las bombas de agua**

Las características de las bombas se determinan por medio de la caída de presión del sistema y el circuito de las bombas (serie y paralelo). Las características de las bombas tienen gran aplicación para el diseño de sistemas de acondicionamiento, la caída hidráulica de las bombas varía según su construcción por el cual fue diseñado, existen varios tipos de curvas para esta característica, una de ellas con una curva plana y la otra con una pendiente pronunciada, la curva con pendiente pronunciada se utiliza para diseñar sistemas con un aumento de resistencia gradualmente respecto al tiempo y la curva plana cuando el flujo se considera constante.

**Figura 53. Curva característica del sistema de dos bombas en paralelo y caída del sistema**



Las curvas características de los sistemas y de las bombas se pueden graficar juntas ver Figura 53, esto es útil para analizar problemas de operación. La carga desarrollada por las bombas debe ser igual a la pérdida de presión del sistema. El único punto por el cual vale lo anterior es cuando se intersectan las curvas de carga del sistema y de las bombas.

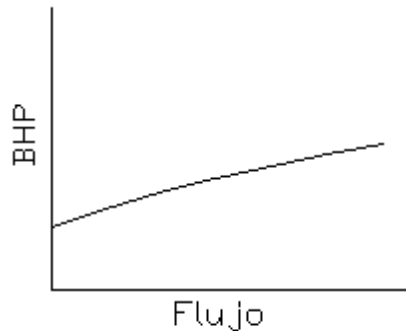
El punto de intersección de las curvas carga-flujo características del sistema y características de las bombas, siempre es la condición real de operación para la combinación del sistema-bomba.

La caída hidráulica o pérdida no esta disponible como energía útil, típicamente, las pérdidas son tomadas en cuenta solo cuando se calcula la eficiencia, la cual se define como la relación entre la energía útil realmente transmitida al fluido y la potencia que entra en el eje.

#### 2.4.4 Potencia al freno de los motores

Para hallar las especificaciones de las bombas es necesario conocer la caída hidráulica del sistema (85.17 pies), el fabricante de las bombas recomienda el tipo de bombas a utilizarse ya que analiza el comportamiento de las bombas con la carga hidráulica del sistema con base a las características de las curvas de BHP, flujo y potencia de las bombas. Para hallar las capacidades de las bombas se deben coincidir las características de las curvas de la bomba con la curva de la carga del sistema.

**Figura 54. Característica de la curva BHP-flujo para las bombas centrífugas**



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 313

La potencia necesaria para impulsar a una bomba se llama potencia al freno, (BHP, *Brake Horsepower*). La curva BHP-flujo indica que aumenta con el flujo para cualquier bomba centrífuga.

Los BHP es la potencia consumida por una bomba. La potencia producida es la que se transmite al agua, que se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$\text{BHP}_{\text{cada bomba}}=20 \text{ HP}$$

$$\text{HPH}=\text{GPM} \times \text{H}_f \times \text{ge} / 3960$$

HPH=potencia hidráulica (potencia producida) de la bomba, HP

GPM<sub>b 1, 2, 3 y 4</sub>=caudal para cada bomba, GPM

H<sub>f</sub>=carga total de la bomba, pies

HPH<sub>cada bomba</sub>=potencia hidráulica para cada bomba, HP

ge=gravedad específica del líquido para el agua es igual a 1

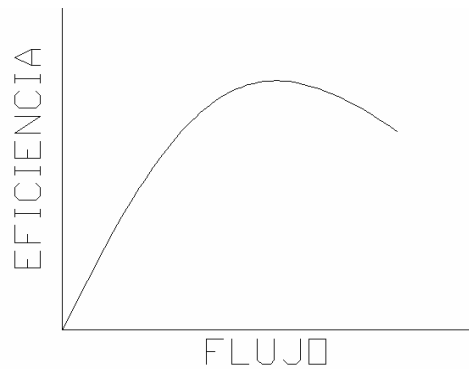
$$\text{HPH}_{\text{cada bomba}}=500 \times 91 \times 1 / 3960$$

$$\text{HPH}_{\text{cada bomba}}=11.48 \text{ HP}$$

#### **2.4.5 Eficiencia de las bombas de agua**

La potencia consumida de una bomba es siempre mayor que la potencia entregada, debido a la fricción y a otras pérdidas inevitables, no se aconseja que una bomba trabaje cerca de su capacidad máxima, aun cuando esto conlleve elegir una bomba más pequeña. El flujo del sistema que realmente se requiere es mayor que aquel para el que se diseñó, la bomba no tendrá la capacidad adicional necesaria. Se recomienda seleccionar una bomba cuya capacidad oscile entre 50% y 75% del flujo máximo también que trabaje cerca del punto de máxima eficiencia, generalmente este punto se encuentra en medio de las capacidades del flujo de la bomba.

**Figura 55. Característica de la curva eficiencia-flujo para las bombas centrífugas**



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas**. Pág. 313

La eficiencia de una bomba centrífuga se define como:

$$E=(\text{HPH}/\text{BHP})\times 100$$

$$E=(\text{HPH}/\text{BHP})\times 100$$

$$E=(11.48/20)\times 100$$

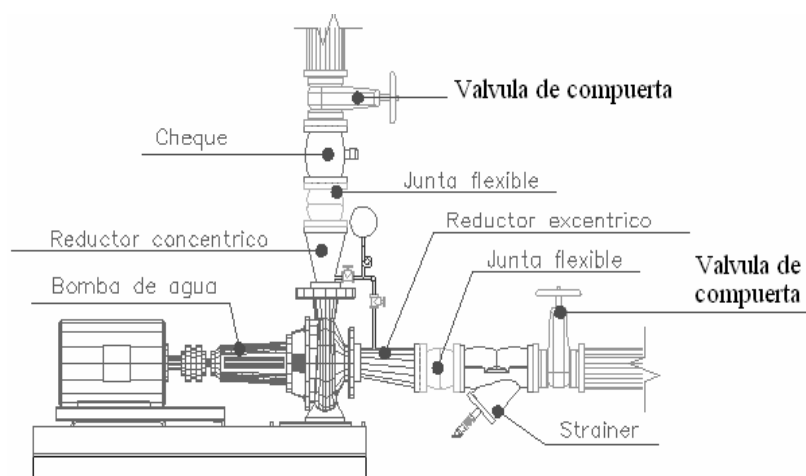
$$E=57.4 \%$$

#### **2.4.6 Acople y anclaje de las bombas de agua**

Para el acople del sistema de tubería de succión a la bombas debe ser igual a 5 veces el diámetro del tubo (tubo de succión  $\varnothing$  10”), entonces la longitud mínima de acople es de 4 pies, si no se cuenta con esta longitud para acoplar se deben utilizar difusores de succión para evitar turbulencia en el fluido.

Los materiales utilizados para el acople de las bombas de agua son: reductores concéntricos y excéntricos, niples de acero al carbono cedula 40, filtros tipo Y, válvulas de compuerta, válvulas de cheque, juntas de expansión, manómetros y diferenciales de presión.

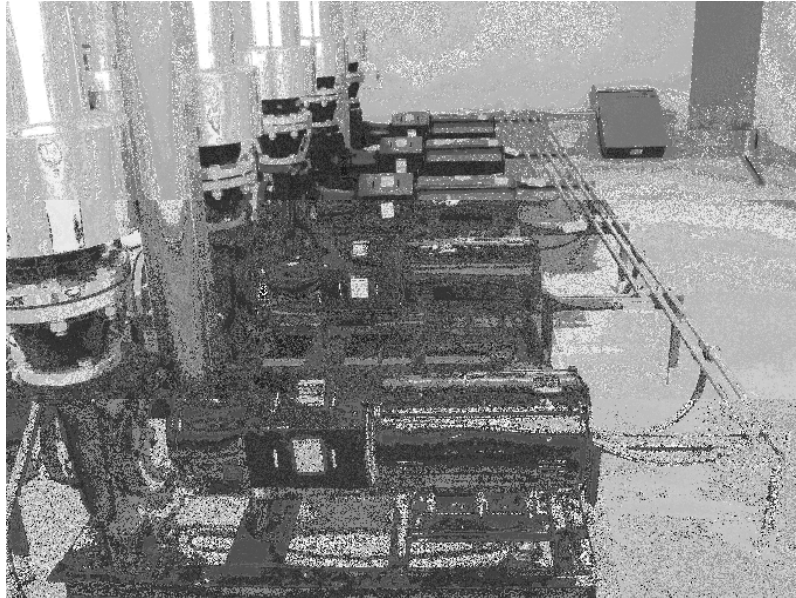
**Figura 56. Detalle típico de bomba centrífuga**



Para acoplar los accesorios es necesario alinear y nivelar el acople de las bombas al sistema de tubería, a la hora de soldarlos, ya que no debe existir mucha desalineación entre la bomba y el sistema de tubería.

Las bombas son ancladas por medio de antivibradores en el patín de concreto, ambos se sujetan con tarugos de expansión y tornillos de  $\text{Ø } \frac{1}{2}$ ". Para la construcción del patín de concreto la relación utilizada de la mezcla es de 1 parte de cemento,  $2 \frac{1}{2}$  agregado fino,  $4 \frac{1}{2}$  de agregado grueso y  $\frac{1}{2}$  de agua por metro cúbico, ya que con esta relación la resistencia y calidad del concreto esta principalmente relacionada con la relación agua-cemento de la pasta y con la granulometría y tipo de partículas de los agregados.

**Figura 57. Anclaje de las bombas centrífugas**



Fuente: Bell & Gossett. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

**Figura 58. Acople de accesorios, circuito de tubería**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala



## **2.5. Sistema de enfriamiento de agua**

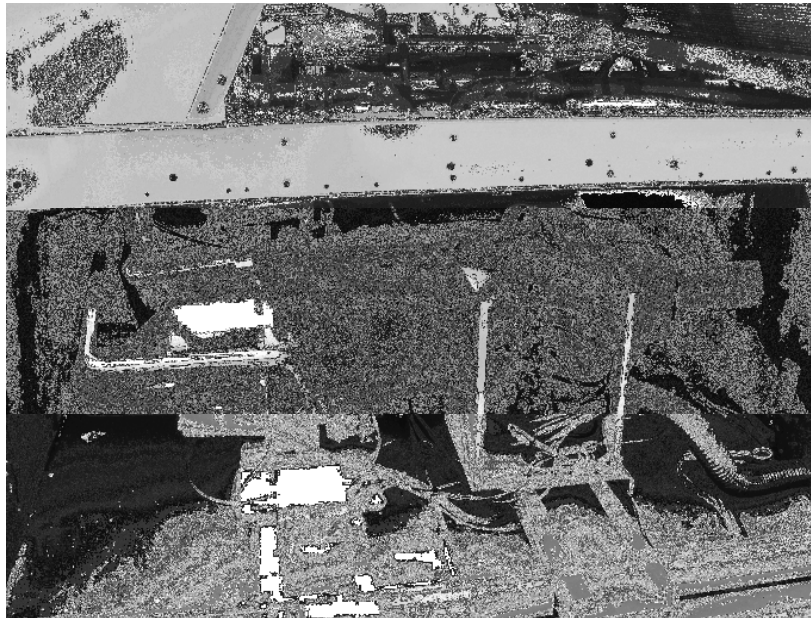
### **2.5.1 Características de los *chillers***

Los sistemas de enfriamiento que emplean agua fría no tienen categorías de temperatura. La temperatura de suministro que se necesita en estos sistemas depende de la deshumidificación necesaria y por lo general varía entre 40 °F y 50 °F. El aumento de temperatura en el sistema va normalmente de 5 °F a 15 °F. En este caso también, se deben tomar en cuenta grandes aumentos de temperatura al proyectar, con el fin de reducir el consumo de energía. Los fabricantes sugieren a menudo los rangos deseables de temperatura para sus equipos de enfriamiento. Entre las características importantes de los *chillers* están: la capacidad de los compresores, evaporador, condensador, ventiladores de descarga axial, (cada *chiller* utiliza 2 compresores), presión máxima en el *cooler* (220 psig refrigerante y 300 psig del agua), velocidad de los ventiladores (850 RPM), peso en operación del *chiller* 13712 lb. y dimensión de 23'x7'x7' 6".

## 2.5.2 Características de los compresores y ventiladores

Cada compresor funciona por medio de cada circuito del *cooler*, condensador y seis ventiladores axiales de Ø 30" para cada compresor, los *chillers* utilizan compresores de tornillo helicoidal el cual engranan y comprimen el gas, a medida que el volumen de este disminuye hacia el extremo de la descarga. Este compresor tiene mejor confiabilidad, eficiencia y costo, se utiliza por lo general en tamaños más grandes que los compresores de desplazamiento positivo. Cada *chiller* contiene dos compresores helicoidales semi-herméticos, con una capacidad nominal de 100 toneladas por compresor.

**Figura 59. Compresor de tornillo helicoidal**



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

Ventiladores axiales. Estos ventiladores se pueden subclasificar en los tipos hélice, tuboaxial y aspas axiales.

Las características de los ventiladores comúnmente son la potencia al freno, eficiencia, la descarga del flujo volumétrico y la presión que crea el ventilador, es indispensable conocer el funcionamiento del ventilador para su correcta selección en el diseño.

Los ventiladores centrífugos se utilizan frecuentemente en los sistemas de acondicionamiento de aire, los de aspas curvas hacia delante tienen en general menor costo inicial que los del tipo curvo hacia atrás, para las mismas características de funcionamiento, sin embargo con mayor frecuencia es mayor el costo de operación debido a su menor eficiencia. La curva característica de BHP en aumento podría ocasionar la sobrecarga del motor si se trabaja en una condición más allá de los CFM seleccionados. Estos ventiladores se usan con frecuencia en las unidades de acondicionamiento de aire debido al bajo costo.

Los ventiladores curvados hacia atrás son más costosos que los curvados hacia delante, pero normalmente tienen menores costos de operación debido a su eficiencia. La característica de la potencia máxima reduce la posibilidad de sobrecargar el motor o el sistema de distribución eléctrica, cuando produce más aire de lo diseñado. Las características de funcionamiento de los ventiladores permiten visualizar fácilmente los cambios en la presión estática, potencia y eficiencia para el diseño de los sistemas de acondicionamiento de aire. Las curvas de funcionamiento puede ser proporcionado por medio del fabricante para facilitar el trabajo en el diseño de los sistemas también se pueden predecir el funcionamiento de los ventiladores mediante la “Ley de los ventiladores”.

**Figura 60. Ventiladores axiales para condensadores de *chiller***



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

### **2.5.3 Funcionamiento del sistema de enfriamiento**

El principio de funcionamiento del sistema de enfriamiento de los *chillers* es similar a todos los sistemas utilizados en el acondicionamiento de aire. El fluido recircula a través de la tubería y el equipo, existen cuatro procesos (cambios en el estado del fluido) que se efectúan a medida que el fluido pasa a través del sistema:

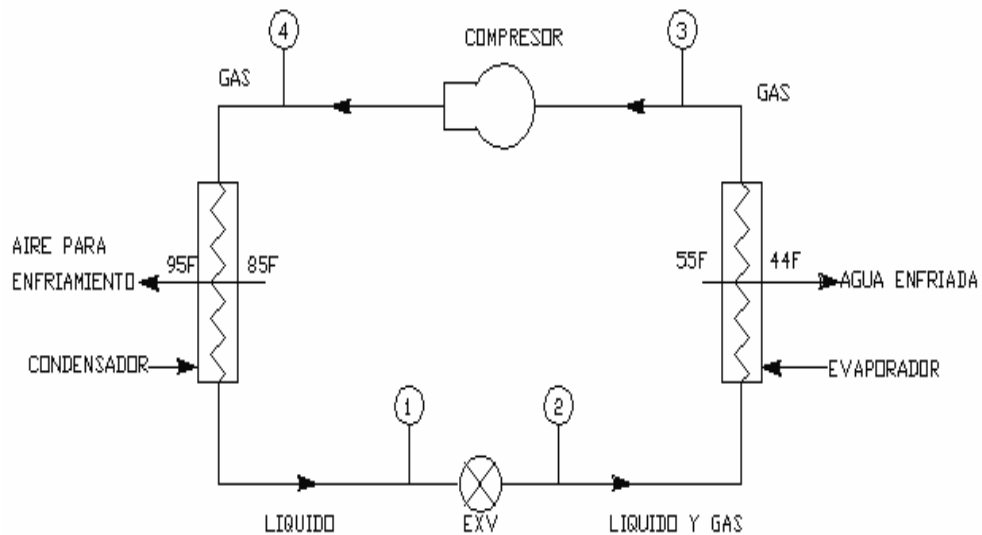
PROCESO 1-2 En el punto, 1 el refrigerante se encuentra en estado líquido a una presión y temperatura relativamente altas. Pasa a través de la restricción EXV (válvula de expansión electrónica), el refrigerante pierde presión al pasar por la restricción. La presión en 2 es tan baja que se evapora una pequeña parte del refrigerante, pasando al estado gaseoso. Pero para evaporarse debe ganar calor, que toma de la parte del refrigerante que no se evapora, y así se enfría la mezcla, produciendo la baja temperatura en 2.

PROCESO 2-3 El refrigerante pasa a través del *cooler* (evaporador) este cambiador de calor tiene dos circuitos. El refrigerante circula por uno y el agua por enfriar en el otro. El agua por enfriar esta a una temperatura ligeramente mayor que la del refrigerante, y por lo tanto se transfiere calor desde el mismo hasta el refrigerante, y se produce el efecto de enfriamiento que se desea. El refrigerante hierve debido al calor que recibe en el evaporador. Para cuando sale del evaporador 4 esta vaporizado por completo.

PROCESO 3-4 Al salir del evaporador, el refrigerante es un gas a baja temperatura y baja presión. Para poder volver a usarlo y obtener continuamente el efecto de evaporación, se debe regresar a las condiciones de 1: líquido a alta presión. El primer paso en este proceso es aumentar la presión del refrigerante gaseoso mediante el empleo de un compresor. Al comprimir el gas también se tiene un aumento de su temperatura.

PROCESO 4-1 El refrigerante sale del compresor en estado gaseoso a alta temperatura y presión. Para cambiar al estado líquido, se le debe eliminar calor. Esto se logra en un condensador, el refrigerante fluye a través de uno de los circuitos y en el otro pasa el aire a menor temperatura que el refrigerante. Por lo tanto, el calor se transfiere del refrigerante al aire y como resultado de ello, el refrigerante se condensa y pasa a la forma líquida 1. El refrigerante ha vuelto a su estado inicial y esta listo para repetir el ciclo. Desde luego, estos procesos en realidad son continuos al circular el refrigerante a través del sistema.

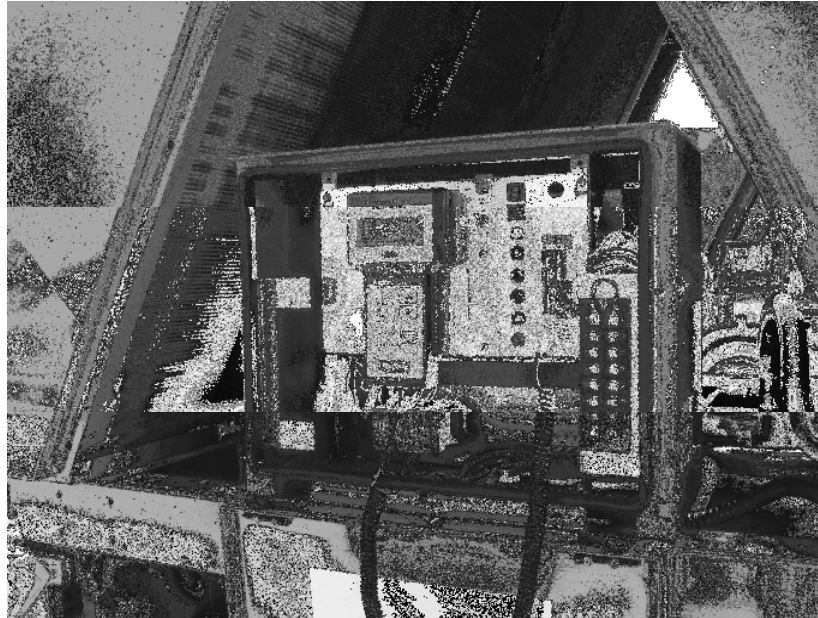
**Figura 61. Sistema de enfriamiento por compresión de vapor**



Fuente: Pita Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas.** Pág. 357

El funcionamiento del circuito de enfriamiento de los *chillers*, esta regulado por el sistema de control inteligente CCN (*Carrier Comfort Network*), entre los componentes principales del sistema de control del *chiller* estan: el panel de control y el navegador. En el navegador se puede programar y controlar los parámetros del *chiller*, entre los parámetros mas utilizados estan: la capacidad de los compresores, funcionamiento de los ventiladores del condensador, la temperatura de entrada y salida al *cooler*, presiones, alarmas, horario, porcentaje de abertura de la EXV, consumo de amperios por compresor, voltaje de entrada al panel de control.

**Figura 62. Navegador del *chiller*, sistema CCN**



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

#### **2.5.4 Capacidad de los *chillers***

Los valores que se necesitan para hallar las capacidades de los *chillers* son: la altura sobre el nivel del mar, la carga térmica del sistema, temperatura del ambiente, temperatura de entrada y salida del agua en el enfriador (*cooler*).

El fabricante de los *chillers* nos recomienda el factor de incrustación (Factor *fouling* =  $0.00010 \text{ pies}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F} / \text{Btu}$ ), para este sistema la temperatura ambiente de  $95^\circ\text{F}$ , entrada al *cooler*  $44^\circ\text{F}$  y salida de  $55^\circ\text{F}$ .

La relación entre la temperatura del agua, su flujo y la ganancia o pérdida de calor se obtiene mediante de la siguiente ecuación:

$$Q=mxcxCT$$

$$GPM_T=Q/(500xCT)$$

Q=cantidad de calor total en BTU/h

c=1.0 BTU/lb-°F

m= flujo de agua lb/h

CT=cambio de temperatura del agua,  $t_1-t_2$  en °F

GPM<sub>T</sub>=flujo total del agua del sistema en GPM

GPM<sub>CADA CHILLER</sub>=flujo de agua cada *chiller* en GPM

Aproximadamente

$$1 \text{ GPM} = 500 \text{ lb de agua/h}$$

Esta ecuación únicamente es correcta para bajas temperaturas, se puede emplear sin error apreciable hasta los 250 °F.

Temperatura de entrada del agua 55°F.

Temperatura de salida del agua 44°F.

Temperatura ambiente 95°F.

El valor del factor de incrustación es de 0.00010 pies<sup>2</sup>-hr-°F/Btu.



**Tabla LII. Factores de corrección de altitud, capacidad y Kw**

PIES	METROS	FACTOR DE CORRECCIÓN DE ALTITUD	FACTOR KW
0	0	1	1
2000	600	0.99	0.99
4000	1200	0.98	0.98
6000	1800	0.97	0.97
8000	2000	0.96	0.96

Q=826 toneladas

Factor de corrección de altitud a 5000 PSNM

Q=826/0.98 toneladas

Q=842.5 toneladas

Factor de capacidad

Q=842.5/0.95 toneladas

Q=886.84 toneladas

Q= 9912000 BTU originales

$GPM_T = 9912000 / (500 \times (55 - 44))$

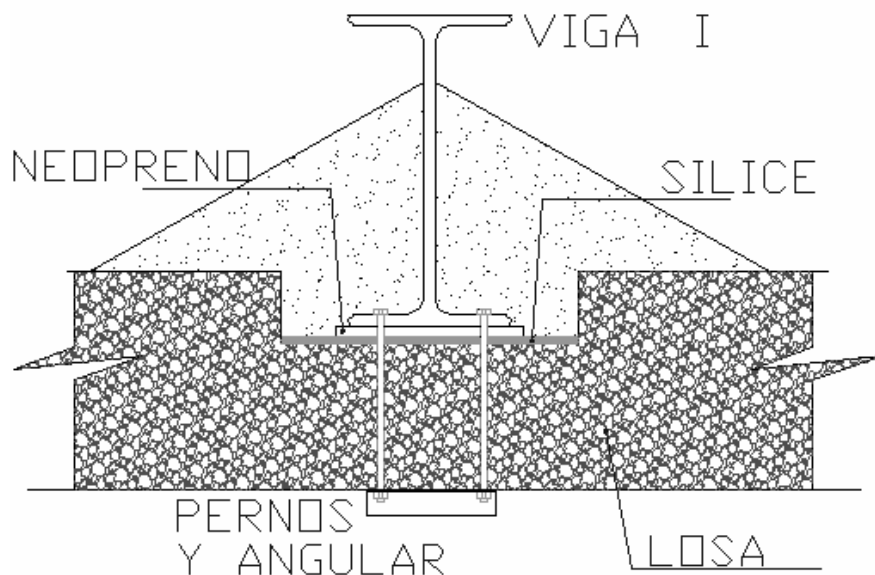
$GPM_T = 1802.18 \text{ GPM}$

$GPM_{CADA \text{ CHILLER}} = 450.54 \text{ GPM}$

### 2.5.5 Acople de los *chillers* al circuito de agua.

El patín de los *chillers* esta compuesta por dos vigas tipo I que están sujetos por 3 anclajes para cada viga, (dos pernos unidos por medio de un angular de acero de 2 ½"x¼"), vigas producidas con acero de bajo tenor de carbono, entre la viga y la losa se colocan partículas de sílice para que tenga mayor adherencia y neopreno para evitar vibraciones a la losa, se utilizaron dos vigas para cada *chiller* unidas por medio de tres refuerzos (angulares de 2 ½"x¼"), se coloca uno en cada extremo y otro en medio para evitar pandeo entre la vigas al colocar el *chiller*.

Figura 63. Detalle de viga I para patín de *chillers*



**Figura 64. Colocación de vigas I para *chillers***



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

Los compresores de los *chillers* utilizan un sistema de amortiguamiento independiente para evitar vibraciones a la estructura que repercuta hacia la losa. Para el anclaje se utilizaron antivibradores de neopreno sujetos al *chiller*, dichos antivibradores van montados sobre una base de acero de 8"x8"x1/4", para la sujeción del *chiller* y la base se utilizaron en las cuatro piezas en forma de L (chapa de acero de 1/4") que van soldadas en las esquinas de la base del *chiller* para evitar movimiento longitudinal y transversal.

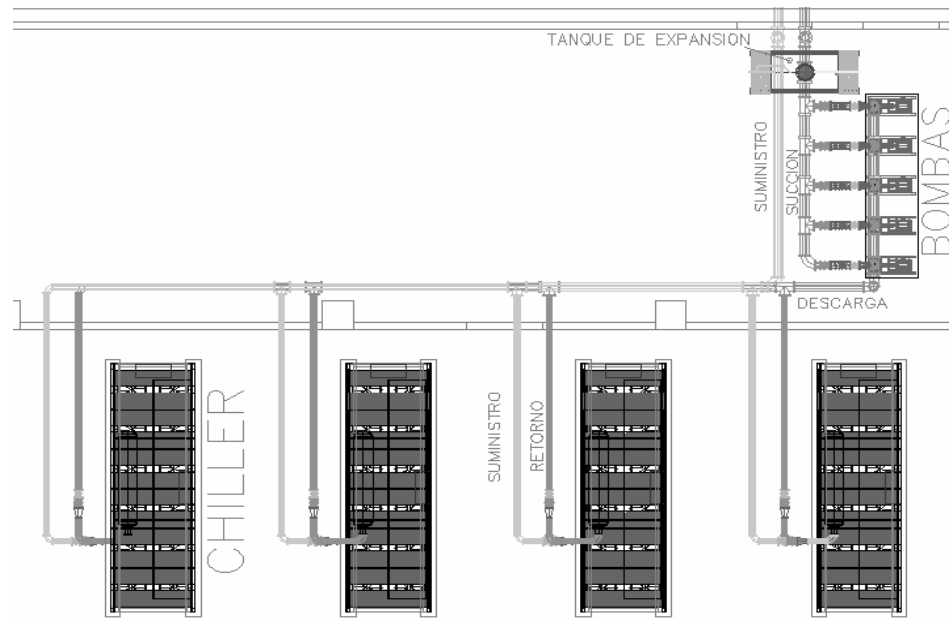
**Figura 65. Patín con antivibrador de neopreno y chapa de acero de ¼” en forma de L**



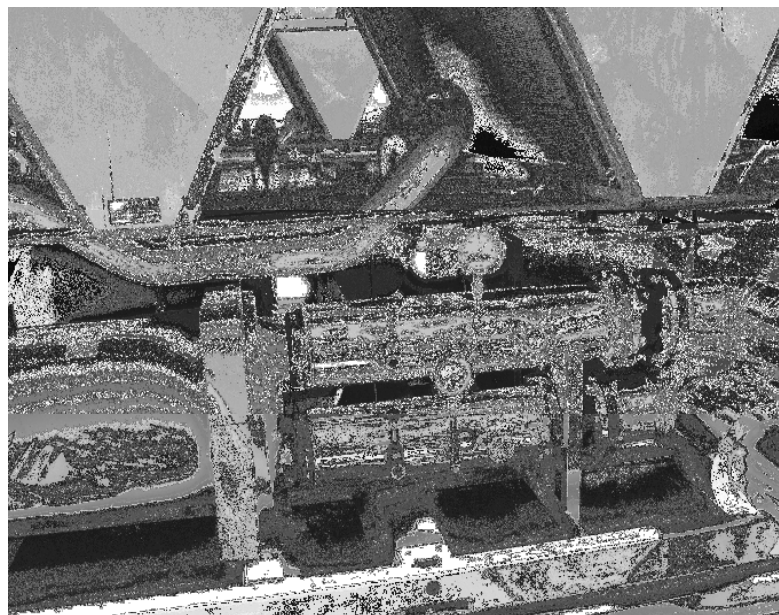
Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

El acople del sistema de tubería con el *cooler* se hace por medio de una junta *victaulic* de  $\varnothing 6$ ", la entrada del *cooler* y el niple (niple de acero al carbono cedula 40) que tiene una ranura para acoplarse ambos por la junta *victaulic*, en cada niple de acero se colocan perpendicularmente una válvula de compuerta  $\varnothing 1$ ", un termómetro y un manómetro para la medición de temperatura y presión de la entrada y salida del *cooler*. En el acople de los sistemas de retorno y suministro se utilizan válvulas de mariposa, juntas flexibles  $\varnothing 6$ " para evitar vibraciones entre el sistema de tubería de agua fría y el *chiller*.

**Figura 66. Acople del sistema de tubería hacia *chillers* y bombas**



**Figura 67. Acople del sistema de tubería de agua fría hacia el cooler**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

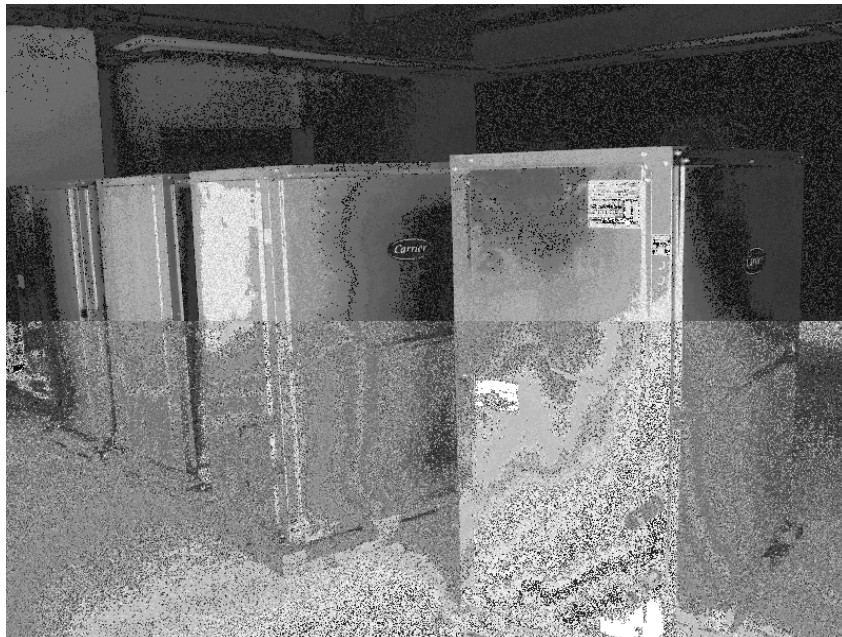
## **2.6. Selección de equipos para el acondicionamiento de aire, acorde a las capacidades y especificaciones que se requieren**

### **2.6.1 Selección de manejadoras para cada sector a acondicionar**

En la selección de manejadoras de aire el fabricante nos proporciona un programa para las capacidades de las manejadoras para distintas áreas a acondicionar, en dicho programa se pueden calcular las especificaciones de cada máquina, la información necesaria para el cálculo de las manejadoras son: altitud de la ubicación del sistema a acondicionar, cantidad total de CFM, caída de presión de la manejadora, calor sensible (en MegaBtu), carga térmica total (en MegaBtu), temperatura de entrada al serpentín (en °F), salida del serpentín (en °F), diferencia de temperatura del agua (temperatura de suministro y retorno de agua fría), con esta información el programa calcula las capacidades para distintas manejadoras en existencia, únicamente se debe hacer una comparación entre la manejadora con la menor capacidad y de mayor capacidad, no es aconsejable utilizar una manejadora con las capacidades mínimas ya que no puede funcionar adecuadamente. Además se pueden adquirir otras manejadoras con accesorios opcionales dichos accesorios pueden elevar el costo de la manejadora, a veces el cliente puede dar algunas especificaciones básicas de los equipos para su funcionamiento. Con esas indicaciones se pueden tener alternativas de capacidades y costos para el sistema a acondicionar.

El fabricante nos recomienda varios tipos de manejadoras para agua fría con diferentes capacidades para cada sector, para áreas de diseño de 4,000 CFM (10 T.R.) se utilizan manejadoras con especificación 40RMS012, estas manejadoras están diseñadas para una caída de presión 2.4" de H<sub>2</sub>O, con 208/230 voltios trifásica, 60 Hz, 1725 rpm, con una dimensión de 56"x48"x28" y para áreas de diseño de 3,500CFM (7.5 T.R.) se utilizan manejadoras con especificación 40RMS008, estas manejadoras son diseñadas para una caída de presión de 2.4" de H<sub>2</sub>O, con 208/230 voltios trifásicas, 60 Hz, 1725 rpm, con una dimensión de 56"x48"x28".

**Figura 68. Manejadoras de aire 40RMS012 y 40RMS008**



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

En áreas pequeñas de diseño se utilizan manejadoras con especificación 42DE006, 42DE012 Y 42DE020 para áreas de diseño de 600 CFM, 1200 CFM Y 2,000 CFM.

**Figura 69. Manejadora de aire 42DE020**



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Publico 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

### **2.6.2 Bombas para la circulación del agua en el sistema**

Para la selección de la bomba se deben analizar varios factores importantes entre las características del sistema y las características de las bombas.



## **La selección de las formas de curvas de carga y flujo.**

Las curvas de carga-flujo de las bombas comúnmente se clasifican de la siguiente manera:

Característica creciente.

Característica descendente.

Característica plana.

Para el diseño el fabricante analiza el comportamiento de la curva del sistema con la curva producida por las bombas.

### **Característica plana.**

La característica de carga-flujo en la que la carga varía solo ligeramente con capacidad en la que la carga varía solo ligeramente con capacidad desde el cierre a la capacidad de diseño. La característica puede ser también descendente o ascendente. Todas las curvas descendentes tienen una porción en la que la carga desarrollada es aproximadamente constante para una variación de capacidad, llamada la porción plana de la curva. Otras curvas, algunas veces, son calificadas de planas, ya sea en toda su amplitud o en una porción limitada de ella.

### **Clasificación de las formas de curvas de potencia al freno.**

Las curvas de potencia-flujo se clasifican también de acuerdo con su forma. Una característica con una curva de BHP que se aplanan y decrece al aumentar la capacidad más allá del punto de eficiencia máxima. Esta se llama una curva sin sobrecarga.

Las bombas con curvas de potencia sin sobrecarga son ventajosas porque el impulsor no se sobrecarga en cualquier condición de operación, pero no pueden obtener en todos los tipos de velocidad específica de las bombas. La variación real de las condiciones de operación encontradas en el trabajo de la bomba determina la variación de los requerimientos de potencia, y el tamaño del impulsor deberá seleccionarse para la potencia que se encuentre.

### **Relaciones de carga, flujo eficiencia y BHP.**

El trabajo útil hecho por una bomba es el peso de líquido bombeado en un periodo de tiempo multiplicado por la carga desarrollada por la bomba y generalmente, se expresa en términos de HP.

Debido a las fluctuaciones de flujo previsible en la instalación, fluctúa también el punto de trabajo de la bomba que, en determinadas circunstancias implica el aumento de la potencia absorbida por la bomba, en la práctica y salvo que existan otras prescripciones por parte del cliente, al seleccionar la potencia nominal del motor se prevén los incrementos siguientes:

Hasta 10 HP., aprox. 20%.

Desde 10 a 54 HP., aprox. 15%.

Desde 54 HP., aprox. 10% incremento de potencia.

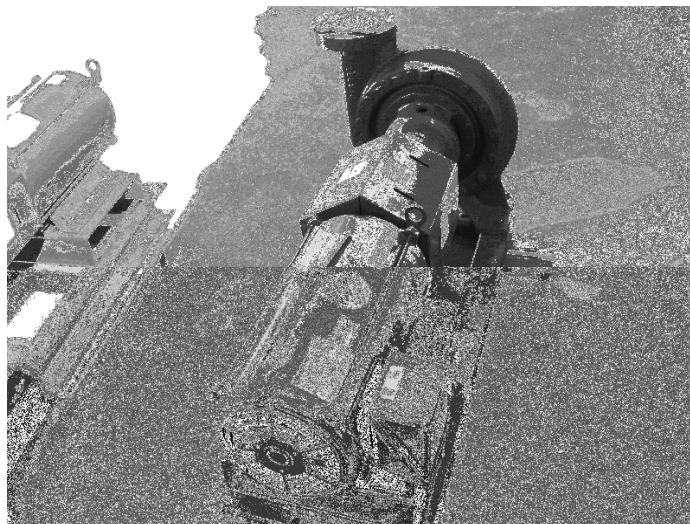
El fabricante nos recomienda para un sistema de 4 bombas en paralelo con las siguientes características:

**Tabla LIII. Características de las bombas centrífugas**

<b>BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL SERIE 1510 <i>Bell&amp;Gosset</i></b>	
Cantidad	5
Caudal	500 GPM
Caída	91 pies
Potencia	20 HP
Voltaje	460 trifásico
Consumo	26 amperios

Para los sistemas de bombas en paralelo se suma el caudal de cada bomba para tener el caudal total del sistema y la caída de cada una de la bomba es la misma (91 pies), mientras que la caída del sistema es la misma para cualquier punto del sistema siempre se tiene (85.17 pies para cualquier punto). Se colocan 4 bombas en paralelo para tener un caudal total de 2000 GPM y 1 bomba en *Stand-by*.

**Figura 70. Bomba centrífuga horizontal serie 1510 *Bell&Gosset***



Fuente: Bell&Gosset. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

### 2.6.3 Selección de accesorios

Los accesorios utilizados en el sistema de tubería son:

**Tabla LIV. Descripción de accesorios PVC para agua potable**

<b>Accesorios PVC cedula 40</b>
Codos 90°
Codos 45°
Reductores tipo buje
Reductores tipo campana
Adaptadores roscados hembra
Adaptadores roscados macho
Flanges
Tees
Uniones o coplas

Estos accesorios fueron utilizados en varios lugares y de varias medidas, con una capacidad máxima de 250 psia.

#### 2.6.3.1. Válvulas

Para el control del sistema de agua fría se necesitan varios tipos de válvulas, de las cuales tenemos:

Válvulas de tres vías.

Válvulas de compuerta.

Válvulas de cheque.

El fabricante de las manejadoras nos proporciona las características de las válvulas de tres vías que se describen a continuación:

**Tabla LV. Descripción de válvulas de tres vías para manejadoras**

Especificación técnica	Capacidad T.R.	Válvula de 3 vías
42DE006	1.5	1/2"
42DE012	3	1/2"
42DE020	5	3/4"
40MRS008	7.5	1"
40MRS012	10	1 1/4"

Las válvulas de tres vías se utilizan para regular el caudal de agua fría de la manejadora, su funcionamiento es de abrir y cerrar periódicamente cuando el sistema de control se lo indique, se abre cuando la temperatura de aire de suministro es alto al parámetro establecido y cierra cuando la temperatura aire de suministro se iguala con la del retorno y se puede cerrar cuando la bandeja de condensado esta llena.

Las válvulas de compuerta se utilizan para el corte de flujo, se emplean para aislar secciones del sistema de tubería, darles servicio a los distintos equipos de acondicionamiento (manejadoras, bombas, *chillers*), las medidas de las válvulas de compuerta varía según la ubicación de trabajo de cada una.

Para las manejadoras de aire se utilizan 2 válvulas de compuerta por manejadora para prever el acceso a la manejadora, sin repercutir en todo el sistema o sistema de cada nivel, a continuación se describen los tamaños utilizados:

**Tabla LVI. Descripción de válvulas de compuerta**

<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DIÁMETRO</b>
42DE060	1.5 T.R.	2	1"
42DE012	3 T.R.	2	1"
42DE020	5 T.R.	2	1 ¼"
40RMS08	7.5 T.R.	2	1 ½"
40RMS012	10 T.R.	2	1 ½"
<i>CHILLER</i> 30XA200	200 TONS	2	6"
BOMBA CENTRÍFUGA 1510	500 GPM	2	6"

Para los servicios de las bombas y *chillers* se utilizan 2 válvulas de compuerta Ø 6" para cada uno de ellos, ya que se deben ser independientes al sistema de agua fría.

Y para el sistema de tubería de agua fría se utilizan válvulas de compuerta en varios puntos del sistema, al igual que todos los equipos del sistema, se debe prever el acceso para reparación o mantenimiento, cada nivel es independiente a todo el sistema, en cada nivel a la entrada y salida del *riser* se conectan dos válvulas de compuerta Ø 3".

Las válvulas de cheque se utilizan en la descarga de las bombas centrífugas tienen Ø 6", se utilizan para evitar golpe de ariete que pueda dañar la bomba.

### 2.6.3.2. Manómetros

Para la medición del fluido en el sistema de tubería se utilizan manómetros de tubo Bourdon, con escala de 0 psi a 100 psi (0 bar a 6 bar.), esta conformado por un tubo hueco metálico curvado que cambia su forma con la presión, mediante un eslabonamiento se transmite el movimiento a una aguja que indica la presión en la carátula del manómetro. Este dispositivo indica presiones manométricas ver Figura 71 es resistente, confiable y relativamente económico.

**Figura 71. Manómetro Bourdon de 0-100 psi.**



Fuente: Instalaciones Ministerio Publico 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

Estos manómetros no deben utilizarse para la medición de diferencias muy pequeñas de presión.

### **2.6.3.3. Termómetros**

En la medición de temperatura del sistema de agua fría se utilizan termómetros, con rango de  $-20^{\circ}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}$  a  $140^{\circ}\text{F}$ ), se colocan en la entrada y salida del *cooler* (enfriador).

### **2.6.3.4. Termostatos**

Los termostatos se utilizan para sensar la temperatura en los distintos ambientes a acondicionar, los sensores de temperatura (termostatos), tienen un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{F}$  a  $302^{\circ}\text{F}$ , con una resistencia a la humedad en operación de 10% a 90% de relación de humedad, los termostatos son parte del sistema de control CCN y son instalados en los ductos de retorno y suministro de aire, por medio de tornillos punta de broca No. 10 cabeza hexagonal de 1" de largo.

### **2.6.3.5. Sensores de control**

Para el sistema de control inteligente se necesitan varios sensores para el control del sistema, entre los sensores más utilizados tenemos:

Sensor de temperatura.

Diferencial de presión (para sistema de tubería de agua fría y ductería).

Sensor para el nivel de condensado.

Válvula de tres vías.



### **2.6.3.6. Anti-vibradores**

Existen varios tipos de antivibradores que se utilizan para la reducción de vibraciones entre el sistema de acondicionamiento y la construcción, para el anclaje de los equipos se colocan partes de neopreno entre la base del equipo y la construcción. En el anclaje de las manejadoras se utilizan antivibradores de  $\varnothing$  3/8 interno y 2 1/2" externo por 1" de grosor, para las bombas se colocan antivibradores compuesto de resortes y neopreno 1/4" de grosor.

Y para aislar el sistema de tubería de agua fría y los equipos que utilizan dos juntas para la entrada y salida (bombas y *chillers*), así como en el paso de un edificio a otro.

### **2.6.3.7. Tanque de expansión**

El tamaño del tanque de expansión para un sistema debe ser el adecuado para recibir el aumento de volumen del agua debido a la expansión, y también para mantener las presiones dentro de los límites mínimo y máximo, el tamaño del tanque depende de varios factores el tamaño depende de las siguientes fuentes de presión:

#### **Presión estática**

Esta es la presión debida a la altura del agua sobre algún punto dado.

### **Presión inicial de llenado**

Si se llenara inicialmente el sistema sin presión, la presión en el punto mas alto sería la atmosférica. Para dar un margen de seguridad y evitar que la presión descienda con respecto a la atmosférica y pueda entonces penetrar el aire, se debe llenar el sistema con cierta presión. Para los sistemas hidronicos, es adecuada una presión de 4 psi a 5 psi en la parte superior de los mismos.

### **Aumento de presión-temperatura**

Después de que se lleno el sistema con agua fría, y se presuriza, la presión aumentara debido a la expansión del agua, que comprime al aire del tanque.

### **Presión de la bomba**

Cuando se hace funcionar la bomba, las presiones cambian en el sistema en un valor que corresponde a la carga desarrollada por la bomba.

Los factores anteriores se han combinado en la siguiente ecuación, desarrollada por la ASME para calcular el tamaño del tanque.

$$V_t = ((ExV_s)/(H_a/H_t - H_a/H_o))$$

$V_t$  = volumen del tanque de expansión, galones  
 $V_s$  = volumen del sistema, galones  
 $t$  = temperatura promedio del agua de diseño °F  
 $H_a$  = presión atmosférica, pies de agua absolutos  
 $H_t$  = presión mínima en el tanque, pies de agua absolutos  
 $H_o$  = presión máxima en el tanque, pies de agua absolutos

El volumen del sistema se compone por tuberías de agua, que incluye, tubería recta, accesorios y equipos (manejadoras de aire, *chillers*).

## EXPANSIÓN DE AGUA

**Tabla LVII. Incremento del agua con respecto a la temperatura**

TEMPERATURA °F	INCREMENTO DE VOLUMEN (%)
100	0.6
125	1.2
150	1.8
175	2.8
200	3.5
225	4.5
250	5.6

Fuente: Carrier Air Conditioning Company. **System design manual, piping system.**

Pág. 3-31

34 galones para cada *chiller*

4 *chiller*=136 galones

**Tabla LVIII. Volumen del serpentín para las manejadoras de aire**

<b>Capacidad T.R.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vol. (Galones)</b>
10	57	473.1
7.5	17	141.1
5	8	36.16
3	23	70.38
1.5	13	29.9
<b>TOTAL</b>	<b>118</b>	<b>750.64</b>

**Tabla LIX. Volumen del sistema de tubería**

<b>UBICACIÓN</b>	<b>VOUMEN (GAL)</b>
NIVEL 1	338.46
NIVEL 2	364.22
NIVEL 3	872.69
NIVEL 4	251.22
NIVEL 5	149.77
NIVEL 6	207.17
NIVEL 7	209.83
NIVEL 8	221.51
SÓTANO 1	225.74
SÓTANO 2	425.12
AZOTEA	1,536.90
RISER	1,220.75
<b>TOTAL</b>	<b>6,023.37</b>

Volumen total=Manejadoras de aire+chillers+sistema de tubería.

Volumen total=750.64 galones+136 galones+6,023.37 galones.

Volumen total=6,910.01 galones.

El volumen total del sistema es de 6,910.01 galones.

Y para el cálculo del tanque de expansión para una temperatura menor a 60°F Carrier recomienda un 10% del volumen total del sistema que es igual al volumen del tanque de expansión.

$V_t$  = volumen del tanque de expansión, galones

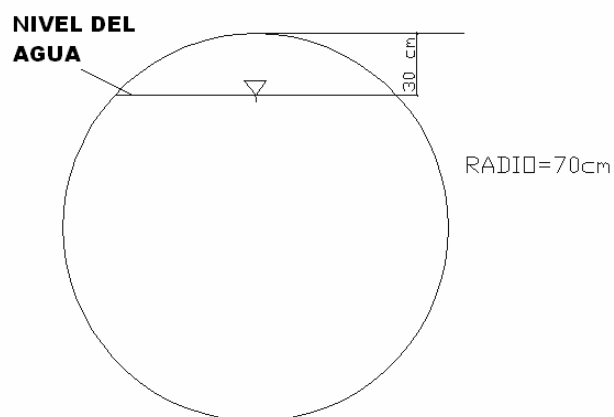
$V_s = 6,910.01$ , galones

$V_t = 691$  galones

$V_t = 2.62 \text{ m}^3$

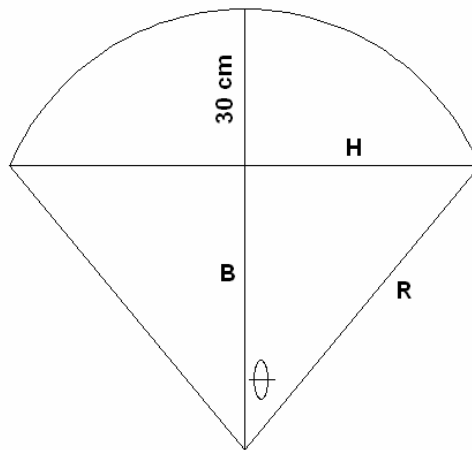
Para la construcción del tanque de expansión se diseña en forma de cilindro horizontal, con un radio de 70 cm. para un volumen de  $2.62 \text{ m}^3$ , para hallar la longitud del cilindro, se relaciona el volumen total y el área efectiva. Especificaciones de la construcción del tanque de expansión.

**Figura 72. Nivel de agua del tanque de expansión**



Para hallar el área del sector circular es necesario conocer la base del triángulo y el ángulo  $\theta$  que se forma.

**Figura 73. Cálculo de incógnitas para el tanque de expansión**



Calculando el valor de la base y del ángulo.

$$H^2 = R^2 - B^2$$

$$\cos\theta = B/R$$

$$A_T = B \times H / 2$$

$$A_{sc} = \theta \times R^2 / 2$$

$$A_{seg} = A_T - A_{sc}$$

$$A_{efec} = A_c - A_{seg}$$

$$V_t = A_{efec} \times L$$

B=base del triángulo en m

H=altura del triángulo en m

R=radio del círculo m

$A_T$  = área del triángulo  $m^2$

$A_{sc}$  = área del sector circular en  $m^2$

$A_{seg}$  = área adicional del círculo en  $m^2$

$A_c$  = área del círculo en  $m^2$

$A_{efec}$ =área efectiva del tanque en  $m^2$ .

$\theta$ =ángulo del sector circular en radianes.

$V_t$  =volumen del tanque en  $m^3$

L= longitud del tanque en m.

$$H^2=70^2 -40^2$$

$$H=0.57\text{cm}$$

$$\theta=\cos^{-1}(0.4/0.7)$$

$$\theta=0.96 \text{ radianes}$$

$$A_T=(1.14)(0.4)/2$$

$$A_T=0.228 \text{ m}^2$$

$$A_{sc} = 0.96 \times 0.7^2$$

$$A_{sc} = 0.4704 \text{ m}^2$$

$$A_c=1.54 \text{ m}^2$$

$$A_{efec}=1.54-0.2424 \text{ m}^2$$

$$A_{efec}=1.2976 \text{ m}^2$$

$$V_t = 2.62 \text{ m}^3$$

$$V_t = A_{efec} \times L$$

$$L=2.62/1.2976$$

$$L=2 \text{ metros}$$

**Figura 74. Tanque de expansión para sistema de agua fría**



Fuente: Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

#### **2.6.4 Selección de los *chillers* para el enfriamiento del agua**

El fabricante recomienda la mayoría de los equipos utilizados en el acondicionamiento de aire, para determinar los *chillers* y capacidades el fabricante utiliza únicamente los valores de:

Latitud del sistema de acondicionamiento 15°.

Altitud PSNM (5000 pies sobre el nivel del mar).

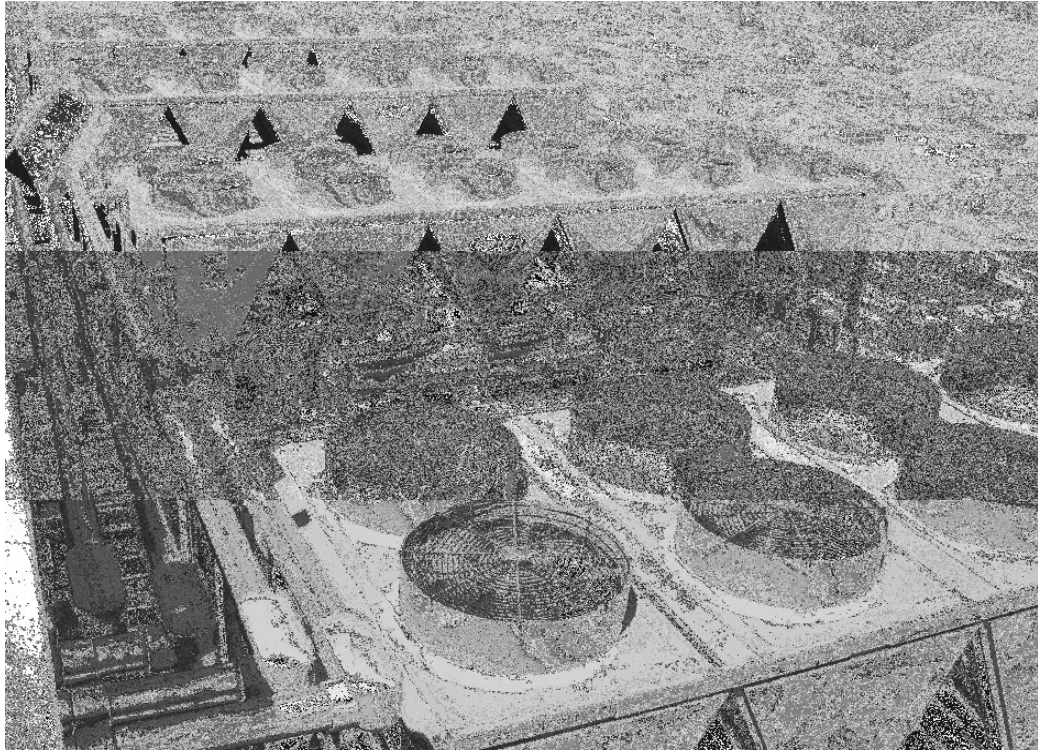
Carga de enfriamiento total 9,912,000 BTU (826 T.R.).

Temperatura exterior de diseño (95°F) bulbo seco.

Diferencia de temperatura del agua al *cooler* ( $\Delta F=11^{\circ}F$ ) bulbo seco.



**Figura 75. Chillers 30XA200 para el sistema de enfriamiento**



Fuente: Carrier Air Conditioning Company. Instalaciones Ministerio Público 15 calle y 15 avenida zona 1 ciudad de Guatemala

El fabricante nos recomienda cuatro *chillers* con una capacidad de 200 toneladas de refrigeración por *chiller*. Con una especificación 30XA200 Carrier con dos compresores con capacidad de 100 T.R. por cada *chiller*, 480 voltios, 12 ventiladores axiales con Ø 30" externo.

## CONCLUSIONES

6. La carga térmica total del edificio del Ministerio Público es de 826 T.R. determinado por: la posición geográfica que se ubica a 4882.31 pies sobre el nivel del mar y una latitud de 15°; cantidad de personas; aparatos eléctricos (equipo de computadoras, fotocopiadoras, microondas, cafeteras etc.); hora crítica; materiales de construcción (tabiques de tablayeso, paredes exteriores de block de concreto, cielo suspendido de yeso, puertas de madera y vidrio); temperatura exterior e interior (95°F y 79°F bulbo seco); renovación de aire, infiltración por medio de puertas de acceso y ventanas.
7. Para el diseño de los sistemas de ductería se analizaron los planos de corte, obra civil, iluminación, fuerza normal y regulada, tubería de agua potable, drenaje, cableado estructurado, tabiques, cielo falso y amoblado para determinar el paso de los sistemas de ductería, peralte crítico, ubicación de difusores, rejillas y manejadoras de aire.
8. De acuerdo al tipo de instalación fue necesario aplicar las normas internacionales de ASHRAE, SMACNA, para calcular la velocidad crítica en los ductos, calibre de la lamina, fabricación de ducto rectangular, accesorios, aislamiento, acoples, soportería, juntas y refuerzos de los sistemas.

9. El sistema de tubería fue necesario diseñarlo en común acuerdo con todos los contratistas, y tomando en cuenta las recomendaciones de Carrier, AMANCO, *Bell&Gosset* y *Belimo*, con el objetivo de evitar modificaciones posteriores en el sistema.
10. Tomando en cuenta las recomendaciones del ingeniero consultor se utiliza 2.5 GPM por tonelada de refrigeración, con una velocidad del agua de 3 a 6 pies/s para tubería PVC recomendado por Carrier.
11. El diseño del sistema eléctrico se realizó mediante las especificaciones eléctricas de cada equipo, procediendo luego a determinar el calibre del conductor para cada circuito, capacidad de los flipones, balance de cargas, cantidad de conductores por tubo y acople a los equipos.
12. El fabricante de manejadoras y *chillers* recomendó programas para determinar las capacidades y costos del equipo, los valores para las manejadoras son: calor total de cada área, calor sensible y calor latente, número de filas para los serpentines, voltaje y número de fases, mientras que para los *chillers* se necesitaron datos eléctricos, carga térmica máxima total de 9,912,000 Btu/h, diferencial de temperatura 11°F en el *cooler*, altitud y latitud, temperatura exterior de 95°F e interior de 79°F bulbo seco.

## RECOMENDACIONES

Al jefe de mantenimiento

1. Crear un programa de mantenimiento en el que contemple la planificación, organización, dirección y control del mismo para evitar la disminución de la vida de los equipos de aire acondicionado.

Al personal de mantenimiento

2. Recibir y aplicar los cursos de capacitación y seminarios, para actualizar sus conocimientos de mantenimiento y operación de los equipos de aire acondicionado.
3. Supervisar cuidadosamente los soportes de tarugo de expansión y varilla roscada, ya que las varillas roscadas pueden aflojarse por la vibración que generan los equipos de aire acondicionado.

Al operador de las bombas centrífugas

4. Verificar el tiempo de arranque de las bombas para que desarrollen el 100% de la capacidad. El tiempo recomendado para el desarrollo máximo puede variar de 0.5 a 2 minutos.



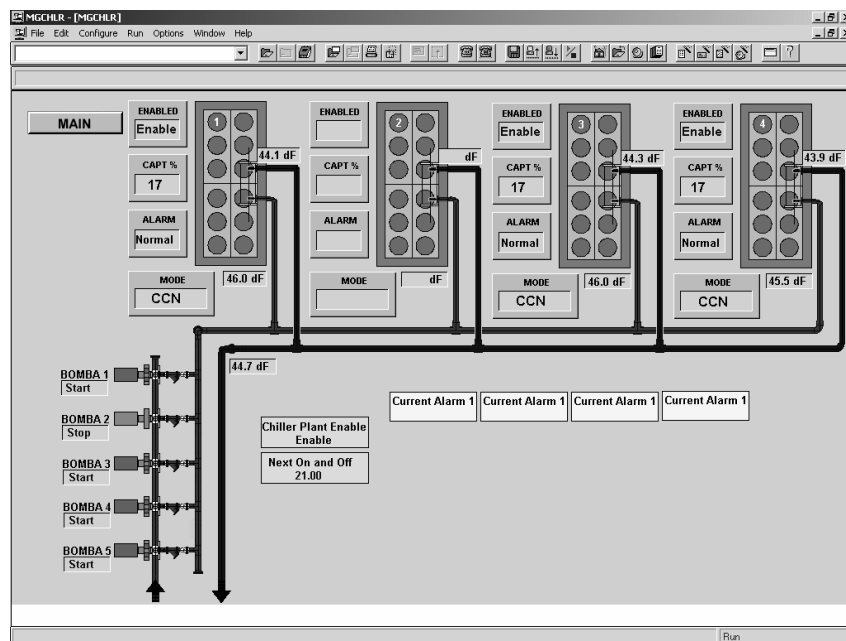
## BIBLIOGRAFÍA

1. ASHRAE. **Manual de Fundamentos**. 1972.
2. ASHRAE. ***Sistem and equipment***. 1972.
3. **Boletín Informativo Ministerio Público**. No. 04 mayo 2006.
4. Catálogo Carrier. 40RM, 40RMQ, 40RMS. ***Packaged Air-Handling Units***. México; 2004.
5. Carrier Air Conditioning Company. Ministerio Guatemala. ***Energy Management System***. USA; 2005.
6. Cuevas Lorea, Eduardo. **Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado**. 3ra.edición. México; editorial Prentice Hall, 1999.
7. John Wiley & Sons. **Calefacción, ventilación y aire acondicionado**. 1ra.edición. México; editorial Limusa, 2003.
8. Klöckner Moeller. **Manual de esquemas, Automatización y distribución de energía**. 3ra.edicion. Republica Federal de Alemania; 1992.

9. Manual Bell&Gossett. **Serie 1510 Universal Centrifugal Pumps.** USA; 1999.
10. **National Electrical Code Handbook.** 1996.
11. Pita, Edward G. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas.** México; editorial Continental, 1994.
12. Royo Carnicer, Enrique. **Aire acondicionado.** 2da. edición. España; editorial Paraninfo S.A. 1991.
13. SMACNA HVAC. **Duct Construction Standards.** 1972.

# ANEXOS

Figura 76. Menú principal de *Carrier Network manager*



Fuente: Carrier Network Manager. **MGCHLR**