



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE
BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN *CHILLER* ENFRIADO POR AIRE**

Carlos Humberto Coronado

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE
BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN *CHILLER* ENFRIADO POR AIRE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS HUMBERTO CORONADO
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MUÑOZ PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN *CHILLER* ENFRIADO POR AIRE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de enero de 2013.



Carlos Humberto Coronado

Guatemala, 21 de enero de 2014

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Campos:

Por este medio me permito manifestarle que he procedido a efectuar la asesoría y revisión del proyecto de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE**, desarrollado por el estudiante Carlos Humberto Coronado, con número de carné 2009-15363, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo desarrollado ha sido elaborado cumpliendo con los objetivos y requerimientos de la Facultad de Ingeniería, bajo la asesoría del suscrito, por lo que cuenta con la total aprobación de su contenido y brindar el trámite respectivo para los efectos de graduación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente.



Jorge Mario Muñoz Paz
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 5396



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.51.2014

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE**, del estudiante **Carlos Humberto Coronado**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"




Ing. Roberto Guzman Ortiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.81.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE**, del estudiante **Carlos Humberto Coronado**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA 29ª COMPAÑÍA DE BOMBEROS VOLUNTARIOS, CON BASE EN UN CHILLER ENFRIADO POR AIRE**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Humberto Coronado**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 7 de abril de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente mayor de sabiduría y conocimiento en la vida.
- Mi abuelo** Ángel Coronado Vegas, quien ha sido mi padre a lo largo de mi vida, por todo su apoyo incondicional en mi superación y éxito como persona.
- Mi madre** Angela Lucía Coronado Lemus, por haberme dado la vida y su apoyo ante diferentes situaciones.
- Mi padrino** Carlos Ramiro Coronado Castellanos, quien ha estado presente en muchas situaciones, por todos sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida.
- Mi tío** Félix Castillo Peralta, quien ha sido una imagen paterna a lo largo de mi vida y por todo su apoyo y consejos en muchas situaciones.
- Mis hermanos** Ángel Roberto, Ana Lucía y Karen Gabriela. Por estar conmigo a pesar de múltiples circunstancias.

Mis tíos y tías

Por sus consejos e influencia en mi vida y a lo largo de mi carrera.

Mi asesor

Jorge Mario Muñoz Paz, por su apoyo y por compartir sus conocimientos con mi persona.

Mis amigos

Por su apoyo y su amistad ante diversas situaciones que hemos vivido a lo largo de la vida y en la carrera.

Mi familia

Por todo su apoyo y consejos para mi superación en la vida.

La Facultad de Ingeniería

Por ser la mejor elección para mi formación académica, adquisición de conocimientos y lugar de superación como persona.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma máter de mis estudios a nivel superior.
La Facultad de Ingeniería	Por ser mi lugar de formación de sabiduría, conocimientos, superación y éxito.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por ser el lugar de obtención de mis conocimientos para superación propia en la vida.
Ing. Jorge Mario Muñoz Paz	Por todo su apoyo incondicional, autorización y supervisión del presente trabajo de graduación.
Ing. Bernal Herrera Gómez	Por su apoyo y colaboración para realizar mi proyecto de graduación.
Ing. Roberto Guzmán Ortiz	Por su apoyo y guía en la elaboración de mi proyecto de graduación.
Inga. Bertha Molina	Por sus múltiples consejos para mi formación a lo largo de la carrera.
La 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios	Por su autorización y apoyo para la realización del proyecto de graduación en sus instalaciones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. GENERALIDADES DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS	1
1.1. Fundación.....	1
1.2. Descripción.....	2
1.3. Organización	2
1.4. Misión y visión	2
1.5. Ubicación.....	3
2. AIRE ACONDICIONADO	5
2.1. Principio de aire acondicionado.....	5
2.2. Acondicionamiento de aire	6
2.3. Diseño de sistemas de aire acondicionado	7
2.4. Equipos de acondicionamiento de aire	8
2.4.1. Unidades <i>split</i>	9
2.4.2. Unidades portátiles	9
2.4.3. Unidades tipo paquete	9
2.4.4. Unidades tipo <i>chiller</i>	10
2.4.4.1. Aplicaciones.....	11
2.4.4.2. Funcionamiento	12

	2.4.4.3.	Componentes principales	12
	2.4.4.4.	Principio de operación	13
	2.4.4.5.	<i>Chiller</i> enfriado por aire	14
	2.4.4.6.	<i>Chiller</i> enfriado por agua	15
	2.4.5.	Unidades <i>fancoil</i>	16
2.5.		Sistema de enfriamiento.....	17
	2.5.1.	Refrigeración directa	17
	2.5.2.	Refrigeración indirecta	18
3.		COMPONENTES DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	19
3.1.		Condensadores.....	19
	3.1.1.	Enfriado por aire.....	20
	3.1.2.	Enfriado por agua.....	20
	3.1.3.	Evaporativo	20
3.2.		Intercambiador de calor.....	22
	3.2.1.	Tipo placa.....	22
	3.2.2.	Carcasa y tubos	23
3.3.		Compresores.....	23
	3.3.1.	Desplazamiento positivo.....	25
	3.3.2.	Dinámicos.....	26
3.4.		Ventiladores	26
3.5.		Torre de enfriamiento	27
3.6.		Dispositivos de expansión.....	29
3.7.		Accesorios para la circulación del aire	31
3.8.		Dispositivos para la limpieza del aire	33
3.9.		Aislamientos.....	36
3.10.		Tubería para agua helada	37
	3.10.1.	Tubería de cobre	38
	3.10.2.	Tubería de acero galvanizado	38

3.10.3.	Tubería de policloruro de vinilo (PVC)	39
3.10.4.	Tubería de hierro negro	40
3.11.	Bombas de agua	41
3.12.	Ductería	44
3.12.1.	Ductería rectangular rígida	45
3.12.2.	Ducto redondo flexible	45
3.13.	Tanque de expansión	46
4.	DISPOSITIVOS DE CONTROL.....	47
4.1.	Controles básicos	48
4.2.	Controles de operación.....	49
4.3.	Controles de seguridad.....	50
5.	REFRIGERANTES	51
5.1.	Características termodinámicas	52
5.2.	Características físicas y químicas	53
5.3.	Seguridad	54
5.4.	Efectos sobre el medio ambiente	54
5.5.	Designación.....	55
5.6.	Refrigerante R134a	59
5.7.	Refrigerante R22	60
6.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	63
6.1.	Método igual fricción.....	64
6.2.	Método velocidad del aire.....	67
6.3.	Método caída de presión constante.....	68

7.	ANÁLISIS Y METODOLOGÍA.....	69
7.1.	Transferencia de calor.....	69
7.2.	Calor.....	70
7.3.	Humedad relativa	71
7.4.	Velocidad de transferencia de calor	79
7.5.	Cálculo de cargas térmicas y capacidad de <i>chiller</i>	81
7.5.1.	Radiación solar a través de vidrios.....	91
7.5.2.	Conducción a través de la estructura exterior	95
7.5.3.	Conducción a través de la estructura interior	100
7.5.4.	Ganancia de calor por alumbrado.....	101
7.5.5.	Ganancia de calor por personas	102
7.5.6.	Ganancia de calor por equipos.....	104
7.5.7.	Ganancia de calor por infiltración y/o ventilación ..	105
7.5.8.	Capacidad del equipo.....	116
7.6.	Diseño del sistema de ducto	118
7.7.	Diseño de tubería de agua helada	127
7.8.	Capacidad de la bomba de agua	155
8.	MANUALES	159
8.1.	Guía de operación.....	159
8.2.	Plan de mantenimiento.....	161
	CONCLUSIONES.....	167
	RECOMENDACIONES	171
	BIBLIOGRAFÍA.....	173
	ANEXOS.....	177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de máquinas del ciclo invertido de Carnot	5
2.	Representación del condensador evaporativo con tiro inducido	21
3.	Carga negativa en la bomba de agua	43
4.	Carga positiva en la bomba de agua.....	43
5.	Comparación de diagramas de presión-entalpía para un refrigerante zeótropo y un azeótropo	58
6.	Carta de pérdidas de fricción en ductos de la ASHRAE para volúmenes desde 1 000 hasta 100 000 p ³ /min	65
7.	Ductómetro, parte frontal y trasera.....	68
8.	Carta de confort	72
9.	Medidor de humedad y temperaturas Testo 625.....	73
10.	Medida de la humedad relativa en el exterior del recinto	75
11.	Medida de la temperatura de bulbo húmedo en el exterior del recinto.	76
12.	Medida de la temperatura de rocío en el exterior del recinto	76
13.	Trazo de temperaturas de rocío, bulbo húmedo, bulbo seco y humedad relativa en la carta psicrométrica a 5000 p de altura	78
14.	Representación de los componentes que generan una ganancia de calor en un recinto	81
15.	Vista de planta del terreno general de la 29 ^a Compañía de Bomberos Voluntarios.....	83
16.	Vista de planta edificio A, primer nivel.....	84
17.	Vista de planta edificio A, segundo nivel	85
18.	Vista de planta edificio B, primer nivel.....	86

19.	Vista de planta edificio B, segundo nivel.....	87
20.	Vista de planta, edificio B tercer nivel	88
21.	Diseño de ductería para el Área de Jefatura	120
22.	Diseño de ductería para el dormitorio de guardia permanente.....	121
23.	Diseño de ductería para el dormitorio de guardia voluntaria caballeros	122
24.	Diseño de ductería para el dormitorio de guardia voluntaria damas.....	123
25.	Diseño de ductería para la oficina administrativa.....	124
26.	Diseño de ductería para el salón de usos múltiples.....	125
27.	Lugar de instalación del <i>chiller</i> enfriado por aire.....	127
28.	Sistema de tubería de alimentación para jefatura, primer nivel, edificio A.....	131
29.	Sistema de tubería de alimentación del segundo nivel, edificio A	132
30.	Sistema de tubería de alimentación para oficina administrativa, primer nivel, edificio B.....	133
31.	Sistema de tubería de alimentación para el salón de usos múltiples en el segundo nivel, edificio B.....	134
32.	Diagrama de Moody.....	144
33.	Tubería de alimentación principal para la bomba de agua y de retorno al tanque de expansión.....	146
34.	Sistema de tubería de retorno para Jefatura, primer nivel, edificio A.....	149
35.	Sistema de tubería de retorno para oficina administrativa, primer nivel, edificio B.....	150
36.	Sistema de tubería de retorno del segundo nivel, edificio A	151
37.	Sistema de tubería de retorno para el salón de usos múltiples en el segundo nivel, edificio B.....	152

TABLAS

I.	Carta ASHRAE de dimensiones para ductos equivalentes.....	66
II.	Datos técnicos del medidor Testo 625.....	74
III.	Medidas de temperaturas y humedad relativa en el exterior del recinto.....	77
IV.	Medidas de temperaturas y humedad relativa en el interior del recinto.....	77
V.	Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios (BTU/h-ft ²)	92
VI.	Factor de carga de enfriamiento para el vidrio.....	93
VII.	Coeficientes de sombra para aleros	94
VIII.	Factor de transmisión de calor para vidrios (BTU/h-ft ² -°F).....	96
IX.	Factores transmisión de calor U (BTU/h-ft ² -°F), para puertas y pisos.....	97
X.	Diferencias equivalentes de temperaturas para paredes soleadas y sombreadas (°F)	99
XI.	Factores de transmisión de calor U (BTU/h-ft ² -°F) en paredes....	100
XII.	Ganancia de calor por personas	103
XIII.	Infiltración	105
XIV.	Infiltración por puertas (p ³ /min)	107
XV.	Ventilación	108
XVI.	Carga de enfriamiento edificio B, primer nivel, oficina administrativa	110
XVII.	Carga de enfriamiento edificio A, primer nivel, Jefatura.....	111
XVIII.	Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia permanente	112
XIX.	Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia voluntaria caballeros	113

XX.	Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia voluntaria damas	114
XXI.	Carga de enfriamiento edificio B, segundo nivel, salón de eventos múltiples	115
XXII.	Carga total de enfriamiento y caudal de aire	117
XXIII.	Velocidad máxima recomendada para ductos FPM	119
XXIV.	Dimensiones y peso de equipos UMA.....	120
XXV.	Cantidad estimada de láminas lisas galvanizadas para la fabricación de los ductos redondos de aire acondicionado	126
XXVI.	Caudal, diámetros de diseño y reales para las tuberías de alimentación de las unidades <i>fancoil</i>	130
XXVII.	Longitudes de tubería y accesorios para las líneas de alimentación de los <i>fancoil</i>	135
XXVIII.	Longitudes de tuberías y accesorios para las líneas de conducción de alimentación de agua helada.....	136
XXIX.	Longitudes equivalentes en diámetros para accesorios	138
XXX.	Longitudes equivalentes por accesorios para las tuberías de alimentación	139
XXXI.	Valores de rugosidad absoluta ϵ	142
XXXII.	Pérdida por fricción en tuberías y accesorios de alimentación	145
XXXIII.	Longitudes de tuberías, accesorios y diámetros reales para la línea de retorno hacia el tanque de expansión y alimentación a la bomba de agua.....	147
XXXIV.	Diámetros de diseño y reales para las tuberías de retorno	148
XXXV.	Longitudes de tuberías y accesorios para las líneas de retorno de los <i>fancoil</i>	153
XXXVI.	Longitudes de tuberías y accesorios para líneas de conducción de retorno	154

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Z	Altura de acuerdo al nivel de referencia
H	Altura del recinto (<i>High</i>)
W	Ancho del recinto (<i>Width</i>)
A	Área de la superficie (ft ²)
A _r	Aspereza relativa
HP	Caballo de potencia (<i>Horse power</i>)
CA/h	Cambio de aire por hora
C	Carbono
H _B	Carga de la bomba de agua
Q	Caudal del fluido
U	Coeficiente general de transferencia de calor para techos, paredes o vidrios (BTU/h-ft ² -°F)
C	Conductancia térmica del material (h- ft ² -°F/BTU)
K	Conductividad térmica del material (h-ft ² -°F/BTU * plg. de espesor)
I	Corriente eléctrica (A)
C	Constante de Hazen-Williams
ρ	Densidad del fluido
ΔT	Diferencial de temperatura (°F)
DT	Diferencial de temperatura (°F)
DTE	Diferencias equivalentes de temperatura (°F)
Ø	Diámetro
η	Eficiencia de la bomba

L	Espesor del material
f	Factor de fricción
q_L	Factor de ganancia de calor latente por persona de acuerdo a su actividad (BTU/h)
q_s	Factor de ganancia de calor sensible por persona de acuerdo a su actividad (BTU/h)
F	Flúor
gpm	Galones por minuto
Q_L	Ganancia de calor latente (BTU/h)
Q_s	Ganancia de calor sensible (BTU/h)
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gravedad
H	Hidrógeno
h	Hora
p.m.	Horario vespertino
HR	Humedad relativa
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
psf	Libra por pie cuadrado (<i>pound per square foot</i>)
psi	Libra por pulgada cuadrada (<i>pound per square inch</i>)
L	Longitud del recinto (<i>Length</i>)
L_ø	Longitud equivalente por accesorios
m	Metro
mm	Milímetro
n	Número de personas
N_R	Número de Reynolds
h_{IC}	Pérdida por fricción en el intercambiador de calor
h_f	Pérdida por fricción en tuberías y accesorios

Y	Peso específico del fluido
ft²	Pie cuadrado
p²	Pie cuadrado
p	Pie o pies
p³/min	Pies cúbicos por minuto
CFM	Pies cúbicos por minuto
p³/s	Pies cúbicos por segundo
FPM	Pies por minuto
p/s	Pies por minuto
PVC	Policloruro de vinilo
CPVC	Policloruro de vinilo clorado
%	Porcentaje
P_{eje}	Potencia al eje HP
P_{DS}	Potencia desarrollada HP
W	Potencia eléctrica (watt)
P	Presión manométrica
plg	Pulgada
R	Refrigerante
R	Resistencia térmica del material (h-ft ² -°F/BTU)
ε	Rugosidad absoluta
TR	Tonelada de refrigeración
TR	Tráfico de personas por puerta
Q	Velocidad de la transmisión de calor o ganancia de calor (BTU/h)
V	Velocidad del flujo
υ	Viscosidad cinemática del fluido
μ	Viscosidad dinámica del fluido
V	Voltaje, voltios

GLOSARIO

Acondicionamiento de aire	Tratamiento del aire ambiente con el fin de alcanzar un valor de temperatura confort para el humano, controlando ciertos factores del aire como humedad, temperatura, velocidad, etc.
Armaflex	Polímero tipo espuma, que posee muy buenas características aislantes y control de condensación.
ASHRAE	Sociedad Americana de los Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).
Azeótropo	Refrigerantes que son formados por la combinación de dos o más refrigerantes, para obtener una estabilidad en sus propiedades a un mismo valor, sin afectar su composición volumétrica.
Blower	Ventilador tipo radial, de alto uso en sistema de aire acondicionado.
BTU	Unidad Térmica Británica (British Thermal Unit), calor que se elimina o se agrega a una libra de agua pura para reducir o aumentar su temperatura un grado Fahrenheit.

Caída de presión	Pérdida provocada por la resistencia al flujo de aire o agua en un sistema a través de un accesorio o cambios de dirección.
CFCs	Tipos de refrigerantes que pertenecen a la serie de los clorofluorocarbonatos.
Chiller	Equipo para aplicación en refrigeración o aire acondicionado, que se utiliza para realizar una transferencia de calor con algún fluido, realizado principalmente por agua; a través de un refrigerante mediante un intercambio térmico en las tuberías; puede ser enfriado por agua o aire.
Cuña	Conocida también como chaveta, es una pieza que se inserta entre dos elementos mecánicos para evitar deslizamiento de un elemento entre el otro.
Dampers	Accesorios de compuertas que sirven para la regulación de un flujo de aire en un sistema de ductos.
Deshumidificación	Proceso en el cual se busca reducir la cantidad de humedad que posee el aire para cierta aplicación.
Ductería	Sistemas que se utilizan para la conducción de aire acondicionado, calefacción o ventilación; puede ser ducto rectangular rígido o ducto redondo flexible.

Ductómetro	Herramienta manual que sirve obtener las dimensiones de los ductos de aire, tanto rectangulares como circulares; en función de la velocidad, flujo del aire y pérdida por fricción. Conocido también como ductulador.
Estopero	Pieza cuya función es proteger la bomba contra el escurrimiento en el punto en que la flecha atraviesa la cubierta de la bomba centrífuga.
Etilenglicol	Sustancia líquida sintética soluble con el agua, con leve sabor dulce, usado para soluciones anticongelantes como difusor de calor.
Fancoil	Ventiloconvector, equipo que sirve para realizar un intercambio térmico entre las tuberías de un fluido a cierta temperatura con el aire que se hace circular.
Flange	Acoplamiento, unión para ejes.
HCFCs	Tipos de refrigerantes que pertenecen a la serie de los hidroclorofluorocarbonos.
HEPA	Partículas de aire altamente eficientes (<i>High efficiency particulate air</i>).
HFCs	Tipos de refrigerantes que pertenecen a la serie de los hidrofluorocarbonos.

Hidroterapia	Terapia de recuperación con aplicación de agua a cierta temperatura.
Humedad relativa	Es la medida de la cantidad de vapor presente en fase gaseosa contenida en el aire.
HVAC	Calefacción, ventilación y aire acondicionado, también conocido como CVAA (<i>Heating, ventilating and air conditioning</i>).
ITUGS	Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, ubicado en kilometro 45 carretera antigua a Palín-Escuintla.
NPSHR	Carga de succión positiva neta requerida (<i>Required net positive suction head</i>), se emplea para determinar si existirá cavitación en un bomba de agua.
ODP	Se describe como el potencial dañino a la capa de ozono (<i>Ozone danger potential</i>).
Proceso isobárico	Proceso en el cual un gas se expande o contrae, mientras que la presión se mantiene constante.
Proceso isoentrópico	Proceso en el cual la entropía del fluido que forma un sistema permanece constante.

Refrigerante	Toda sustancia que absorbe calor cuando se evapora y elimina calor cuando se condensa.
Timers	Temporizadores, accesorios para controlar tiempo de operación.
Tonelada de refrigeración	Cantidad de calor que absorbe una tonelada de hielo sólido para su fusión en 24 horas, siendo equivalente a 12 000 BTU/h.
UMA	Unidad manejadora de aire, considerado como un evaporador que sirve para un intercambio de temperatura entre el aire del recinto con agua helada/caliente y/o refrigerante.
Válvula de retención	Válvula cheque, la cual no permite que un fluido retorne por la vía en que ingresó a un sistema.
Válvula de 3 vías	Elemento de acción que sirve para inhibir el paso de un flujo y redirigirlo hacia otra línea, estilo <i>bypass</i> .
Zeótropo	Refrigerantes que varían su composición volumétrica a presión constante, por lo cual los procesos de evaporación y condensación se dan a diferentes temperaturas.

RESUMEN

El Cuerpo integrado por la 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios es un grupo de socorro, prestando sus servicios *ad honorem* para auxiliar a la población ante cualquier percance que se presente; solicitando colaboración a la población y diferentes entidades para sufragar sus gastos o por medio de actividades de recaudación. Diseñando un sistema de aire acondicionado para dicha compañía con un *chiller* enfriado por aire, para mejorar las condiciones de confort humano dentro de los diferentes recintos que la componen. Los *chiller* son empleados principalmente en procesos industriales para sistemas de alta demanda de aire acondicionado, refrigeración o congelación, son equipos robustos que requieren de cierto espacio y control para su operación.

Para diseñar un sistema de aire acondicionado se debe regir por una serie de procedimientos; ubicación geográfica, evaluación de las instalaciones, cargas térmicas, tipo de equipo a instalar de acuerdo a su demanda, diseños del sistema de ductos y agua, montajes supervisados, pruebas y entrega del proyecto. Un mantenimiento correcto de los accesorios que los componen y control del agua; definirán una operación óptima y una larga vida de trabajo.

El diseño de los sistemas de ductos de aire y tuberías de agua, debe realizarse para que el sistema sea funcional, minimizar el material y poder reducir costos; tomando en consideración que se debe lograr una adecuada distribución del aire en los recintos para alcanzar el confort humano de acuerdo a la temperatura ambiente y la región en que se ubique. Logrando mejores rendimientos con un correcto aislamiento en las tuberías de agua helada y en los ductos que se encuentran expuestos en la intemperie.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de aire acondicionado para brindar confort térmico en las instalaciones de la 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios.

Específicos

1. Dimensionar adecuadamente la capacidad del *chiller* enfriado por aire para el acondicionamiento del aire.
2. Ubicar estratégicamente el sistema principal del *chiller* enfriado por aire en las instalaciones.
3. Encontrar las mejores rutas de instalación para los sistemas de los ductos de aire y tuberías de agua para minimizar materiales y que el sistema sea eficiente en su intercambio térmico.
4. Dimensionar los ductos de aire acondicionado, para la determinación del material necesario en la fabricación de los mismos.
5. Realizar los manuales de usuario y mantenimiento para el manejo del sistema completo de aire acondicionado.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de acondicionamiento de aire brindan en la actualidad una amplia gama de diseños de equipos y consecuentemente, la aplicación que se les da en todos los países del mundo, operando a diferentes temperaturas fuera de los valores para el confort humano. El acondicionamiento del aire es un proceso considerado como el más completo sobre el aire del ambiente; consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura del aire interior con respecto a la del exterior, humedad relativa, limpieza y el movimiento del aire adentro de los recintos.

La termodinámica es una rama de vital importancia en el estudio del acondicionamiento del aire, puesto que trata sobre la transferencia de calor de un estado a otro en un sistema. Complementariamente a las leyes de la termodinámica, es necesaria la identificación de los aspectos fundamentales del medio ambiente, los cuales constituyen el estudio de la refrigeración y el acondicionamiento del aire.

El proyecto que se presenta, se enfoca en el diseño de acondicionamiento de aire para una Compañía de Bomberos Voluntarios, ubicada en el municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala. Este diseño se basa en una unidad central tipo *chiller* enfriado por aire, complementado con equipos *fancoil*, tubería para el agua helada y ductería para el aire acondicionado.

Es importante que las personas encargadas de la operación conozcan qué tipo de equipo de aire acondicionado emplean y qué función tiene cada uno de sus elementos. Por otro lado, el uso del aire acondicionado debe realizarse con mesura debido al consumo energético que puede ser alto, sobre todo cuando se utiliza de manera excesiva.

1. GENERALIDADES DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS

1.1. Fundación

“Ante la necesidad de crear un Cuerpo de Bomberos Voluntarios en Amatitlán, un grupo de personas entusiastas se reunieron durante varias ocasiones y comenzaron los trámites necesarios para poder formar un Comité Pro-compañía de Bomberos para el municipio de Amatitlán, trámite necesario y obligatorio dentro de los estatutos del Benemérito Cuerpo Voluntario de Bomberos de Guatemala para la formación de nuevas Compañías de bomberos.

El Comité Pro-compañía de Bomberos fue aprobado por Gobernación Departamental según Resolución No. 04015 de fecha 17 de julio de 1975 y autorizado para poder efectuar las diferentes actividades para recaudar fondos según Decreto Gubernativo No. 2028; posteriormente sus integrantes fueron juramentados por el coronel Francisco Ardón Fernández, interventor del Benemérito Cuerpo Voluntario de Bomberos de Guatemala, el día 2 de agosto de ese mismo año en el parque Central de Amatitlán”.¹

¹ 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios. Trifoliar otorgado por la Asociación de Bomberos Voluntarios de Amatitlán, Guatemala.

1.2. Descripción

“Somos hombres y mujeres comprometidos con nuestra comunidad. Aplicamos nuestros conocimientos técnicos en sus diferentes disciplinas para llevar esperanza y ayuda en los momentos de angustia y dolor a nuestro prójimo, salvando vidas aun a costa de la propia y salvaguardando sus bienes materiales en casos de incendio y catástrofe”.²

1.3. Organización

“Como toda compañía adscrita al benemérito cuerpo voluntario de bomberos de Guatemala, la 29ª compañía de bomberos voluntarios del municipio de Amatitlán es administrada por un grupo de miembros activos de esta, electos por votación para dirigir los destinos de ella durante un período de doce meses a partir del 16 de agosto de cada año. Este grupo administrador es denominado junta de oficiales y está compuesto por un director, un jefe de compañía, un secretario y un tesorero, sin diferencia de género”.³

1.4. Misión y visión

“La misión y visión del Cuerpo de Bomberos Voluntarios, se describen en general para todas las Compañías ubicadas en los diferentes departamentos de Guatemala, para lo cual las describen de la siguiente manera”.⁴

² 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios. Trifoliar otorgado por la Asociación de Bomberos Voluntarios de Amatitlán, Guatemala.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

Misión

“Con fe en Dios, nos solidarizamos con nuestro prójimo las veinticuatro horas del día, sin distinción de raza, nacionalidad, estatus social, credo religioso o creencia política; servimos con amor a nuestra comunidad, comprometidos siempre con nuestro deber social y humano, característico de todo bombero voluntario”.⁵

Visión

“Ser una institución ejemplo en nuestra comunidad, brindando un servicio humano de calidad a través de la tecnificación y profesionalización de nuestro personal, actuando siempre con base a la disciplina, honor y abnegación que es nuestro Credo y Trilogía Institucional”.⁶

1.5. Ubicación

“Actualmente, la 29ª Compañía del Benemérito Cuerpo Voluntario de Bomberos de Guatemala con sede en la 3ª avenida 3-16 barrio La Cruz del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, se ha desarrollado tanto técnica como administrativamente, siendo a la fecha una de las Compañías del Cuerpo mejor organizadas, con mayor cantidad de miembros efectivos, con unidades élite de operaciones especiales mejor entrenadas y con estructura administrativa más sólida”.⁷

⁵ 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios. Trifoliar otorgado por la Asociación de Bomberos Voluntarios de Amatitlán, Guatemala.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

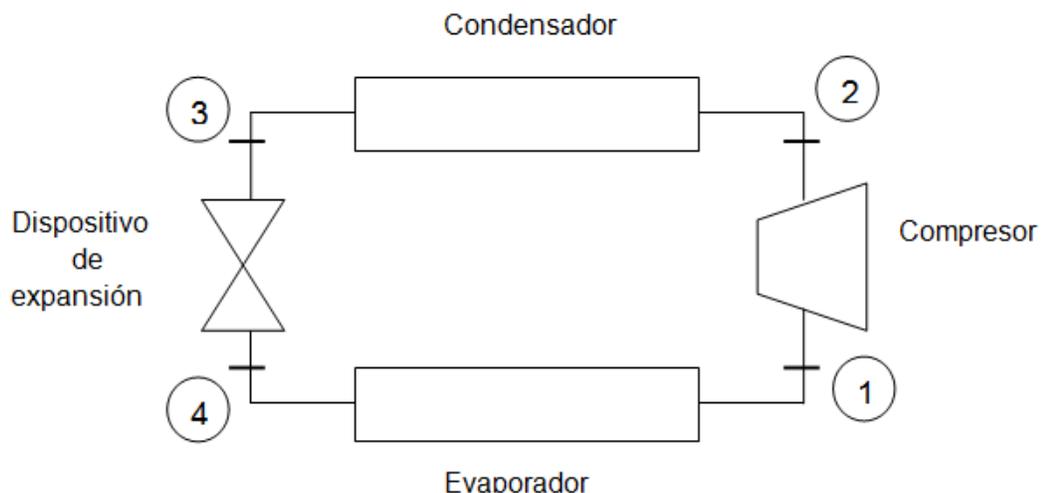
2. AIRE ACONDICIONADO

2.1. Principio de aire acondicionado

Para los estudios termodinámicos, se le ha dado un amplio uso al ciclo de Carnot en calefacción o generación de vapor. En refrigeración se da el uso del ciclo invertido de Carnot.

“El ciclo invertido de Carnot es totalmente reversible, se compone de dos procesos isotérmicos reversibles y de dos procesos isoentrópicos”.⁸

Figura 1. Diagrama de máquinas del ciclo invertido de Carnot



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

⁸ CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 619.

Describiendo de la siguiente manera dichos procesos:

- Del punto 1 a 2 se da la compresión isoentrópica, aumentando la temperatura y presión del fluido.
- Del punto 2 a 3 existe la condensación del fluido en un proceso isotérmico, ocurriendo una transferencia de calor por el aire ambiente.
- Del punto 3 a 4 se produce una expansión isoentrópica, disminuyendo su temperatura y presión.
- Del punto 4 a 1, finalmente ocurre un proceso de evaporación isotérmica, en el que ocurre la transferencia de calor hacia el recinto, disminuyendo la temperatura del fluido.

2.2. Acondicionamiento de aire

El acondicionamiento de aire se trata prácticamente de elevar o bajar la temperatura del aire exterior, para cumplir con cierto requerimiento de un recinto el cual se desea acondicionar; refiriéndose a calefacción o refrigeración. Alcanzando una temperatura de confort humano o de una operación industrial (dependiendo de la aplicación del aire acondicionado, si será para enfriamiento o calentamiento), controlando la humedad relativa, recirculación del aire, introducción de aire exterior, ventilación del recinto, velocidad a la cual se descarga el aire en el sistema y filtración del mismo.

Entre la ventilación y filtración se da el proceso de limpieza del aire a través de filtros, esto es de suma importancia para poder eliminar partículas de polvos, sustancias contaminantes o alguna otra partícula, para lo cual el aire ingresa por medio de la ventilación a través de un sistema de ductos y un equipo adecuado para la distribución del aire en el recinto.

El ser humano, por naturaleza tiende a generar calor, independientemente de la actividad que realiza en cierto lugar y momento, así mismo se dan otro tipo de cargas térmicas, tales como los electrodomésticos, bombillas y todo aquel equipo que es capaz de producir calor. Para lo cual se deben tomar en consideración todas aquellas cargas que puedan intervenir en el acondicionamiento del aire y poder alcanzar el confort térmico para las personas que habitan o permanecen en un recinto en específico.

2.3. Diseño de sistemas de aire acondicionado

Al realizar el cálculo de un sistema de aire acondicionado, se debe tener el control de los aspectos que entran en juego y que afectan directamente la calidad del aire acondicionado; como: temperatura del aire interior y exterior del recinto, humedad relativa, descarga del aire, ubicación, filtración y las cargas producidas debido a las diversas actividades de las personas que se encuentran en un determinado recinto e involucran en el cálculo del sistema de aire acondicionado.

En el diseño de un sistema de aire acondicionado se deben seguir ciertos procesos, donde no se brinda un orden específico para realizarlos debido a que en cada tipo de sistema se requiere de un procedimiento y atención. Algunos de los procedimientos técnicamente descritos son:

- Estudio del área en que se encuentra el recinto
- Levantamiento y estudio de planos
- Toma de datos de posibles cargas térmicas
- Determinación de la carga térmica y capacidad del equipo
- Selección del equipo
- Diseño del sistema de ductos, selección de materiales y accesorios

- Montaje del sistema de ductos y equipo de aire acondicionado
- Pruebas y aprobación
- Entrega de planos y especificaciones técnicas

2.4. Equipos de acondicionamiento de aire

Actualmente existen diferentes equipos para acondicionar aire, que se rigen bajo el mismo principio de operación, los cuales deben ser capaces de brindar un confort térmico en el ambiente a todas las personas que residen en un recinto o satisfacer una necesidad para un proceso industrial.

Existen equipos que están integrados para brindar aire acondicionado y calefacción, de acuerdo al clima de cada región. Así como algunos que solo brindan una aplicación, como confort de un recinto donde se encuentra cierta cantidad de personas realizando una actividad o para aplicaciones industriales, en las cuales se requieren de capacidades grandes de los equipos. Estos equipos difieren en su fabricación y tamaño de sus componentes, que a su vez dan una idea de la capacidad de aire que se puede acondicionar.

En Guatemala es posible encontrar una amplia gama de equipos de aire acondicionado, desde portátiles hasta tipo *chiller*, para lo cual el precio puede variar de acuerdo a la calidad del equipo y para el proceso que se requiera.

Debido a que el diseño del sistema es con base en un sistema de aire acondicionado con un *chiller* enfriado por aire, tendrán mayor énfasis las unidades *chiller*.

2.4.1. Unidades *split*

Es un equipo de acondicionamiento de aire, por lo general tiene mayor aplicación residencial y de oficina. Consta de dos unidades separadas, fabricadas de tal manera que sea de fácil instalación y conexión.

La unidad acondicionadora se encuentra integrada generalmente del evaporador, filtro, ventilador, rejillas y motor eléctrico, tiene la operación de succionar el aire ambiente, el cual hace pasar por el filtro y evaporador.

La unidad condensadora integrada generalmente del condensador enfriado por aire ambiente, compresor hermético, dispositivo de expansión, refrigerante y aceite, cumple la función de eliminar el calor absorbido por el refrigerante al medio ambiente.

2.4.2. Unidades portátiles

Como su nombre lo dice, son equipos que se pueden transportar sin mayor complicación, de fácil montaje y conexión, colocada en el suelo para su funcionamiento. Es un equipo compacto, con una capacidad de acondicionamiento de aire reducida.

2.4.3. Unidades tipo paquete

Conocidos también como equipo tipo ventana debido a que su montaje se realiza en una ventana o a través de una pared, en este equipo vienen integrados todos los componentes en una sola consola, generalmente brindan acondicionamiento para calefacción y aire acondicionado.

Sin necesidad de instalar tuberías para la succión de aire y para el evaporador, como se realiza en algunos equipos *split*. Para capacidades mayores a 3 toneladas, las unidades tipo paquete vienen diseñadas para intemperie, generalmente se colocan en azoteas o sobre techos de lámina, necesariamente tienen que instalar ductería hacia el espacio que se requiere acondicionar.

2.4.4. Unidades tipo *chiller*

Una unidad tipo *chiller* es un equipo para enfriar líquidos, generalmente agua. Tiene la capacidad de enfriar un recinto usando el mismo principio de refrigeración que el de los equipos *split*, paquete y portátiles. También es conocido como enfriador de agua, es un aparato de aplicación industrial, generalmente debido a su elevada capacidad de enfriamiento.

Podría describirse como un sistema completo de refrigeración, el cual consta generalmente de: compresor, intercambiador de calor, válvula de expansión, refrigerante, tuberías, bombas de agua, sistema de control de operación, depósito de agua. Con este equipo se pueden alcanzar temperaturas bajo cero agregando anticongelantes, por ejemplo: -10 grados centígrados.

Una de las características principales del *chiller* de acuerdo a la función de trabajo es:

- Funcionar como una bomba de calor, manteniendo caliente el fluido de trabajo.
- Funcionar como equipo de refrigeración, manteniendo frío el fluido de trabajo.

2.4.4.1. Aplicaciones

La utilización de equipos *chiller* es muy amplia en los diferentes procesos industriales, tales como:

- Conformado de plásticos: enfriar el plástico y aceite caliente de los equipos de inyectado, soplado, extruido o sellado.
- Industria de impresión: enfriar rodillos debido a la fricción y hornos para el curado de tinta.
- Industria de HVAC: para acondicionar hoteles, centros comerciales, salones en gran escala; envían el agua helada por medio de tuberías hasta cierto lugar en específico, en donde después se le hace pasar aire para acondicionar un recinto, manteniendo el aire a una temperatura controlada.
- Industria alimenticia: utilizada en los diferentes procesos de enfriamiento de productos, tales como avícola, láctea, agrícola, embutidos, bebidas, etc. En la cual se da una diversidad de usos para obtener una temperatura deseada en cada producto.
- Industria médica: para lograr el enfriamiento de equipo médico especial, tal como el equipo de resonancia magnética, tomografías, etc.
- Industria de procesos químicos: para el control de temperatura en la fabricación de medicina.
- Centros de cómputo: para el control de la temperatura en los equipos de cómputo donde se almacena mucha información electrónica.

2.4.4.2. Funcionamiento

El *chiller* es un equipo para enfriamiento de líquidos, en el cual generalmente se utiliza el agua; proceso que se da mediante un intercambio térmico entre el refrigerante y agua, como pasa en un sistema de expansión directa. Puede funcionar también como una bomba de calor, es decir, para calefacción.

En este caso, en vez de hacer contacto directo el aire con un evaporador, se hace pasar a través de un radiador donde circula el agua helada, colocado en una unidad *fancoil*; posee un ventilador en su interior para robar el calor del agua helada con el aire. En donde el agua aumenta su temperatura al salir del radiador hacia un tanque o depósito, luego el agua es enviada nuevamente al evaporador del *chiller* por medio de un sistema de bombas, para iniciar el proceso nuevamente y ser enfriada por medio del refrigerante.

2.4.4.3. Componentes principales

Las unidades centrales de aire acondicionado que utilizan equipos *chiller*, tanto enfriados por aire y agua, presentan cierta cantidad de componentes básicos, tales como:

- Compresor.
- Evaporador (generalmente es un intercambiador de calor de carcasa y tubos).
- Condensador (no es más que un intercambiador de calor para *chiller* enfriado por agua).
- Serpentín de superficie expandida para *chiller* enfriado por aire.
- Válvula de expansión.

- Ventiladores.
- Circuito de control eléctrico.
- Accesorios de control de refrigeración.
- Tuberías.
- Bombas de agua.
- Refrigerante.
- Intercambiador de calor tipo placas, para sistema enfriado por agua.

2.4.4.4. Principio de operación

Aplicando el ciclo de Carnot invertido, el principal objetivo del sistema es extraer el calor sensible del líquido en operación a través de transferencia de calor con un refrigerante, por medio de un intercambiador de calor, para lo cual se puede controlar con sus curvas de operación.

Básicamente se puede describir de tal forma que el agua que se requiere para enfriar se hace circular en el intercambiador de calor, pero antes de eso el refrigerante debe ser comprimido, elevando su temperatura en su paso por el condensador en donde libera el calor ganado en el proceso de compresión. Disminuyendo su presión por el sistema de estrangulación de la válvula de expansión o tubo capilar, para absorber energía y transmitir la baja temperatura y siendo adquirida por el agua lograr bajar su temperatura de acuerdo a la necesidad del proceso en el ciclo.

A continuación se describe el principio de operación de refrigeración de una manera más simple:

- Se da la compresión del refrigerante, posteriormente la condensación del mismo, dando lugar a un aumento de presión y temperatura.
- Ingresando al sistema de estrangulación, disminuyendo la presión del sistema después de pasar por el sistema de expansión, disminuye su temperatura y presión.
- Siendo evaporado el refrigerante, es aprovechado para enfriar agua o aire y poder alcanzar la temperatura deseada, aplicando la segunda ley de la termodinámica.
- Repitiéndose el ciclo en el sistema.

2.4.4.5. Chiller enfriado por aire

Opera bajo el principio del ciclo de Carnot invertido para la producción de aire acondicionado. Se utilizan para refrigeración, deshumidificación de aire, aire acondicionado, en sectores comerciales e industriales.

Este equipo tiene diversas aplicaciones, por ejemplo: cines, hoteles, edificios con gran cantidad de oficinas, maquilas, restaurantes, supermercados, etc. Puede ser instalado en el techo o en el piso, una ventaja de este equipo es que no requiere de una torre de enfriamiento, así como el *chiller* enfriado por agua, por lo cual reduce sus costos en compra, operación y consumo de agua.

Posee la capacidad de producir agua fría o caliente a temperaturas moderadas en sus diferentes aplicaciones industriales, comerciales y domiciliarias. Su condensador puede ser de apariencia en tipo M, U o V. El tipo V se aprecia por su compacto diseño y por brindar una apariencia externa excelente.

“Debido a que no necesitan torre de refrigeración, ni bomba para de agua fría, disminuye el consumo de agua, por último, un chiller enfriado por aire es fácil de instalar, mantener y controlar”.⁹

2.4.4.6. Chiller enfriado por agua

Este equipo, al igual que el *chiller* enfriado por aire, sirve para enfriar agua y poder acondicionar un ambiente o algún proceso industrial, el *chiller* enfriado por agua es un sistema de mayor eficiencia que el enfriado por aire. El inconveniente de este equipo es su elevado precio, que se debe contar con un espacio adicional para la instalación de una torre de enfriamiento para disminuir la temperatura del agua del proceso. Lo cual compensa con su gran capacidad de producción de agua helada.

El agua que se utiliza en el proceso de condensación debe ser tratada para evitar posibles incrustaciones o corrosión de todo el equipo que lo compone, por el cual se hace circular agua, de la misma manera que afecte el intercambiador de calor donde se realiza la transferencia de calor entre el refrigerante y agua.

⁹ VICOT. Chiller enfriado por aire. <http://www.vicot.es/2-water-chiller-1.html>. Consulta: octubre de 2013.

Son de uso muy frecuente para edificaciones grandes y empresas que requieren de mayores cantidades de agua helada debido que son de gran tamaño; pueden llegar a varias toneladas de peso, puede considerarse la carga en la construcción del edificio y también para el montaje del mismo. Generalmente este tipo de equipos se encuentran montados en los sótanos de los edificios.

2.4.5. Unidades *fancoil*

En la lengua española se describe como ventiloconvector. Es un sistema muy sencillo en su construcción, consiste en una consola o carcasa, un sistema de tubería para realizar el intercambio térmico, ya sea para refrigeración o calefacción por medio de circulación de aire hacia las tuberías.

Se podría describir como un radiador y sistema de filtración, con un motor eléctrico y un ventilador tipo radial incorporado para circular aire, llamados regularmente *blower*, los cuales son encargados de realizar una transferencia de calor entre las tuberías y el aire que se hace circular a través del serpentín.

Tienen una amplia variedad en diseños y tamaños de acuerdo a la necesidad del recinto que se desea acondicionar, poseen disposiciones verticales y horizontales, pueden ir sobre cielo raso, ventanas, suelo, terrazas o montado sobre la pared, de acuerdo a su dimensión. Utilizados en diversas aplicaciones, como en: hoteles, salas de reuniones, hospitales, casas, oficinas, uso en *chiller* para el intercambio de calor del agua con el aire, etc.

2.5. Sistema de enfriamiento

Debido al tipo de equipo que se utiliza para acondicionar el aire de un recinto y la capacidad elevada de enfriamiento de aire, existe un sistema que realiza el enfriamiento del fluido y poder determinar las propiedades o parámetros que se desean para realizar un proceso en la industria. Esto se divide en:

- Refrigeración directa
- Refrigeración indirecta

2.5.1. Refrigeración directa

Se describe como aquel proceso en el cual el sistema de refrigeración entra en contacto directo con el recinto que se desea acondicionar.

Por ejemplo: las cámaras de aguas gaseosas, el refrigerante entra al evaporador y este se encuentra colocado en la cámara, entrando en contacto directo con el ambiente que se desea enfriar.

Este cuenta con el equipo básico de un sistema de refrigeración: compresor (generalmente hermético de 110/220 V), condensador (tipo radiador, se encuentra en la parte baja de la cámara), equipo estrangulador (usualmente utiliza un tubo capilar), termostato (controla la temperatura de la cámara) y el evaporador.

2.5.2. Refrigeración indirecta

Sistema mayormente empleado en el sector industrial, en este proceso el refrigerante no tiene contacto directo con el recinto que se quiere acondicionar, así como se emplea en el sistema de refrigeración directa. En este sistema el refrigerante intercambia calor con otro fluido, generalmente agua por medio de un intercambiador de calor. Habiendo intercambiado el calor, este otro fluido se utiliza para acondicionar o enfriar el recinto, haciendo circular aire por medio de un ventilador y alcanzar la temperatura deseada para el recinto.

Este sistema también tiene como finalidad evitar la contaminación, debido a una posible fuga en el equipo de refrigeración y que entre en contacto directo al área acondicionada, generalmente en las ramas alimenticias, médicas, bebidas y farmacéuticas.

3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

“Los componentes básicos de un sistema de refrigeración típico son: el compresor, el condensador, el evaporador, la válvula de expansión y el sistema de control. En muchos casos también se utiliza una torre de enfriamiento para disipar el calor rechazado por el condensador”.¹⁰

3.1. Condensadores

Los condensadores son componentes que sirven para realizar el cambio de fase del refrigerante, para ello se transfiere energía calorífica al medio en el cual se encuentra para enfriarse. Por economía o práctica suele aplicarse con agua o aire ambiente.

“Los condensadores reciben el vapor refrigerante recalentado procedente del compresor, eliminan el recalentamiento del vapor y, a continuación lo licúan. El condensador es el lugar donde se produce la eliminación del calor en un sistema de refrigeración”.¹¹

¹⁰ MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p. 19.

¹¹ STOECKER, Wilbert. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. p. 104.

3.1.1. Enfriado por aire

En este tipo de condensador, el refrigerante está circulando a través de un serpentín (parecido al radiador que poseen los vehículos para enfriar el refrigerante o agua), sistema de tubería de varias vueltas desde su fase gaseosa a líquida. Proceso en donde es enfriado por aire que se hace fluir en la tubería por flujo natural, inducido o forzado por medio de un ventilador, efecto que posee mayor capacidad de enfriamiento del refrigerante.

3.1.2. Enfriado por agua

Este tipo de condensador es parecido al enfriado por aire, la única diferencia es que se hace circular agua en vez de aire para enfriar el refrigerante. Este sistema es parecido al de un intercambiador de calor, cuenta con un cilindro cerrado y dentro de él se encuentra un serpentín que posee varias vueltas para realizar un intercambio de calor entre el agua y el refrigerante. Debido a su sistema de funcionamiento, generalmente se debe emplear con una torre de enfriamiento para recircular el agua en el sistema.

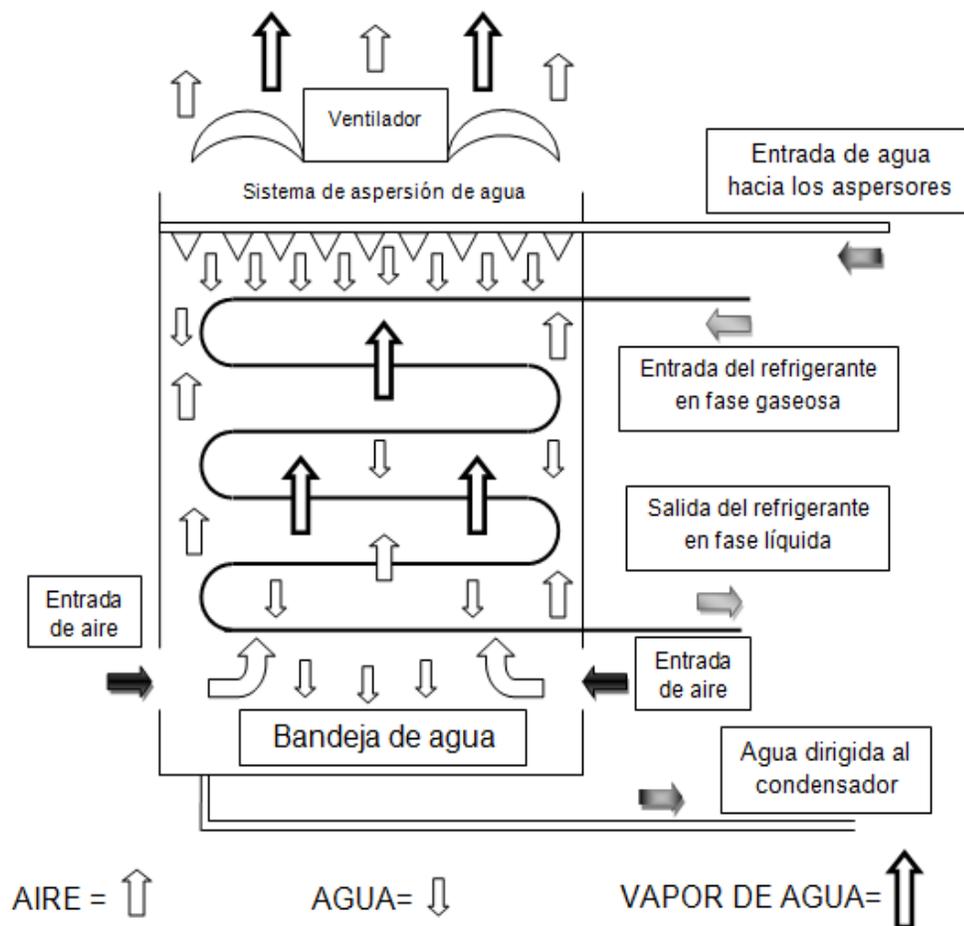
3.1.3. Evaporativo

Es considerado como un sistema de refrigeración semiabierto. Este diseño de condensador es un tanto complejo debido a la manera que se emplea para enfriar el refrigerante del sistema.

Consta de un diseño parecido al de una torre de enfriamiento, en la cual tiene un conjunto de serpentines, por los que circula el refrigerante con temperatura elevada que van expuestos para el intercambio de calor.

Los cuales son enfriados por agua que se les deja caer desde la parte alta por un conjunto de aspersores en donde posee un ventilador para introducir aire por medio de tiro inducido o forzado y posteriormente eliminar el vapor de agua que se produce debido a la transferencia de calor entre el refrigerante y los elementos considerados como medios fríos, los cuales son agua y aire.

Figura 2. **Representación del condensador evaporativo con tiro inducido**



Fuente: PALACIOS PINTO, Jorge Luis. *Diplomado Acondicionamiento del agua para la industria*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2. Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor son componentes del sistema de refrigeración, importantes para poder realizar una transferencia de calor de un fluido a otro, generalmente se encuentran separados por un cilindro cerrado y en su interior poseen un conjunto de tuberías. Existe una amplia variedad en los diseños de los intercambiadores de calor que se utilizan en una diversidad de procesos industriales, actualmente se originan cambios en la dirección en que se dirige el fluido, entre algunos diseños están:

- Carcasa y tubos
- Doble tubo
- Tipo placa
- Enfriados por aire
- Tubo en espiral
- Para sólidos

Como el diseño se basa con equipo *chiller*, se hace referencia a dos tipos de intercambiadores de calor tipo placa y el de tipo carcasa y tubo, ya que son los tipos que más se utilizan en refrigeración con equipos *chiller*.

3.2.1. Tipo placa

Este diseño de intercambiador de calor consta de unas placas, que sirven para la conducción del calor y tuberías, las cuales posee dos entradas y dos salidas, una sirve para el flujo que se utilizará para realizar la transferencia de calor y la otra entrada para el fluido que se empleará en el proceso, el cual se requiere enfriar o calentar. Todo montado sobre una armadura que sostiene los tubos y las placas.

Tipo de intercambiador que se utiliza generalmente en los sistemas de *chiller* enfriado por agua, como un equipo auxiliar entre la torre de enfriamiento y el condensador del equipo; para evitar incrustaciones en el condensador.

3.2.2. Carcasa y tubos

Este tipo de intercambiador de calor es utilizado en diversos procesos industriales, empleado ampliamente en los sistemas de refrigeración que utilizan *chiller*, enfriado por agua y por aire, debido a su gran capacidad de enfriar agua, por la cantidad de tubos que posee y su longitud.

Construido de un cilindro cerrado con dos salidas y dos entradas, en los cuales se dirige el agua y el refrigerante, cuenta con una serie de tubos montados en forma de serpentín o a lo largo de la longitud de la carcasa, con una distancia entre sí. Consta de unos deflectores tipo media luna, conocidas como baffles, con una distancia prudente entre sí y montados alternadamente, los cuales sirven para ir variando el sentido del flujo del agua, generalmente en tipo olas y realizar un intercambio de calor con mayor eficiencia.

3.3. Compresores

Los compresores son considerados como el principal de los elementos en los sistemas de refrigeración, ya que gracias a ellos se logra el aumento de la presión y temperatura del refrigerante en fase gaseosa en el ciclo, el cual se utilizará posteriormente para enfriar o calentar algún fluido.

“El compresor es el componente que más energía consume en un sistema de refrigeración, así que su rendimiento y confiabilidad tienen mucho peso dentro del rendimiento total del sistema de CVAA”.¹²

Existen diferentes maneras que logran realizar la compresión del refrigerante, así como su tamaño y diseño del compresor, de acuerdo a la aplicación en la industria, comercio o domiciliario; los cuales son divididos en dos categorías:

- Desplazamiento positivo
- Dinámicos

Los compresores varían en diseño de acuerdo a 3 categorías:

- Abiertos: en categorías recíprocantes, giratorios o de espiral, el compresor puede ser reparado en su totalidad al igual que el motor eléctrico, ya que se encuentran separados por medio de bandas.
- Semiherméticos: se encuentran sellados por medio de tornillos, encontrándose el motor dentro de la armadura, pueden ser reparados.
- Herméticos: están totalmente sellados, el motor se encuentra dentro de una lámina soldada, no se pueden reparar.

¹² MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p. 19.

3.3.1. Desplazamiento positivo

Es el tipo de compresor de mayor utilidad en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, estos compresores realizan la compresión del refrigerante, disminuyendo el volumen, logrando un aumento de presión y temperatura del mismo, realizando movimientos circulares.

De estos tipos, los que tienen mayor uso son los reciprocantes, en los cuales se realiza la compresión por un conjunto de mecanismos conocido como biela-manivela; contando con uno o varios pistones, realizando el movimiento de vaivén para comprimir el refrigerante.

Seguidos por el tipo giratorio, en donde realizan movimientos circulares continuos, poseen una alta eficiencia, debido a que poseen menos piezas para movilizar, reducen los puntos muertos de algunas piezas para hacerlas girar, disminuyendo la fricción.

Siendo utilizados, mayormente, los de tipo tornillo o de rotor helicoidal, los cuales puede que posean un solo tornillo o dos para realizar la compresión del refrigerante, teniendo la capacidad de aumentar considerablemente la presión del sistema. Por último, los de tipo espiral u orbitales, realizan movimientos giratorios por medio de espiras para comprimir el refrigerante, tienen amplio uso en aire residencial y comercial, son de alta eficiencia y generan muy poco ruido en comparación con los reciprocantes y giratorios; generalmente son de diseño hermético.

3.3.2. Dinámicos

Tipos de compresores que son capaces de proporcionar volúmenes elevados a presiones bajas. Se dividen en compresores centrífugos y axiales.

Los centrífugos, también conocidos como radiales, son compresores en donde se hace pasar el refrigerante en sentido perpendicular al del giro de las piezas, funcionan como mecanismos turbocompresores, pertenecientes a la rama de las turbomáquinas, en donde se encuentran las turbinas, bombas, ventiladores y propelas. Usados en diferentes industrias por poseer menos componentes que producen fricción, son eficientes; deben trabajar en serie para alcanzar la relación de compresión. Utilizados en diversos procesos de refrigeración, por su ventaja de operar con la mayoría de los refrigerantes.

Los axiales o de flujo axial son aquellos en que el sentido del refrigerante es paralelo al eje del compresor. Poseen la mitad de capacidad que un compresor centrífugo, por lo cual se deben colocar mayor cantidad en serie, son de altas velocidades y poseen una mayor eficiencia que los centrífugos; lo cual se ve afectado por su elevado precio.

3.4. Ventiladores

Son parte importante de los sistemas de ventilación, refrigeración y aire acondicionado, debido a que sin ellos no se podría realizar la circulación del aire hacia los recintos que se desean acondicionar. Los ventiladores se dividen en dos grupos: centrífugos y de flujo axial. La diferencia es el sentido del flujo del aire que se hace circular a través de ellos y la disposición de sus álabes.

Los ventiladores centrífugos funcionan como una turbina, en donde el aire se hace circular en forma perpendicular al eje de rotación, haciéndolo pasar a través de una armadura en forma de espiral. Se encuentran en diferentes disposiciones para las álabes del ventilador, siendo el factor que define el precio de acuerdo a la aplicación para la que se requiera. Son los tipos de ventiladores de mayor aplicación en los sistemas de aire acondicionado con ductería.

En los ventiladores de flujo axial, el aire se hace circular a lo largo del eje de rotación, no cambiando el flujo del aire respecto al eje del ventilador comparados con los del tipo centrífugo. Se encuentran en disposiciones donde está solo el ventilador o entre un cilindro, algunos con álabes fijas en el cilindro, las cuales mejoran el sentido del flujo de aire para el sistema. También usados en sistemas de aire con ductería, debiendo escoger bien por la disposición de las aspas en el ventilador, su inconveniente es que producen mayor ruido que los ventiladores centrífugos. Una ventaja en este tipo de ventiladores es que debido a que su construcción puede ser compacta ayuda cuando no se cuenta con mucho espacio para la instalación de un ventilador.

3.5. Torre de enfriamiento

Debido a que el líquido de trabajo más utilizado en los equipos chiller es agua y este líquido tiende a calentarse, se debe aplicar un sistema de enfriamiento para el fluido y que pueda volver a repetir el ciclo de trabajo a una baja temperatura. Las torres de enfriamiento tienen aplicación en diferentes ramas industriales, en este caso se considera en operación con el equipo chiller enfriado por agua.

La torre de enfriamiento es un equipo que extrae el calor del agua mediante los procesos de evaporación o conducción. Sirven para disminuir la temperatura de fluidos que se encuentran a elevadas temperaturas a través del contacto con el aire.

Después que el agua realiza su trabajo, se envía a la parte superior de la torre de enfriamiento, generalmente entre 40 y 60 grados centígrados, para lo cual fluye hacia abajo produciéndose un cambio térmico por el contacto con el aire que va en dirección ascendente o perpendicular al del agua, efectuando un enfriamiento entre 10 a 20 grados centígrados. Proceso en donde se da cierta evaporación de agua.

“El principio básico de todas las torres de enfriamiento es que el aire que pasa sobre las superficies expuestas al agua capta pequeñas cantidades de vapor de agua. Esta pequeña evaporación del agua absorbe gran cantidad de calor en el agua que se queda. Este se llama calor latente de vaporización. Todas las torres de enfriamiento dependen de la circulación del aire sobre el agua. La diferencia principal en los diversos tipos de torres es el método para circulación de aire.

Los dos métodos principales son circulación natural por el viento y circulación mecánica con ventiladores. Hay otras diferencias en construcción en la forma en que las superficies para agua están expuestas al aire”.¹³

¹³ Equipos industriales. *Guía práctica para reparación y mantenimiento*. Tomo 1. p. 181.

Las torres de enfriamiento de mayor uso en sistemas de refrigeración son:

- Tiro inducido: en este diseño, el aire es introducido a la torre de enfriamiento por la parte superior con ayuda de un ventilador. Son las más utilizadas.
- Tiro forzado: el aire es introducido por un costado de la torre de enfriamiento desde la parte inferior, por un ventilador, el cual se encuentra a cierto ángulo de inclinación.
- Flujo cruzado: en este diseño el aire es introducido a la torre de enfriamiento en sentido horizontal a la base de la torre, es decir, perpendicular al flujo de agua que se encuentra cayendo desde la parte superior.

Técnicamente se podría decir que la finalidad de una torre de enfriamiento es enfriar una corriente de agua por vaporización parcial, por consiguiente, realizar un intercambio de calor sensible y latente entre el agua y el aire seco y frío que se introduce.

3.6. Dispositivos de expansión

Son elementos muy importantes del sistema para acondicionar aire, encargándose de disminuir la presión y regular la cantidad de refrigerante que pasará al evaporador para producir el efecto refrigerante. Existen diferentes dispositivos de expansión que se utilizan en diversos equipos, entre los que se encuentran:

- Tubo capilar
- Válvula de expansión a presión constante
- Válvula de flotador

- Placa de orificio
- Válvula de expansión termostática
- Válvula de expansión eléctrica
- Válvula de expansión termostática con compensación de presión

Algunos de estos dispositivos cuentan con otro accesorio que ayuda a mejorar el proceso de evaporación por medio de un bulbo, una pieza de compensación, que ayuda al sistema con la temperatura para indicar al dispositivo de expansión si debe abrir o cerrar, y hacer pasar un flujo adecuado de refrigerante al evaporador, el cual posee una línea de conexión hacia el dispositivo de expansión. Los dispositivos de mayor aplicación son el tubo capilar, válvula de expansión termostática y eléctrica.

El tubo capilar no es un tipo de válvula, consta de una tubería circular que depende de su longitud y diámetro, las válvulas de expansión pueden ser reemplazadas con facilidad por un tubo capilar. Utilizado en una diversidad de equipos de refrigeración, tanto domésticos como industriales; refrigeradoras, cámaras de refrigeración, congeladores, equipos split, chiller, tipo paquete, etc.

Cuando el refrigerante pasa por el tubo capilar, este tiende a disminuir su presión y temperatura para poder realizar el efecto refrigerante del ciclo de refrigeración. Posee sus ventajas y desventajas, tales como: se pueden fabricar lo bastante grandes de acuerdo al proceso que se requiere, son de bajo costo y no posee piezas móviles, no puede ajustarse el flujo del refrigerante, se pueden ver obstruidos por pequeñas partículas existentes en el sistema de tuberías.

La válvula de expansión termostática es el dispositivo de expansión más utilizado en los sistemas de refrigeración. Opera de acuerdo a la temperatura con que es expulsado el refrigerante del evaporador. En algunos diseños son ajustables, pero no cuentan con un rango amplio de temperatura para poder trabajar con diferentes refrigerantes y vienen equipadas con un bulbo de compensación de temperatura para aprovechar el rendimiento de la misma. Debe seleccionarse un tipo de válvula de expansión termostática de acuerdo al tipo de refrigerante que se empleará en el equipo de refrigeración, la capacidad del equipo y la temperatura que se desea.

La válvula de expansión eléctrica cumple la misma función que una válvula de expansión termostática, diferenciándose en que es accionada por una línea eléctrica para poder realizar el control del proceso de expansión del refrigerante. Este diseño de válvulas conforme el tiempo irá reemplazando ampliamente a las termostáticas, debido al amplio rango que posee con la termostática. Siendo operadas por impulsos, motor, magnéticamente y controladas por sistemas digitales o análogos.

3.7. Accesorios para la circulación del aire

Son elementos que sirven para controlar tanto la distribución, descarga y retorno del flujo de aire. Se encuentran en una amplia variedad de diseños, materiales y tamaños de acuerdo a la aplicación requerida.

Se tienen entre ellos algunos accesorios, tales como:

- Compuertas de regulación: conocidas como *dampers*, para regular el paso del aire o impedir el paso de cuerpos extraños al recinto, conformado por láminas que giran por medio de engranajes.

- Motor de compuerta de regulación: para mover las rejillas y permitir el paso de aire hacia una dirección en el sistema de ductos.
- Difusores: son elementos para llevar a cabo la descarga del aire acondicionado hacia el recinto, fabricados en forma concéntricas circulares o cuadradas, le ayuda para dar dirección al aire a una velocidad moderada y estética.
- Compuertas divisoras: instaladas en el sistema de ductería, para hacer fluir el aire hacia los puntos de descarga controlando su volumen, pueden producir ruido, debido a la velocidad del aire.
- Regulador de flujo: instalados para controlar el aire de recirculación y retorno, suelen ser operados mecánicamente o por motores eléctricos, provocan caída de presión en el sistema debido a la obstrucción que generan.
- Anillos antipolvo: generalmente los accesorios de descarga del aire van instalados en cielo raso, se coloca alrededor del difusor un anillo para evitar una caída de polvo en el recinto, el cual se acumula en su alrededor.
- Cabezales de amortiguamiento: son una extensión del ducto en donde circula aire, se diseña para que la descarga del aire no tenga dificultad al pasar por el difusor, aproximadamente abarcan la mitad del diámetro o longitud del difusor o seis pulgadas como mínimo.
- Rejillas de retorno: llamadas también de extracción, sirven para evacuar el aire que se encuentran en el recinto de acuerdo a la descarga de aire que se da en el sistema, generalmente constan de un marco cuadrado con varias aletas en disposición a 45 grados hacia abajo.

3.8. Dispositivos para la limpieza del aire

La limpieza del aire es de vital importancia en un sistema de acondicionamiento de aire, puesto que se requiere en algunos procesos industriales que el aire se encuentre libre de partículas contaminantes; tales como: el polvo o tierra, mota, bacterias del aire, polen u otras partículas contaminantes que se encuentran alrededor del área de trabajo.

Para los sistemas de aire acondicionado, la calidad del aire debe ser libre de impurezas donde el aire pasa, generalmente en flujo forzado por un sistema de limpieza a través de filtros, se pueden encontrar en diferentes estilos y fabricados con una diversidad de materiales.

Se pueden encontrar filtros de: papel, algodón, espuma, fibras sintéticas y antialérgicos. Algunos filtros son desechables y otros lavables, algunos suelen tener un precio elevado, también se encuentran con una malla metálica, variando en las medidas de las hendiduras para el paso del aire de acuerdo al ambiente.

Existen filtros fabricados con diversos materiales, tales como: algodón con fibra de vidrio, papel con fibra de vidrio, etc. Los filtros que hay en el sistema de ductería, son principalmente de fibra de vidrio, en donde las fibras del material se encuentran cruzados y en diferentes densidades. Mientras posea una mayor densidad, pasará un menor flujo de aire, lo cual tiende a que se ensucie con mayor facilidad el filtro. Cuando posee una menor densidad, existe un mayor flujo de aire, dejando pasar una mayor cantidad de partículas contaminantes del aire.

Existe un tipo de filtro que es de alta eficiencia, conocido como partículas de aire altamente eficientes (*high efficiency particulate air, HEPA*), constituido su material por microfibras del material; puede ser de papel o algún material sintético, elimina partículas que se encuentran en el aire relativamente pequeñas. Se encuentran también algunos tipos de filtros de aire que vienen incorporados con carbón activado, utilizado para eliminar malos olores que pueda tener el aire, se utilizan mayormente en restaurantes.

La salud debido al aire y el confort de las personas que se encuentran en un recinto acondicionado, se considera de vital importancia; así como la vida del equipo. La contaminación del aire es un asunto que debe ser tratado a plenitud por obvias razones, tales como:

- Salud y confort: las partículas que se encuentran en el aire ocasionan serios daños a la salud, tales como enfermedades respiratorias, alergias, irritación en los ojos, congestión nasal, etc., provocando incomodidad a las personas.
- Mantenimiento del equipo de aire acondicionado: la vida del equipo se encuentra atada al mantenimiento que se le brinda, el polvo y otras partículas que se acumulan en piezas del sistema, reduciendo la transferencia de calor en el evaporador y el flujo de aire por la obstrucción del filtro de aire, teniendo que trabajar mayor tiempo el equipo, generando mayor consumo eléctrico y un desgaste prematuro.
- Limpieza del recinto: se debe llevar a cabo una limpieza adecuada, para recoger restos de partículas que se encuentran en los muebles, es recomendable hacerlo con trapos húmedos.

Los filtros de aire pueden atrapar las partículas que se encuentran en el ambiente de tres formas principalmente o bien, una mezcla de ellos, los cuales son:

- Impacto: al momento de hacer contacto las partículas del aire con el filtro, estas se quedan atrapadas, pasando el aire limpio para el proceso.
- Colado: las fibras que componen el medio filtrante se encuentran traslapadas entre sí, provocando que el aire circule en forma de olas, lo cual retiene las partículas indeseadas que se encuentran en el ambiente, dejando pasar únicamente aire limpio.
- Precipitación electrostática: las partículas del aire al introducirse en el sistema pasan por una rejilla que se encuentra en disposición vertical, en donde se les aplica una carga. Al seguir su camino se encuentra una placa en disposición horizontal que sirve de atracción, quedándose las partículas atrapadas en ella.

“La limpieza del aire, con frecuencia se trata casuísticamente cuando se diseña y se opera un sistema de acondicionamiento de aire. Se puede escoger un tipo incorrecto de filtro, o bien los filtros no se conservan en forma correcta. Esta negligencia es grave, porque se trata de un asunto de contaminación de aire y salud humana. Es necesaria la limpieza adecuada del aire por las siguientes razones: protección de la salud y confort humano, mantenimiento de la limpieza de las superficies y muebles del recinto, protección del equipo de acondicionamiento de aire y protección de la maquinaria acondicionadora de aire”.¹⁴

¹⁴ PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 346.

3.9. Aislamientos

Son materiales que sirven para aislar tuberías o ductos que operan a temperaturas elevadas o bajas, en los diferentes sistemas en donde se realizan transferencias de calor o acondicionamiento de aire, y obtener mejores condiciones en la temperatura del fluido que se transporta para cierto proceso industrial, comercial o domiciliar.

Existe una amplia gama de materiales aislantes, en donde se utilizan diversos tipos de aislamientos en procesos de acondicionamiento de aire, como la fibra de vidrio y el armaflex. En algunos casos se realiza un enchaquetado con láminas de aluminio o acero galvanizado, esto se realiza con fines estéticos y para protección misma del aislante contra la intemperie.

El armaflex puede considerarse como un polímero tipo espuma, fabricado de caucho sintético, flexible y amplias características aislantes y control de condensación. Los fabrican en planchas y rollos en diferentes longitudes, espesores y diámetros, son autoadhesivos de color negro, con alta resistencia a la formación de moho.

Es de amplio uso en los sistemas de acondicionamiento de aire, fácil de montar para recubrir sistemas de tuberías, ductería o depósitos, posee un bajo valor de conductividad térmica, por lo cual al encontrarse el fluido de trabajo a una baja temperatura, en ocasiones no se percibe al tacto, dependiendo del espesor que se utilice; esto lo hace un aislamiento eficiente, beneficiando al sistema.

La fibra de vidrio es un compuesto sintético formado por capas de hilo de vidrio hasta obtener una malla a un cierto espesor, de bajo precio, flexible, de color amarillo generalmente. Ayuda a regular y mantener la temperatura del sistema, soporta altas temperaturas, por ello su uso es alto en sistemas de vapor. Afecta la salud; para la manipulación de la fibra de vidrio, se recomienda la utilización de batas manga larga, guantes y lentes.

A pesar de que la fibra de vidrio suele ser un buen aislante térmico, cumple mejor la función de aislante térmico el armaflex en los sistemas de aire acondicionado; el costo del armaflex es mayor que el de la fibra de vidrio. En ductos, por lo general es utilizada la fibra de color rojo suave.

3.10. Tubería para agua helada

Las tuberías funcionan como las venas de un sistema de agua, son muy importantes en donde se emplea cualquier tipo de fluido, ya que sirven para poder transportar de un lugar a otro, ya sea un gas o líquido para realizar cierto proceso o trabajo.

Existen diversos materiales con los que se pueden fabricar tuberías, entre las de mayor aplicación en los procesos de aire acondicionado se encuentran las de mayor uso las tuberías de cobre y acero galvanizado. También tienen aplicación las tuberías de policloruro de vinilo y hierro negro.

3.10.1. Tubería de cobre

El cobre es un material rojizo, capaz de producir una capa llamada pátina al ser expuesto al aire, ayudando a evitar su corrosión. Es muy buen conductor eléctrico y térmico, soporta alta presión y temperatura de acuerdo al proceso para el que se requiera, tiene una ductilidad especial que le permite adaptarse a diferentes espacios. Es utilizado en muchos procesos industriales, como alimenticios, farmacéuticos, químicos, etc.

La aplicación que posee este tipo de tubería en los sistemas de acondicionamiento de aire, generalmente en la línea del refrigerante, tanto en el proceso de descarga del compresor al condensador, como en el evaporador hacia el compresor, también en serpentines para condensadores y evaporadores y en sistemas de conducción de agua helada y caliente. Los tubos capilares, también son fabricados de cobre.

Las tuberías de cobre son fabricadas tanto maleables como rígidas, en diferentes espesores de pared; así como de diámetro, en una diversidad de longitudes. La tubería de cobre se puede soldar, teniendo ciertas precauciones y consideraciones para llevar a cabo esta tarea, utilizando como mejor material de adherencia la plata industrial.

3.10.2. Tubería de acero galvanizado

El acero galvanizado posee un recubrimiento de cinc, que cumple la función de proteger la superficie del metal del ambiente, es decir, que protege de la oxidación a la tubería al exponerse en contacto con el aire.

Se utiliza tubería de acero galvanizado para conducción de agua helada y caliente en una diversidad de procesos industriales, comerciales y domiciliarios; tales como: el consumo de agua, calefacción, refrigeración y aire comprimido, ya que soporta alta presión. Fabricadas en diferentes diámetros, de acuerdo a este será el espesor de la pared de la tubería, en tramos longitudinales de seis metros.

También es utilizada en algunos procesos por estética, debido a que la tubería se encuentra a la vista de ciertas personas en una fábrica. Se pueden encontrar con y sin costura, esto quiere decir que, la tubería que posee costura es conformada por extrusión a través de un cilindro para adquirir la forma y posteriormente soldada, la tubería sin costura es una sola pieza extruida.

3.10.3. Tubería de policloruro de vinilo (PVC)

Conocido como PVC, tiene un amplio uso en muchos procesos industriales, comerciales y domiciliarios para aislar cables eléctricos y en la conducción de líquidos generalmente, debido a su bajo peso, precio y manejo al momento de cortar, pegar y conectarla con otras piezas. Se fabrica en una amplia diversidad de formas. Tiene una desventaja: no se debe instalar a la intemperie debido a que la radiación del sol tiende a cristalizar el material, cambiando sus propiedades mecánicas volviéndolo un material frágil.

Las tuberías de PVC son fabricadas en diferentes diámetros y de acuerdo a su clase 40, 80, 120 y 250, estos valores indican el espesor de la pared y hacen referencia a que mientras mayor sea la pared, mayor será la presión que podrá soportar la tubería, son fabricadas en longitudes de seis metros.

La tubería de PVC no se debe utilizar para transportar líquidos a temperaturas elevadas, puesto que no se encuentra diseñada para cumplir ese propósito; en dado caso se debe utilizar tubería de policloruro de vinilo clorado (CPVC), fabricada en cédula 40 y 80, que es capaz de conducir líquidos a valores máximos de temperatura de 94 grados centígrados y una presión de 100 libras por pulgada cuadrada; cabe destacar que mientras mayor es la temperatura, menor es la capacidad de la tubería de soportar una presión elevada; siendo fabricadas en tuberías con longitudes de tres metros. Este tipo de tubería es utilizada, generalmente, para sistemas de calefacción, duchas, lavamanos o conducción de agua caliente en sistemas de hidroterapias.

3.10.4. Tubería de hierro negro

Es hierro fundido, es decir, que solo es una mezcla de hierro con cierto porcentaje de carbón en su contenido, posee una capa pasivante, la cual lo protege de la corrosión producida por el ambiente o en operación con bajas y altas temperaturas. Tiene una variedad de aplicaciones en la industria; tales como: conducción de vapor o algún otro gas, líquidos a bajas y elevadas temperaturas. Las tuberías de hierro negro poseen muy buenas propiedades, por ejemplo, ser un muy buen conductor térmico y soporta mayor temperatura que la tubería de acero galvanizado; se emplea bastante en sistemas de producción de vapor.

Fabricados en cédula 40 y 80; en cédula 40 posee una mayor ductilidad y en 80 suele poseer una mayor rigidez, en diversidad de diámetros y espesores de acuerdo al diámetro, con longitudes de 6 metros aproximadamente; encontrándose con y sin costura. En las tuberías que poseen costura, las cargas no se distribuyen homogéneamente sobre el material; como suele pasar en las tuberías sin costura.

3.11. Bombas de agua

Son transformadores de energía debido a que convierten la energía procedente de un motor eléctrico o de un motor de combustión interna, usualmente en energía hidráulica, tal como: presión, velocidad, cambio de posición, caudal, etc., para poder transportar un líquido de un punto a otro. Existen dos clasificaciones en las bombas de agua, las de desplazamiento positivo y las dinámicas. Las de mayor uso en los sistemas de agua para aire acondicionado son las del tipo dinámico, que a su vez, en su división se utilizan las bombas centrífugas.

“El bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse de un punto a otro. No es, como frecuentemente se piensa, la adición de presión, porque la energía es capacidad para hacer trabajo, adicionándola a un fluido obliga al fluido a hacer trabajo, normalmente fluyendo por una tubería o elevándose a un nivel más alto”.¹⁵

Las bombas centrífugas son usadas en una amplia diversidad de procesos industriales, tales como: pozos de agua, agronomía, comerciales, textiles, procesos alimenticios, químicos, etc., se dividen en tipo radial, axial y mixto, en donde las de mayor aplicación son las de tipo radial. Una bomba centrífuga se puede describir como una máquina construida adecuadamente, capaz de impulsar un líquido cualquiera, debido a la fuerza centrípeta que genera por el líquido cuando ingresa por el centro del tubo troncónico al momento de girar, la velocidad a la que descarga el líquido se puede ver afectada por la densidad del fluido.

¹⁵ KARASSIK, Igor; CARTER, Roy. *Bombas centrífugas, selección, operación y mantenimiento*. p. 11.

En las de tipo axial, el líquido se hace pasar en dirección del eje de la bomba debido al empuje producido por el impulsor. En las de tipo mixto, el sentido del flujo del líquido varía en radial y axial a la vez de acuerdo a la forma de las hélices del impulsor.

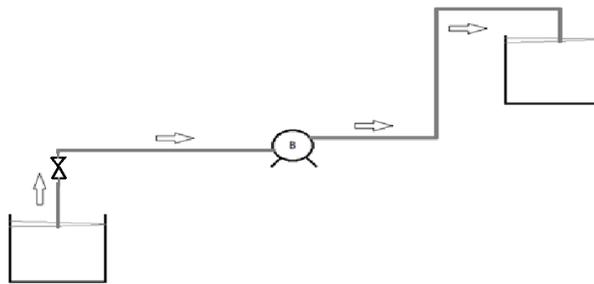
Las de tipo radial, que son las generalmente usadas, le cambian el sentido de dirección del flujo de agua, en donde entra en sentido axial y descargándolo en forma radial o perpendicular al eje de rotación, en disposiciones horizontal y vertical; haciendo mayor uso en sistemas de aire acondicionado a las de disposición horizontal, llamándoles así debido a que el eje de rotación se encuentra horizontal.

Están conformadas generalmente por: una carcasa, chumaceras, eje impulsor, eje cardan (usualmente en bombas de capacidad mayor a 5 caballos de potencia), *flange*, tubo troncónico, bujes, cuña, estopero, grasera, tuercas, tornillos, cojinetes y eje con manguito. En un sistema de bombeo se debe tomar en consideración el método de alimentación para la succión de la bomba, debido a que se puede dar una carga positiva o negativa. Según su disposición se debe de realizar una purga o cebado del sistema de agua y no dañar la bomba y evitar posible desgaste por cavitación.

Como se representa en un sistema de carga de la bomba, la capacidad de la bomba se determina por medio de su carga de succión positiva neta requerida (*required net positive suction head*) NPSHR, lo cual brinda características de una bomba de acuerdo a su velocidad, capacidad y posible existencia del fenómeno de cavitación en una bomba de agua.

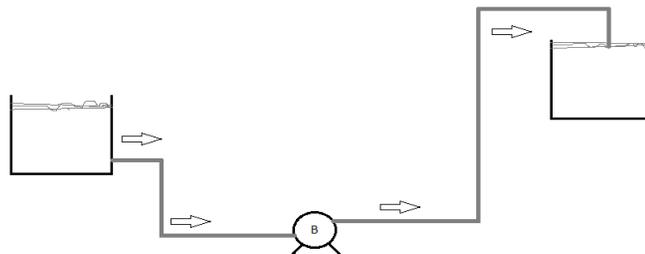
Cuando un sistema de bombas posee carga negativa, debe instalarse una válvula de retención en la parte que se encuentra en contacto con el fluido en la tubería de alimentación para evitar que se produzca cavitación al momento de entrar en operación el equipo, muchos sistemas poseen un tornillo, el cual sirve para cebar el sistema, ver figura 3. En un sistema de bombas con carga positiva no se requiere instalar una válvula de retención, debido a que la energía potencial que posee el fluido brinda la alimentación del sistema por propia gravedad. Algunos sistemas poseen un tornillo para poder realizar la purga al sistema, ver figura 4.

Figura 3. **Carga negativa en la bomba de agua**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

Figura 4. **Carga positiva en la bomba de agua**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

3.12. Ductería

Los sistemas de ductería son importantes para poder conducir el aire acondicionado, calefacción o una simple ventilación a una determinada temperatura, desde el equipo de acondicionamiento hasta un recinto en específico. Se fabrican dependiendo las necesidades de un recinto en diferentes tamaños y estilos, así como la cantidad de accesorios que se utilizan para su fabricación y su montaje adecuado.

Se fabrican, principalmente, de lámina galvanizada, instalados arriba del cielo raso, en algunas longitudes cortas se utilizan lonas, para disipar vibraciones de acuerdo al tipo de instalación que se utiliza. Los ductos van soportados por pernos de acero, alambre galvanizado o de amarre, tuercas, roldanas, argollas, tensores, angulares de hierro dulce o placas de acero inoxidable, tarugos de expansión, etc.

Se construyen con áreas transversales en formas rectangulares y circulares; considerando la estética si ha de estar expuesto, de acuerdo a la distribución del aire se van realizando curvas y cruces en diferentes medidas para la conducción de una cantidad adecuada de aire hacia un recinto. El tamaño dependerá bastante de la velocidad, temperatura, viscosidad, el tipo de flujo en que se desea transportar el aire.

3.12.1. Ductería rectangular rígida

Es el diseño de ductería más utilizado en la mayoría de procesos que se requiere acondicionamiento de aire o doble temperatura. Su área transversal mayor se encuentra en el punto de succión del equipo de acondicionamiento de aire (usualmente es una manejadora de aire) para su traslado hacia los recintos, en su trayecto las medidas disminuirán, debido a una circulación menor de aire hacia los recintos. Realizando reducciones en las medidas de la ductería, así como evitar vueltas muy agudas, realizando cruces para división del aire; de acuerdo a la estructura de la edificación, para satisfacer las necesidades del proceso.

Se fabrican, comúnmente, con lámina galvanizada, realizando dobleces para lograr la forma deseada y en algunos casos se recubre con material aislante para evitar las pérdidas de calor del aire y lograr un mejor rendimiento tanto del equipo, como de la temperatura de descarga.

3.12.2. Ducto redondo flexible

Tipo de ducto usado para realizar las conexiones desde la ductería rectangular rígida que se encuentra sobre el cielo raso, hacia los accesorios de descarga, como los difusores y poder evitar la transmisión de posibles vibraciones de la ductería rígida hacia el cielo raso. También usados como ductos principales en algunos sistemas por estética y por el espacio que se requiere para su instalación, debido a que se encuentran instalados a la vista de las personas.

Fabricados también de lámina galvanizada, ayudando para realizar las conexiones de las curvas, ya que se realizan en figuras circulares, no como en la del tipo rectangular, en donde se debe realizar una mayor cantidad de dobleces para lograr obtener la curva y que logre encajar con la forma rectangular.

3.13. Tanque de expansión

En un sistema donde se utilizan tuberías para el manejo de agua helada o caliente, el tanque de expansión es de suma importancia, debido a que este equipo absorbe los cambios de volumen que sufre el fluido después que realiza la transferencia de calor con el aire, así elimina aire u otros gases indeseables que puedan existir en el sistema de agua y evitar un daño o desgaste por medio de cavitación en la bomba o en la tubería. Suelen ser diseñados de acuerdo a un porcentaje del volumen de agua total del sistema, el cual suele estar comprendido entre el 10 y el 15 por ciento del volumen total de agua que se requiere en el sistema.

4. DISPOSITIVOS DE CONTROL

Los dispositivos de control son accesorios que sirven para poder llevar a cabo una correcta operación de un sistema; debido a las variaciones constantes que se dan en las cargas de un sistema de aire acondicionado, en el caso del sistema de acondicionamiento de aire ayudan a poder regular el flujo del refrigerante, establecer parámetros en la temperatura de aire, también para la operación segura en los equipos del sistema, accionamiento del sistema de bombas, ventilación, etc.

Estos llevan el control de ciertos procesos que se necesitan en el sistema, así como para poder proteger los equipos por un mal funcionamiento de otro accesorio, lo cual podría significar un gasto extra elevado.

“El desarrollo de controles y de sistemas de control ha ido mano a mano con el desarrollo de todo equipo de calefacción y aire acondicionado. Determinados controles han servido para satisfacer la necesidad de mejorar la operación, la seguridad, la conveniencia personal y la economía, o una combinación de varios factores. Consiste en dos elementos, el aparato control y el aparato protegido o regulado. Un controlador o aparato control mide algunas condiciones variables que deben ser mantenidas constantes”.¹⁶

Se dividen en tres categorías; controles básicos, de operación y de seguridad.

¹⁶ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 671.

4.1. Controles básicos

Son accesorios que sirven para poder controlar un equipo de aire acondicionado, son necesarios para tener parámetros básicos y brindar observaciones en la operación del sistema, tales como:

- Filtro deshidratador de succión: su función es absorber la humedad que pueda existir en la línea de succión del refrigerante, de la misma manera, cualquier partícula contaminante del sistema que pueda provocar daños al compresor.
- Filtro deshidratador de líquido: cumple la misma función que el filtro deshidratador de succión, la única diferencia es que se ubica en la línea en donde se encuentra el refrigerante en fase líquida.
- Mira de cristal, visor de vidrio o indicador de líquido: se puede instalar en la línea de fase líquida o gaseosa del refrigerante y en el compresor, permitiendo observar que posea carga en el circuito del refrigerante, también que se encuentra funcionando adecuadamente el sistema y que posea su aceite lubricante.
- Manómetros: sirven para obtener las presiones de trabajo; diseñados para brindar valores relativos o absolutos, tanto en la succión, que se encuentra a baja presión y en la descarga está en alta presión.
- Termómetros: accesorios que permiten obtener valores de temperatura tanto para el refrigerante, como del fluido que se desea enfriar.

4.2. Controles de operación

Accesorios capaces de mantener una correcta operación del equipo de aire acondicionado, tales como:

- Circuito de control: es el encargado de indicar el momento de arranque o paro del equipo; alarmas, es capaz de regular, filtrar y controlar el flujo del refrigerante.
- Temporizadores: conocidos como *timers*, accesorios que controlan tiempo de operación que se ajusta en su carátula, pueden ser de función eléctrica, electrónica o neumática.
- Termostatos: accesorios que actúan a través de cambios de temperaturas, capaces de activar o interrumpir un proceso, que ayuda al sistema de aire acondicionado a activarse cuando aumente la temperatura y desactivar cuando disminuya.
- Presostato: accesorio que opera en función de la presión del sistema del refrigerante, ayuda para el accionamiento del compresor y cumple la función de control de seguridad del sistema.
- Calefactor del cárter: su función es elevar la temperatura del aceite del compresor para iniciar la operación, brindándole condiciones correctas en la viscosidad del aceite lubricante.
- Sensores de control: son elementos que sirven para el control de ciertos procesos del sistema, utilizan sensores de temperatura, presión, nivel y caudal principalmente. Ayudan al equipo para un mejor desarrollo del ciclo.

4.3. Controles de seguridad

Todos los sistemas de aire acondicionado deben de contar con varios dispositivos de protección, para evitar serios daños al equipo, entre ellos se encuentran:

- Presostato de alta presión: su función es desactivar el compresor, cuando el sistema excede la presión límite de operación.
- Presostato de baja presión: al igual que el de alta presión, su función es desactivar el compresor, cuando se encuentra una presión muy por debajo de la mínima permitida en el sistema.
- Control de baja temperatura: sirve para poder controlar la temperatura mínima a la cual se debe encontrar el refrigerante y evitar su congelación, así como detener el equipo.
- Control de presión de aceite: interrumpe el funcionamiento del equipo debido a una ineficiente presión del aceite lubricante.
- Interruptor de flujo: interrumpe el funcionamiento del equipo, cuando el flujo de agua es inadecuada para el sistema.
- Fusibles: elementos de protección eléctrica, sirven para proteger el equipo en el momento que se produzca una sobredemanda en el consumo de energía eléctrica. Pueden ser descartables, térmicos o de retardo.
- Luces indicadoras: sirven para indicar el lugar de una posible falla, por la cual se interrumpió el funcionamiento del equipo, instaladas usualmente en un tablero de control.

5. REFRIGERANTES

Son sustancias que se utilizan en sistemas de refrigeración, congelación, aire acondicionado y bombas de calor. Se puede definir como toda aquella sustancia que puede cambiar de fase gaseosa a líquida y viceversa, capaz de absorber calor cuando se encuentra en el proceso de evaporación y puede eliminar el calor cuando se produce la condensación.

Existe una amplia diversidad de refrigerantes, sin embargo, ya se han ido descartando gran cantidad del comercio; debido a su alto grado de contaminación y seguridad. Los refrigerantes cumplen ciertas aplicaciones industriales, comerciales y residenciales, de acuerdo al tipo que se emplea, haciendo uso de sus propiedades termodinámicas, físicas, químicas, seguridad, medio ambiente. Se considera un tipo de refrigerante de acuerdo a las aplicaciones de los equipos.

“Cuando se diseña un sistema de refrigeración, existen varios refrigerantes que pueden elegirse, como clorofluorocarbonos, amoníaco, hidrocarburos, dióxido de carbono, aire (en el acondicionamiento de aire en aviones) e incluso agua (en aplicaciones arriba del punto de congelación). Una adecuada elección del refrigerante depende de la situación específica”.¹⁷

¹⁷ CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 626.

5.1. Características termodinámicas

Son las propiedades que indican ser los adecuados de acuerdo al proceso para el que se requiera y la temperatura que se desea en un sistema, se enlistan las siguientes:

- Alta entalpía latente de vaporización: medio por la cual se produce un amplio efecto refrigerante y de esta depende la capacidad de enfriamiento del sistema. Mientras mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por la masa del refrigerante.
- Bajo punto de congelación: debe ser capaz de trabajar a bajas temperaturas sin llegar al punto de solidificación durante la operación del equipo.
- Presión de evaporación positiva: se debe encontrar por arriba de la presión atmosférica, por ende debe operar a presiones positivas.
- Presión de condensación relativamente baja: se ve afectada por la temperatura ambiente.
- Temperatura crítica relativamente alta: es necesario debido a que de otra manera se requiere una gran potencia para poder realizar la compresión del refrigerante.
- Volumen específico: debe poseer un volumen específico moderado, bajo valor en fase gaseosa y valor elevado en fase líquida.

5.2. Características físicas y químicas

Las propiedades físicas son las que posee una sustancia, en donde pueden indicar su color, densidad, punto de ebullición, punto de fusión mientras que las propiedades químicas de una sustancia son aquellas que indican las reacciones que sufren ciertas sustancias al ser combinadas con otras, en cierto para los refrigerantes poseen tales propiedades como:

- Alta fuerza dieléctrica del vapor: para poder ser instalados motores sellados en donde el vapor producido por el refrigerante no afecte a las bobinas de cobre del motor eléctrico.
- Químicamente estable: no debe generar reacciones químicas con las sustancias o materiales que se encuentran en el sistema.
- Características adecuadas de transferencia de calor: las propiedades como la densidad, calor específico, viscosidad y conductividad térmica, no se deben ver afectadas, para poder obtener una óptima transferencia de calor del refrigerante durante el ciclo de operación.
- Baja solubilidad del aceite: el refrigerante debe ser capaz de trabajar con aceite en el sistema sin llegar a mezclarse entre ellos y afectar sus propiedades lubricantes.
- Baja solubilidad en contacto con agua: no debe producirse miscibilidad con humedad o agua en el sistema, debido a que puede producir congelación afectando el proceso de refrigeración.

5.3. Seguridad

La seguridad en el manejo, trabajo y exposición del refrigerante deben ser controladas cuidadosamente, tomando en cuenta que se desean ciertas propiedades en beneficio del sistema, así como beneficios para las personas, se enlistan las siguientes:

- No corrosivo: debe asegurar que en la construcción del sistema puedan utilizarse materiales comunes y brindar larga vida a sus componentes.
- No inflamable: no debe producirse una combustión cuando se encuentra expuesto o en contacto con el aire.
- No tóxico: no debe ser dañino para el ser humano si llega a entrar en contacto con la piel o en alimentos.
- No irritante: no debe producir ningún tipo de irritación al momento de estar en contacto con el ser humano.
- Bajo costo: con el fin de mantener el precio del equipo en lo razonable y asegurar un servicio adecuado cuando se solicite.

5.4. Efectos sobre el medio ambiente

Debido a la contaminación ambiental que afecta a la Tierra, se deben utilizar sustancias que no contribuyan considerablemente al calentamiento global, entre aspectos que deberían poseer los refrigerantes tenemos:

- Capa de ozono: deben poseer un índice bajo de daño a la capa de ozono.
- Fácil detección y localización de pérdidas: producen disminución del efecto refrigerante y contaminación en el sistema; se puede realizar por medio visual o con equipo de detección de fugas.

- Calentamiento global: deben contener un bajo índice de contribución al calentamiento global.
- Recuperación del refrigerante: se debe realizar una buena práctica de recuperación del refrigerante con equipo adecuado, para evitar que se escape al ambiente e inducir contaminación.

5.5. Designación

Se utiliza para poder conocer el tipo de refrigerante que se emplea para un proceso de acondicionamiento de aire, para lo cual se utilizan de uno a cuatro sustancias: halocarburos, hidrocarburos, compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos.

Los refrigerantes pertenecientes al grupo de halocarburos son el tipo de refrigerante de mayor uso en la industria de CVAA, muchos de ellos se les conoce actualmente con el nombre de freones.

Debido a su fabricación y designación del nombre por las compañías, es de mayor utilidad referirse a los refrigerantes bajo la designación que brinda la ASHRAE, lo cual designa bajo su nivel de seguridad en la Norma 34, a lo cual se refiere al nombre genérico de una publicación técnica, deberán ir precedidos con la palabra refrigerante o refrigerantes y con la letra mayúscula R.

El número que posea, determina la composición química del refrigerante de halocarburo o hidrocarburo de la serie del metano, etanol y ciclobutano, así como la estructura molecular del metano, etano y propano.

Se enlistan brevemente los aspectos principales de la designación de los refrigerantes según ASHRAE:

- El primer dígito de la derecha: indica el número de átomos de flúor (F) que se encuentra en su composición.
- El segundo dígito desde la derecha: indica el número de átomos de hidrógeno (H) que se encuentra en su composición, al cual hay que sumarle uno más.
- El tercer dígito desde la derecha: indica el número de átomos de carbono (C) que se encuentran en su composición, al cual hay que restarle uno. Cuando el dígito es cero, se hace caso omiso del número.
- Las mezclas de los refrigerantes: son designadas por sus respectivos números de refrigerante y sus proporciones másicas, con base al punto de ebullición normal (en orden creciente), ejemplo: R-22/12(90/10).
- Las mezclas de refrigerantes zeotrópicos comercializados: se designan con número de identificación de serie 400, seguidos por la proporción másica de los componentes, ejemplo: R-400(90/10), para las mezclas de los refrigerantes R-12 y el R-114.
- Los refrigerantes azeótropos comercializados: se designan con número de identificación de serie 500, sin mencionar su composición.
- Los refrigerantes de compuestos orgánicos: se designan en base a la serie 600.
- Los refrigerantes de compuestos inorgánicos: se designan sumando 700 al contenido de su masa molecular, ejemplo: 718, es agua. Cuando posee dos o más sustancias que tienen la misma masa molecular, se utilizan letras mayúsculas para diferenciarlos.
- Se emplea la letra C antes de las designaciones numéricas para identificar los derivados cíclicos, añadiendo letras minúsculas posteriormente para diferenciar de los refrigerantes isómeros.

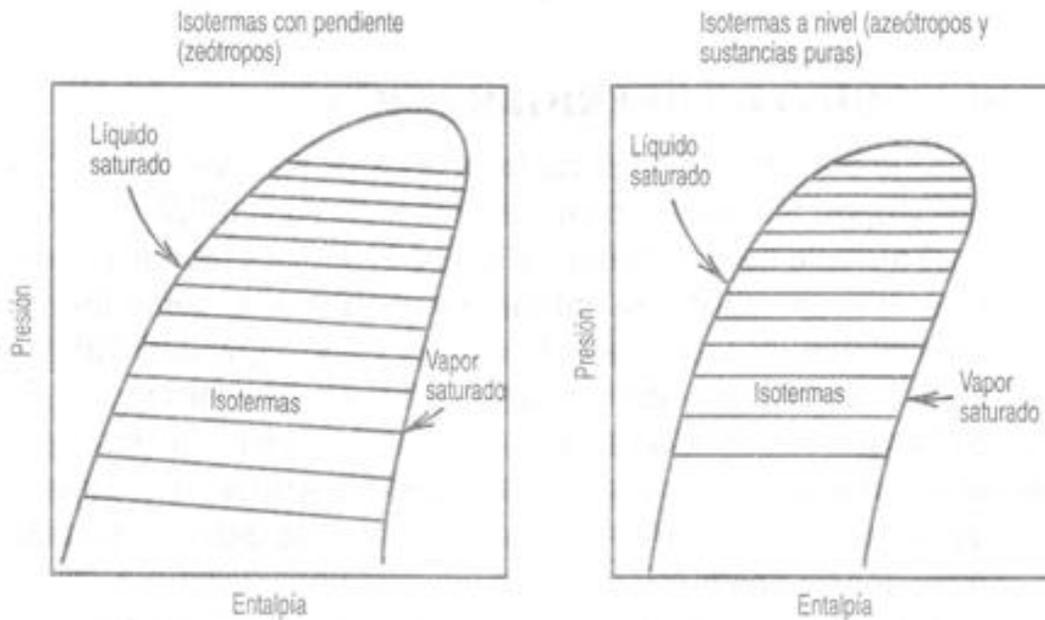
La mayor preocupación debido al uso de los refrigerantes se debe a la exposición del cloro con el ambiente, ya que se produce una reacción con el ozono en la atmósfera. Los refrigerantes de mayor preocupación son los de la serie de los clorofluorocarbonatos o CFCs, tales como: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115. En donde se puede referir a ellos como de la serie CFC; de la siguiente manera: CFC- 11, CFC-13, CFC-15. Se encuentra otro grupo de refrigerantes que poseen cloro, debido a que posee un átomo de hidrógeno, son menos dañinos para la capa de ozono que los CFC. Se les llama el grupo de hidroclorofluorocarbonos o HCFCs. Los refrigerantes que se encuentran en este grupo son los R-22, R-123, R-124 y el R-124B.

De los refrigerantes de fluorocarbonos, los que menos afectan la capa de ozono pertenecen a la serie de los hidrofurocarbonos o HFCs, ya que estos no poseen cloro en su estructura molecular, en donde se encuentran los refrigerantes R-125, R-134a, R-143a y el R-152a. Debido a ciertas propiedades termodinámicas de cada refrigerante no se ha encontrado un sustituto ideal para los refrigerantes que son peligrosos, así como los temas de seguridad, lubricación y el contacto con elastómeros en los sistemas a través del ciclo.

Los refrigerantes azeótropos son aquellos en donde se emplean dos o más refrigerantes para su composición, para lo cual se logra una estabilidad en su propiedades, tales como: su temperatura de evaporación y de condensación a un mismo valor; no afectando la composición volumétrica de las sustancias, obteniéndolas con una presión constante de operación.

En cambio, los refrigerantes zeótropos son aquellos en donde los procesos de evaporación y condensación se obtienen a diferentes temperaturas, varían en su composición volumétrica a presión constante.

Figura 5. **Comparación de diagramas de presión-entalpía para un refrigerante zeótropro y un azeótropro**



Fuente: MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 541.

De la serie del metano, debido a su composición, seis son inflamables, seis son tóxicos y cinco son halogenados. El refrigerante que se emplea comúnmente es el R-22 (perteneciente al grupo de los HCFC) y el R-23 (perteneciente al grupo de HFC), siendo el R-22 el de amplio uso en equipos de aire acondicionado, en tipos residenciales y comerciales, su lado malo, que es perjudicial al ambiente; por lo que su fabricación se ve sometida a ciertas restricciones. En la serie de los refrigerantes de etano, están: R-123, R-124, R-125 y el R-134, únicos en ser libres de tóxicos e inflamabilidad, por contener fracciones de sustancias halógenas. Para lo cual el refrigerante R-134a podrá ser el refrigerante del futuro.

5.6. Refrigerante R134a

Es un gas inerte, refrigerante de la serie HFCs derivado del etano, beneficia al medio ambiente, su ODP es cero, no causando ningún daño en la capa de ozono. Es el sustituto del refrigerante R-12 (del grupo CFCs), es uno de los refrigerantes de mayor impacto en la capa de ozono.

Tiene en su composición química: cuatro átomos de flúor, dos átomos de carbono y dos átomos de hidrógeno. Es un gas incoloro, conocido también como freón 134a o tetrafluoretano es su nombre químico. Como refrigerante utilizado en muchos equipos de producción de aire acondicionado y calefacción, como en vehículos, refrigeración doméstica e industrial, chiller entre otros, teniendo ciertas ventajas, tales como:

- No posee cloro en su composición molecular, por lo cual no daña la capa de ozono.
- Es un refrigerante ecológico.
- Realiza una mejor transferencia de calor que el R-12.
- Es seguro de usar, no es inflamable, libre de tóxicos, no irrita y no es corrosivo.

“No hay un refrigerante óptimo, puesto que las diferentes aplicaciones requieren diferentes características. Unos cuantos refrigerantes gozan de más popularidad que otros. Algunos refrigerantes eran populares en el pasado, tal como el anhídrido sulfuroso y el cloruro de metilo, han sido sustituidos por otros más convenientes. La búsqueda de refrigerantes todavía mejores que los actuales continúa”.¹⁸

¹⁸ STOECKER, Wilbert. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. p. 162.

Que sea un gas inerte, no significa que no pueda provocar daños al ser colocado en un lugar donde se produzca un incremento en la temperatura del cilindro en donde se almacena, debido a que puede explotar. Teniendo una desventaja, que produce gases de efecto invernadero.

5.7. Refrigerante R22

Pertenece al grupo HCFC es altamente contaminante para la capa de ozono, menos contaminante que el R-12, pero al igual son dañinos por contener cloro en su estructura molecular.

Es uno de los refrigerantes de mayor uso en sistemas de aire acondicionado domiciliario, comercial e industrial. Tiene una capacidad de alcanzar temperaturas bajas, debido a sus excelentes propiedades termodinámicas, ya que posee un volumen específico bajo y un calor latente de vaporización alto, comparado con los CFC.

Es un gas incoloro, con olor similar al éter, puede trabajar con el mayor tipo de materiales que se emplean en sistemas de acondicionamiento de aire. Debido a que afecta la capa de ozono, ya existen sustitutos para el R-22, se encuentran los refrigerantes R-417A, R-422A y el R-422D, pertenecientes al grupo de los HFC.

El refrigerante R-417^a es un sustituto directo del refrigerante R-22, posee en su composición R-134a, por lo cual no afecta la capa de ozono, no es tóxico, ni inflamable y se puede utilizar en los mismos equipos que utilizan R-22, es el único refrigerante que puede emplearse con aceite mineral y sintético.

El refrigerante R-422A, también es un sustituto directo para el refrigerante R-22, posee en su composición R-134a, no afecta la capa de ozono, no es tóxico, tampoco inflamable. Puede operar con la mayoría de los aceites minerales.

El refrigerante R-422D, al igual que los refrigerantes R-417A y el R-422A, es un sustituto directo del R-22, contiene en su mezcla de composición R134a, por lo cual no afecta la capa de ozono, no es inflamable y se puede utilizar para bajas temperaturas, puede operar con lubricantes minerales y poliol éster (aceite con características diferentes en relación con los aceites minerales y alquilato; utilizados en compresores con refrigerantes de los tipos CFC y HCFC, es el más adecuado para refrigerantes de tipo HFC, como el R-134a). En algunos casos se debe modificar el sistema de tuberías.

“Se están evaluando los compuestos más complejos de las series del propano y del éter como reemplazos potenciales para algunos de los refrigerantes actuales”.¹⁹

¹⁹ MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 542.

6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Hace referencia sobre algunos de los métodos que existen para poder realizar la distribución del aire acondicionado hacia un recinto, con lo cual se desea que las cargas que se producen en un espacio determinado puedan ser absorbidas por el aire frío que ingresará al recinto para brindar el confort térmico y poder alcanzar un desplazamiento adecuado del aire en todo su alrededor. Se puede obtener si se realiza el dimensionamiento adecuado de las ductos, distribución del aire y recorridos del sistema. Tomando en cuenta si es un sistema de baja o alta velocidad de suministro.

Para llevar a cabo el dimensionamiento de los ductos se emplean tres métodos principales: igual fricción, velocidad del aire y caída de presión constante.

En el momento de realizar el dimensionamiento de los ductos para el diseño de la 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios, se realizará con el método de velocidad del aire, con suministro de aire en baja velocidad para el sistema.

Método para el cual se emplea el ductómetro: herramienta diseñada para obtener dimensiones de los ductos a través de la velocidad del aire con flujo de aire y caída de presión con flujo de aire.

6.1. Método igual fricción

El método es sencillo de aplicar, consiste en mantener constante la pérdida de presión por cada cien pies de tubería para todo el sistema de ductería, lo cual se puede estimar por medio de tablas estandarizadas de acuerdo a las necesidades del sistema de ductería para una instalación.

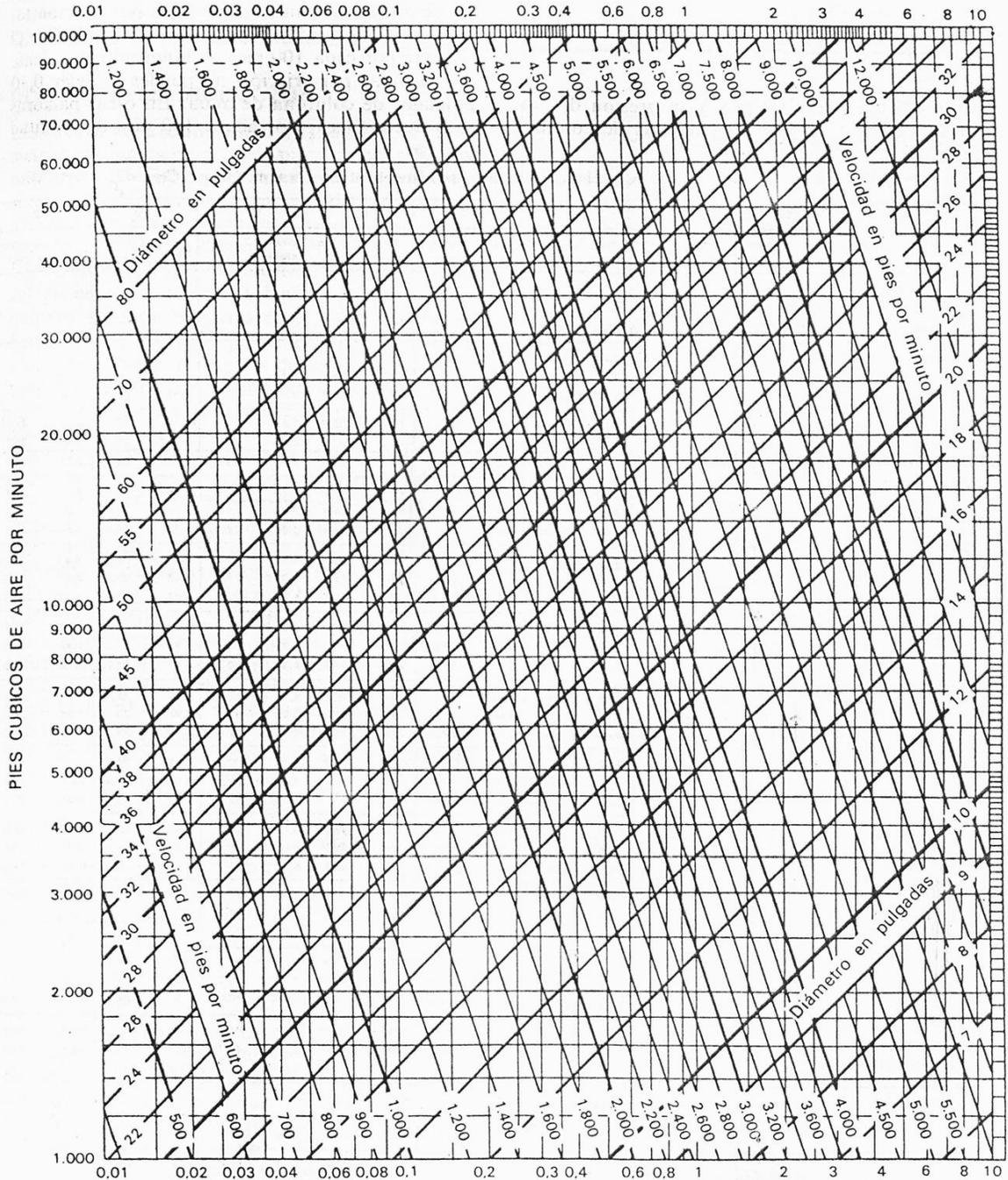
Se determinan los diámetros de tubería en las gráficas para determinar en las tablas de tubería equivalente las medidas del ducto rectangular rígido, brindando en la carta los valores del flujo de aire, la pérdida de fricción constante, velocidad del aire, posteriormente como el flujo de aire tendrá a disminuir, el diámetro de las tuberías por consiguiente también, repitiendo el procedimiento sucesivamente.

Para los cálculos de dimensiones de ductería por este método, se puede utilizar la carta de pérdidas por fricción de ASHRAE y la carta de ASHRAE de dimensiones para ductos equivalentes, figura 6 y tabla I, respectivamente.

“Las cartas de pérdidas por fricción de ASHRAE, es un gráfico en el que las coordenadas son las pérdidas por fricción en pulgadas de agua por cada 100 pies de longitud equivalente de ducto y los pies cúbicos de aire por minuto (p^3/min), que transporta el ducto. Como resultado de estudios y cálculos de laboratorio, una línea separada para cada tamaño de ducto, ha sido dibujada en el gráfico”.²⁰

²⁰ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 619.

Figura 6. **Carta de pérdidas de fricción en ductos de la ASHRAE para volúmenes desde 1 000 hasta 100 000 p³/min**



Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 621.

Tabla I. Carta ASHRAE de dimensiones para ductos equivalentes

Lado	6		8		10		12		14		16		18		20		22	
	Área Pies²	Díametro Pulg.																
10	0.39	8.4	0.52	9.8	0.65	10.9	0.94	13.1	1.28	16.3	1.67	17.5						
12	0.45	9.1	0.62	10.7	0.77	11.9	0.94	13.1										
14	0.52	9.8	0.72	11.5	0.91	12.9	1.09	14.4										
15	0.59	10.4	0.81	12.2	1.02	13.7	1.24	15.1	1.45	16.3	1.67	17.5	19.7	19.7	21.9			
18	0.66	11.0	0.91	12.9	1.15	14.5	1.40	16.3	1.63	17.3	1.87	18.5	2.12	2.12	2.12			
20	0.72	11.5	0.99	13.5	1.26	15.2	1.54	16.8	1.81	18.2	2.07	19.5	2.34	2.34	2.34			
22	0.78	12.0	1.08	14.1	1.38	15.9	1.69	17.6	1.99	19.1	2.27	20.4	2.57	2.57	2.57	2.86	22.9	24.1
24	0.84	12.4	1.16	14.6	1.50	16.6	1.83	18.3	2.14	19.8	2.47	21.3	2.78	2.78	2.78	3.11	23.9	25.1
26	0.89	12.8	1.26	15.2	1.61	17.2	1.97	19.0	2.31	20.6	2.66	22.1	3.01	3.01	3.01	3.35	24.8	26.1
28	0.95	13.2	1.33	15.6	1.71	17.7	2.09	19.6	2.47	21.3	2.86	22.9	3.25	3.25	3.25	3.60	25.7	27.1
30	1.01	13.6	1.41	16.1	1.82	18.3	2.22	20.2	2.64	22.0	3.06	23.7	3.46	3.46	3.46	3.89	26.7	28.0
32	1.07	14.0	1.48	16.5	1.93	18.8	2.36	20.8	2.81	22.7	3.25	24.4	3.68	3.68	3.68	4.12	27.5	28.9
34	1.13	14.4	1.58	17.0	2.03	19.3	2.49	21.4	2.96	23.3	3.43	25.1	3.89	3.89	3.89	4.37	28.3	29.7
36	1.18	14.7	1.65	17.4	2.14	19.8	2.61	21.9	3.11	23.9	3.63	25.8	4.09	4.09	4.09	4.58	29.0	30.5
38	1.23	15.0	1.73	17.8	2.25	20.3	2.76	22.5	3.27	24.5	3.80	26.4	4.30	4.30	4.30	4.84	29.8	31.4
40	1.28	15.3	1.81	18.2	2.33	20.7	2.88	23.0	3.43	25.1	3.97	27.0	4.52	4.52	4.52	5.07	30.5	32.1
42	1.33	15.6	1.86	18.5	2.43	21.1	2.98	23.4	3.57	25.6	4.15	27.6	4.71	4.71	4.71	5.31	31.2	32.8
44	1.38	15.9	1.95	18.9	2.53	21.5	3.11	23.9	3.71	26.1	4.33	28.2	4.90	4.90	4.90	5.55	31.9	33.5
46	1.43	16.2	2.01	19.2	2.61	21.9	3.22	24.3	3.88	26.7	4.49	28.7	5.10	5.10	5.10	5.76	32.5	34.2
48	1.48	16.5	2.09	19.6	2.71	22.3	3.35	24.8	4.03	27.2	4.65	29.2	5.30	5.30	5.30	5.97	33.1	34.9
50			2.16	19.9	2.81	22.7	3.46	25.2	4.15	27.6	4.84	29.8	5.51	5.51	5.51	6.19	33.7	35.5
52			2.22	20.2	2.91	23.1	3.57	25.6	4.30	28.1	5.00	30.3	5.72	5.72	5.72	6.41	34.3	36.0
54			2.29	20.5	2.98	23.4	3.71	26.1	4.43	28.5	5.17	30.8	5.90	5.90	5.90	6.64	34.9	36.8
56			2.38	20.9	3.09	23.8	3.83	26.5	4.55	28.9	5.31	31.2	6.08	6.08	6.08	6.87	35.5	37.4
58			2.43	21.1	3.19	24.2	3.94	26.9	4.68	29.3	5.48	31.7	6.26	6.26	6.26	7.06	36.0	38.0
60			2.50	21.4	3.27	24.5	4.06	27.3	4.84	29.8	5.65	32.2	6.50	6.50	6.50	7.26	36.5	38.6
64			2.64	22.0	3.46	25.2	4.24	27.9	5.10	30.6	5.91	33.1	6.87	6.87	6.87	7.71	37.6	39.7
68					3.63	25.8	4.49	28.7	5.37	31.4	6.26	33.9	7.18	7.18	7.18	8.12	38.6	40.7
72					3.83	26.5	4.71	29.4	5.69	32.3	6.60	34.8	7.54	7.54	7.54	8.50	39.5	41.8
76					4.09	27.4	4.91	30.0	5.86	32.8	6.83	35.4	7.95	7.95	7.95	8.90	40.4	42.8
80							5.17	30.8	6.15	33.6	7.22	36.4	8.29	8.29	8.29	9.21	41.1	43.8
84					4.15	27.6	5.41	31.5	6.41	34.5	7.54	37.2	8.55	8.55	8.55	9.75	42.3	44.6
88							5.58	32.0	6.64	34.9	7.87	38.0	8.94	8.94	8.94	10.1	43.1	45.4
92									6.91	35.6	8.12	38.6	9.39	9.39	9.39	10.4	43.8	46.3
96							5.79	32.6	7.14	36.2	8.40	39.2	9.70	9.70	9.70	10.8	44.5	47.2
100							5.90	33.0	7.40	36.9	8.50	39.5	9.80	9.80	9.80	11.3	45.5	47.6
104									7.60	37.4	8.90	40.5	10.3	10.3	10.3	11.6	46.2	48.8
108									7.90	38.0	9.90	41.2	10.6	10.6	10.6	12.0	47.0	49.6
112									8.10	38.6	9.50	41.8	10.9	10.9	10.9	12.3	47.5	50.3
116											9.80	42.4	11.3	11.3	11.3	12.6	48.1	51.3
120											10.0	42.8	11.5	11.5	11.5	13.1	49.1	51.5
124											10.3	43.5	11.9	11.9	11.9	13.4	49.6	52.4
128											10.6	44.1				13.8	50.4	53.3
132																14.1	50.9	53.9
136																14.5	51.6	54.5
140																14.7	52.0	55.0
144																15.2	52.9	55.6

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 622.

“Las áreas de sección transversal equivalentes de ductos redondos y rectangulares nunca coinciden exactamente así que cuando se usa la tabla siempre se toma el valor siguiente más alto”.²¹

6.2. Método velocidad del aire

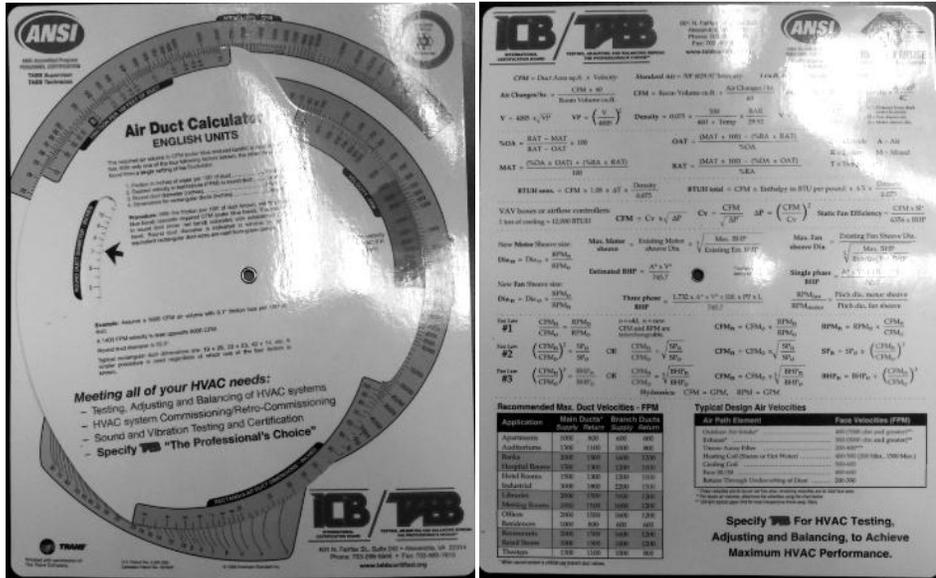
Consiste en designar un valor para la velocidad del aire en el sistema desde el punto de entrada principal, posteriormente se realizarán reducciones de velocidad y medidas, tanto para ducto redondo como rectangular rígido, de acuerdo al gráfico o equipo que se utilice para determinar estas velocidades.

En este método es muy empleada una herramienta llamada ductómetro o ductulador, posee también los valores de pérdida de fricción por cada cien pies de longitud, flujo de aire, ducto redondo, ducto rectangular rígido, velocidad del aire, en donde se gira la parte superior del mismo, haciendo coincidir con el valor más cercano de acuerdo a las velocidades y flujo de aire para obtener las medidas para los ductos.

Se debe tomar en cuenta que a mayor velocidad del aire, se producirá una mayor cantidad de ruido en el sistema de ductos. Se puede emplear la gráfica del método de igual fricción para determinar el diámetro del ducto redondo y también, para determinar las medidas en ducto rectangular rígido.

²¹ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 623.

Figura 7. Ductómetro, parte frontal y trasera



Fuente: Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

6.3. Método caída de presión constante

También es conocido como el método de pérdida de presión balanceada, en donde el principal valor de estudio es el flujo de aire en las salidas, más no la presión del sistema. Se determina una pérdida de presión constante para cada rama de ductería y el punto de alimentación del sistema. Como cada rama de la ductería será diferente en longitud y por ende su pérdida de presión también.

Se hace uso de las gráficas del método de igual fricción, para determinar la velocidad en cada rama y el diámetro del ducto redondo o para determinar las medidas del ducto rectangular rígido.

7. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA

7.1. Transferencia de calor

Debido a que las pérdidas de calor que se generan en las edificaciones son debido a la transferencia de calor que se da a través de la estructura que lo conforma y por las cargas generadas en su interior.

Se da una transferencia de calor entre cuerpos o ambientes cuando existe una diferencia de temperatura entre ambos, dando lugar a que el cuerpo con mayor temperatura transfiera parte de su energía al de menor temperatura.

Teniendo en cuenta que dependerá también del color y la aspereza de la superficie, mientras más oscuro sea el material, mayor cantidad de energía será capaz de absorber.

Existen tres medios por los cuales se da una transferencia de calor, estos son por conducción, convección y radiación.

- **Conducción:** este tipo de transferencia de calor se da en un cuerpo que se encuentra estático o en reposo por medio de contacto físico con otro cuerpo.
- **Convección:** la transferencia de calor se da como resultado del movimiento, generalmente de líquidos o gases, provocando un cambio de temperatura en un recinto de forma irregular. Se puede dar de forma natural, es decir, por sí misma o por medio forzado a través de un ventilador o una bomba.

- Radiación: este tipo de transferencia de calor se produce por medio de rayos, es decir se encuentra en una vía directa sin obstáculos entre una fuente de energía y el objeto o materia, en donde recibe parte de la radiación generada. También puede producirse este efecto por medio de reflexión; proceso que se ejecuta por la radiación de calor reflejada que se proyecta en un cuerpo brillante.

7.2. Calor

Es una forma de energía, teniendo en cuenta que se refiere al tipo de energía térmica. Se produce cuando dos cuerpos se encuentran a diferentes temperaturas, en donde el cuerpo de mayor temperatura transferirá calor al cuerpo de menor temperatura, hasta que la temperatura de ambos cuerpos se encuentre en equilibrio.

El término calor para el área termodinámica significa transferencia de energía. Tienen mayor aplicación el calor específico, sensible y latente.

- Calor específico: no es más que el calor que se logra eliminar a una libra de cualquier sustancia para reducir su temperatura un grado Fahrenheit. Este tipo de energía se mide en BTU; que no es más que el calor que se elimina o se agrega a una libra de agua pura para reducir o aumentar su temperatura un grado Fahrenheit.
- Calor sensible: es todo aquel calor que puede percibir el cuerpo o medirse, producido por un cambio de temperatura, mas no en un cambio de fase. Para términos de refrigeración podría decirse que es la cantidad de energía que se puede agregar o quitar a una libra de aire sin agregar o quitar humedad específica.

- Calor latente: también llamado calor escondido, no puede medirse ni sentirse, sufre un cambio de fase sin aumentar o disminuir su temperatura. Para términos de refrigeración podría decirse que es el proceso de agregar o quitar humedad específica a una libra de aire sin afectar su temperatura.

“El calor es energía. Todas las sustancias contienen energía. Aun las cosas que aparentemente están frías contienen calor. Cuando se agrega calor a un cuerpo, este se calienta. Si se quita calor a un objeto se enfría. En lenguaje sencillo, el calor se puede controlar pero no se puede destruir”.²²

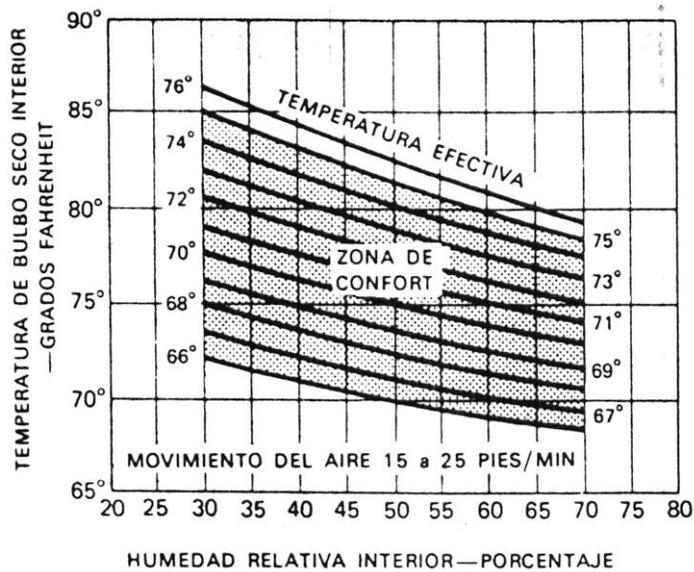
7.3. Humedad relativa

Es una medida de la cantidad de vapor presente en fase gaseosa. La humedad relativa se define como la relación entre la presión parcial del vapor y la presión de vapor a la misma temperatura; mientras el valor tienda a acercarse al cien por ciento, esto quiere decir que el aire posee mayor humedad o que se encuentra saturado.

En la figura 8, se puede apreciar que la humedad relativa es uno de los parámetros importantes para el confort humano.

²² Mitchell Information Services, Inc. *Manual de reparación de sistemas de aire acondicionado automotrices*. p. 1.

Figura 8. Carta de confort



Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 330.

Las mediciones realizadas de las temperaturas de rocío, bulbo seco, bulbo húmedo y humedad relativa se realizaron con un medidor de humedad y temperaturas Testo 625 con Código MO-14731 ITGS, proporcionado por el ingeniero Jorge Mario Muñoz Paz, asesor del proyecto de graduación y catedrático del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS), ubicado en kilometro 45 carretera antigua a Palín-Escuintla.

“La temperatura de punto de rocío, se define como la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante”.²³

²³ CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 736.

“La temperatura del aire es indicada por la sensación de caliente o frío y puede medirse con un termómetro ordinario, comúnmente llamado termómetro de bulbo seco”.²⁴

Figura 9. **Medidor de humedad y temperaturas Testo 625**



Fuente: Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

Realizando la conversión de grados Celsius a grados Fahrenheit; ya que el equipo medidor de temperatura y humedad Testo 625 brinda los valores de las temperaturas en grados Celsius de la siguiente manera:

$$^{\circ}F = 1,80 * ^{\circ}C + 32,00$$

²⁴ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 327.

Tabla II. **Datos técnicos del medidor Testo 625**

Tipo de sonda	NTC	Sensor humedad Testo, capacitivo
Rango	-10...+60°C	0...+100% HR
Exactitud ±1 dígito	±2,5% HR (+5...+95% HR)	
Resolución	0,1°C	0,1% HR
Temperatura de funcionamiento	-20...+50°C	
Temperatura de almacenamiento	-40...+85°C	
Tipo de pila	Pila bloque de 9 V 6F22	
Vida de pila	70 h (sin funcionamiento por radio)	
Medidas	182*64*40mm	

Fuente: elaboración propia, basada en información proporcionada por el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

“El contenido de humedad del aire se indica por la sensación de sequedad del aire en invierno o de pegajosidad en verano. La humedad se refiere al agua evaporada en el aire y que existe como un gas invisible. Para medir esta sensación de humedad y expresarlo en términos específicos se utiliza un termómetro de bulbo húmedo. No es más que un termómetro ordinario, con una gasa o algodón colocado sobre el bulbo. Mojando la gasa y pasando aire sobre esta, la humedad se evapora hasta que se balancee con la humedad contenida en el aire en donde no habrá más evaporación”.²⁵

Figura 10. **Medida de la humedad relativa en el exterior del recinto**



Fuente: 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios.

²⁵ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 328.

Figura 11. **Medida de la temperatura de bulbo húmedo en el exterior del recinto**



Fuente: 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios.

Figura 12. **Medida de la temperatura de rocío en el exterior del recinto**



Fuente: 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios.

Tabla III. **Medidas de temperaturas y humedad relativa en el exterior del recinto**

Medición	Mediciones realizadas					Promedio aproximado
Bulbo seco °F	83,12	82,40	82,76	81,50	84,20	83,00
Bulbo húmedo °F	69,26	68,00	68,90	70,34	69,62	69,00
Rocío °F	62,96	62,60	64,40	65,66	63,50	64,00
Humedad relativa %	50,10	51,80	53,20	56,10	51,30	52,00

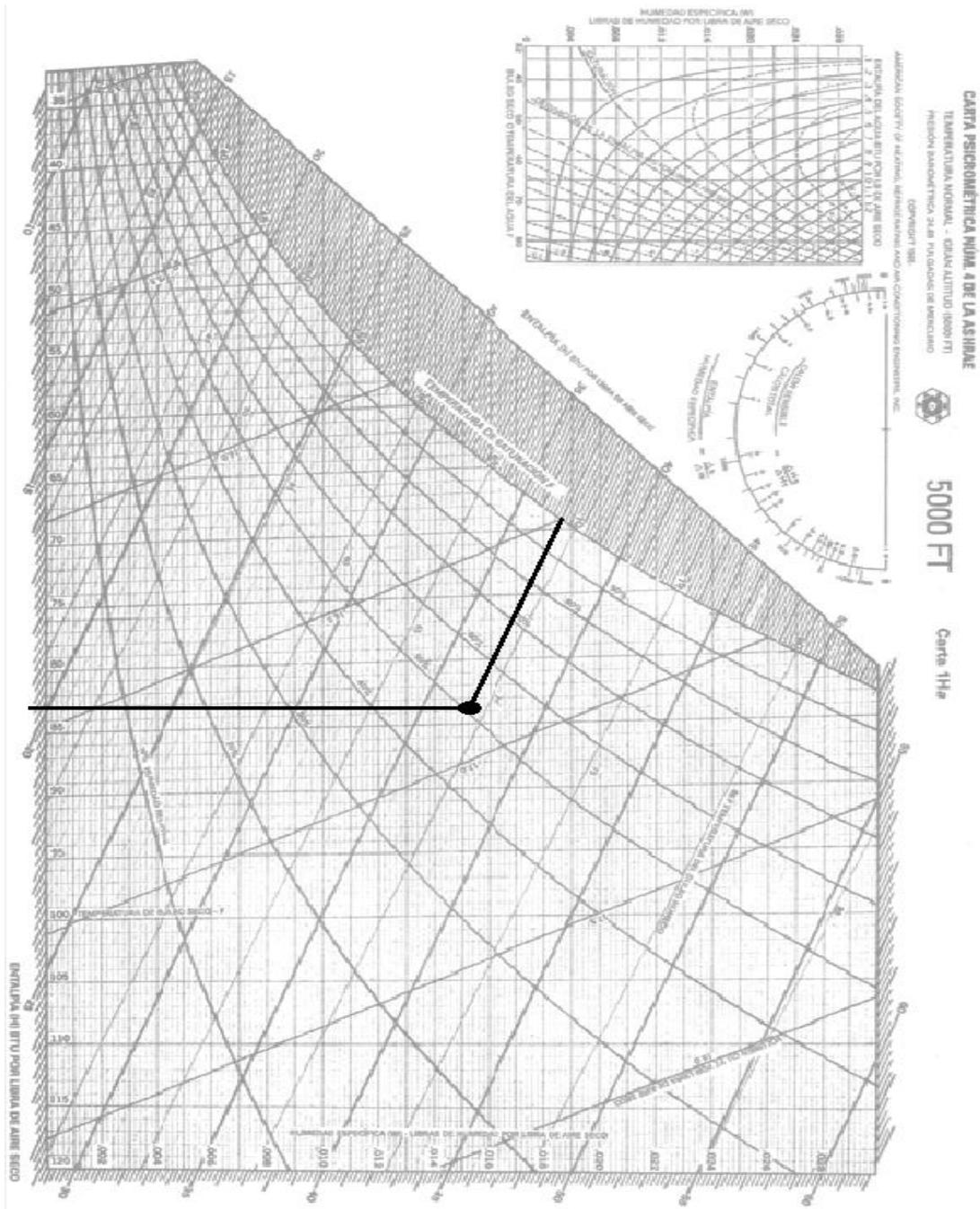
Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Medidas de temperaturas y humedad relativa en el interior del recinto**

Medición	Mediciones realizadas					Promedio aproximado
Bulbo seco °F	81,14	81,32	82,58	81,50	81,32	82,00
Bulbo húmedo °F	70,16	69,98	69,44	69,08	70,16	70,00
Rocío °F	64,76	65,30	63,14	62,78	64,94	64,00
Humedad relativa %	57,00	56,40	53,40	54,10	57,90	56,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Trazo de temperaturas de rocío, bulbo húmedo, bulbo seco y humedad relativa en la carta psicrométrica a 5000 p de altura



Fuente: MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Carta 1Ha.

Como referencia para el diseño del sistema de aire acondicionado no será necesario humidificar o deshumidificar el volumen de aire que se necesita, debido a que el valor de la humedad relativa en Amatitlán se encuentra entre un valor de confort en la humedad del aire, como se muestra en la figura 8.

Como se observa en la figura 13, están indicados en la carta psicrométrica, correspondiendo a los puntos de bulbo seco, bulbo húmedo y humedad relativa. Donde se pueden obtener los demás valores, coincidiendo con los datos obtenidos con el medidor Testo 625.

7.4. Velocidad de transferencia de calor

No es más que la velocidad a la cual se está realizando la transferencia de calor a través de una ventana, pared, techo, etc. dependiendo tres factores:

- La diferencia de temperatura entre el flujo de calor.
- El área de toda la superficie del cuerpo o recinto a través de la cual fluye el calor.
- La resistencia térmica del material, no es más que la oposición a la transferencia de calor.

Se representa mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{R} * A * \Delta T$$

Donde:

- Q= velocidad de la transmisión de calor (BTU/h)

- R= resistencia térmica del material (h-ft²-°F/BTU)
- A= área de la superficie a través de la cual fluye el calor (ft²)
- ΔT= diferencial de temperatura (°F)

Teniendo dos tipos de resistencia: térmica y de la capa de aire superficial.

- Resistencia térmica: es la capacidad de un material para resistir el flujo de calor.
- Resistencia térmica de la capa de aire superficial: es la oposición de la capa cercana de aire en la superficie sólida de una construcción a la transferencia de calor a través del material.

Influyendo en las resistencias la conductancia y conductividad térmica del material.

Son propiedades que poseen los materiales para una transferencia de calor. La conductancia térmica de un material es el inverso de su resistencia térmica y la conductividad térmica no es más que la conductancia sobre la unidad de espesor del material. La relación con la conductancia se da por:

$$C = \frac{K}{L}$$

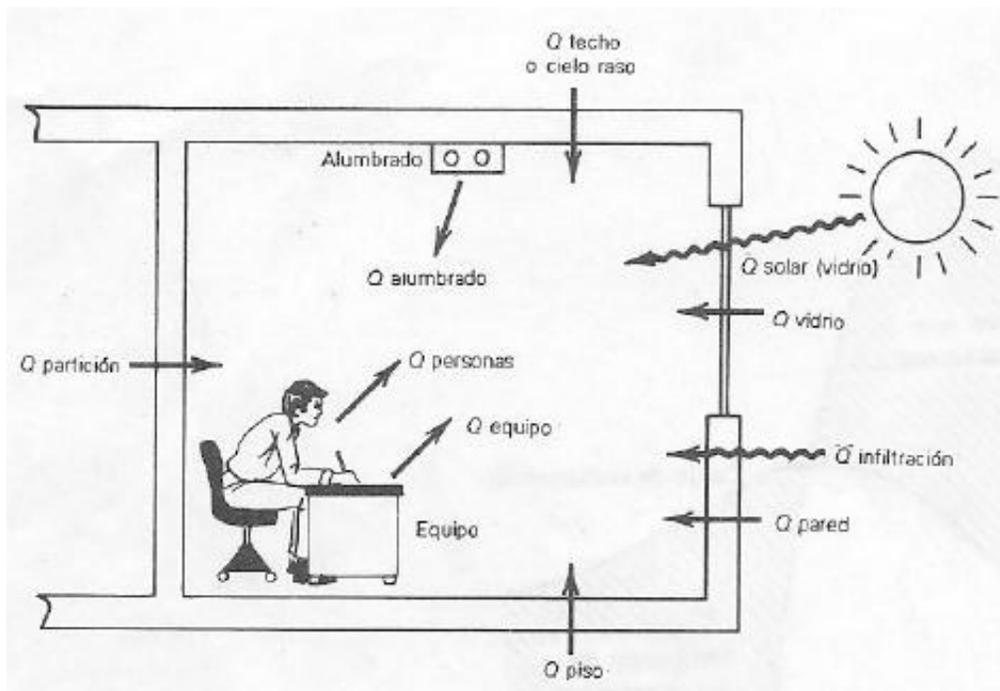
Donde:

- C= conductancia térmica del material (h- ft²-°F/BTU).
- K= conductividad térmica del material (h-ft²-°F/BTU *plg. de espesor).
- L= espesor del material (plg).

7.5. Cálculo de cargas térmicas y capacidad de *chiller*

En el interior de un recinto se pueden producir diferentes cargas térmicas debido a distintas situaciones que suscitan en el interior y exterior del mismo, para lo cual se efectúa el cálculo de cargas de enfriamiento; así como el control de la temperatura y humedad del aire para alcanzar el confort humano.

Figura 14. Representación de los componentes que generan una ganancia de calor en un recinto



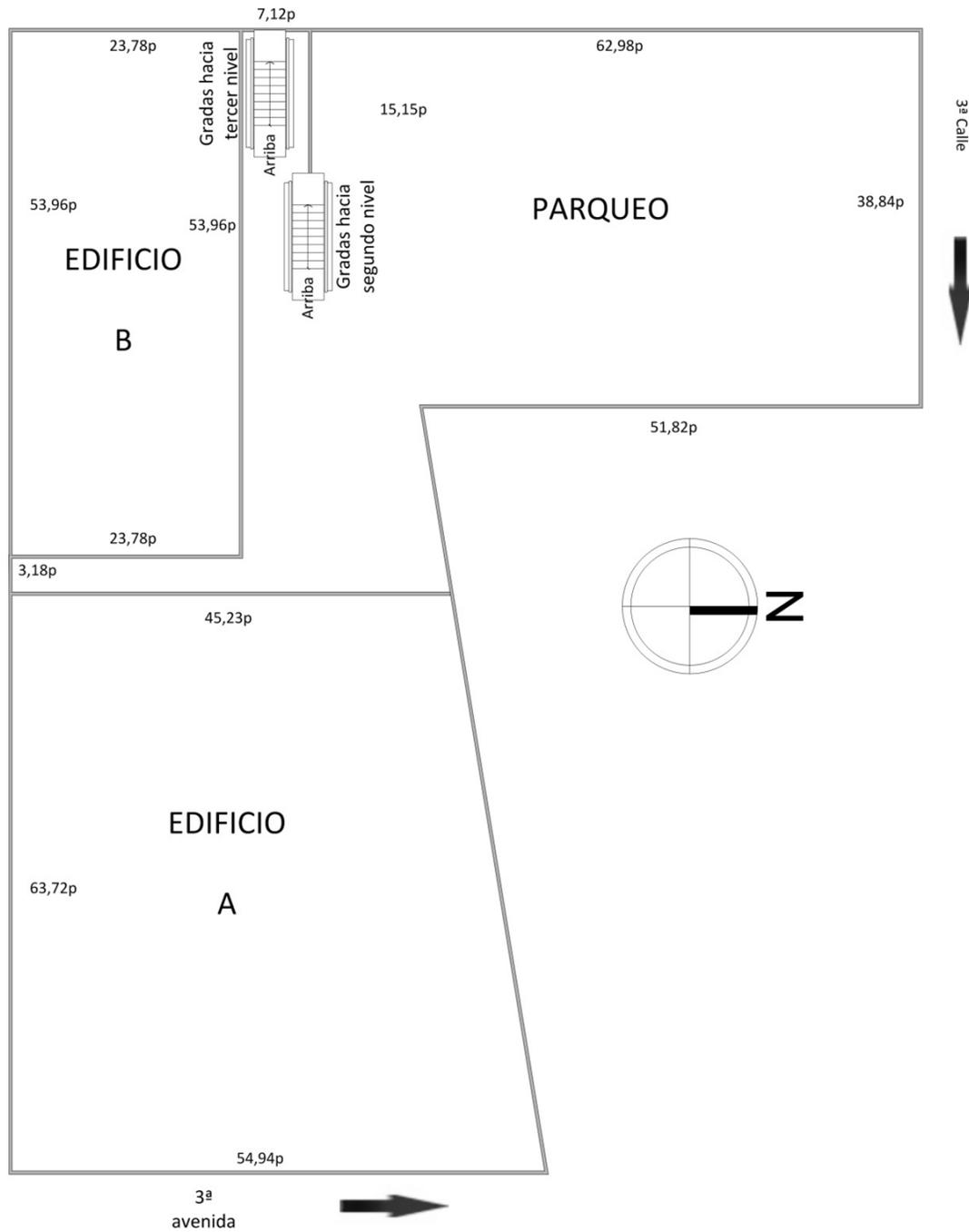
Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento del aire, principios y sistemas*. p 136.

Entre los aspectos que contribuyen a la ganancia de calor en un recinto se encuentran los siguientes factores:

- Por radiación: ya sea por la orientación de la estructura, latitud, vidrios claros o sombreados.
- En la estructura por medio de las paredes, techo, piso y ventanas.
- Cantidad de personas que se encuentran en el recinto realizando alguna actividad en específico.
- Misceláneas: ocasionado por iluminación, electrodomésticos y equipos de oficina.
- Por infiltración y/o ventilación, debido a ventanas abiertas o puertas.

Para obtener las cargas de enfriamiento del sistema, se realizan planos en vista de planta para las instalaciones. Se describen los niveles y áreas que se tomarán en cuenta para realizar el cálculo de las cargas térmicas en los espacios que se acondicionarán y la temperatura del ambiente exterior.

Figura 15. **Vista de planta del terreno general de la 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios**



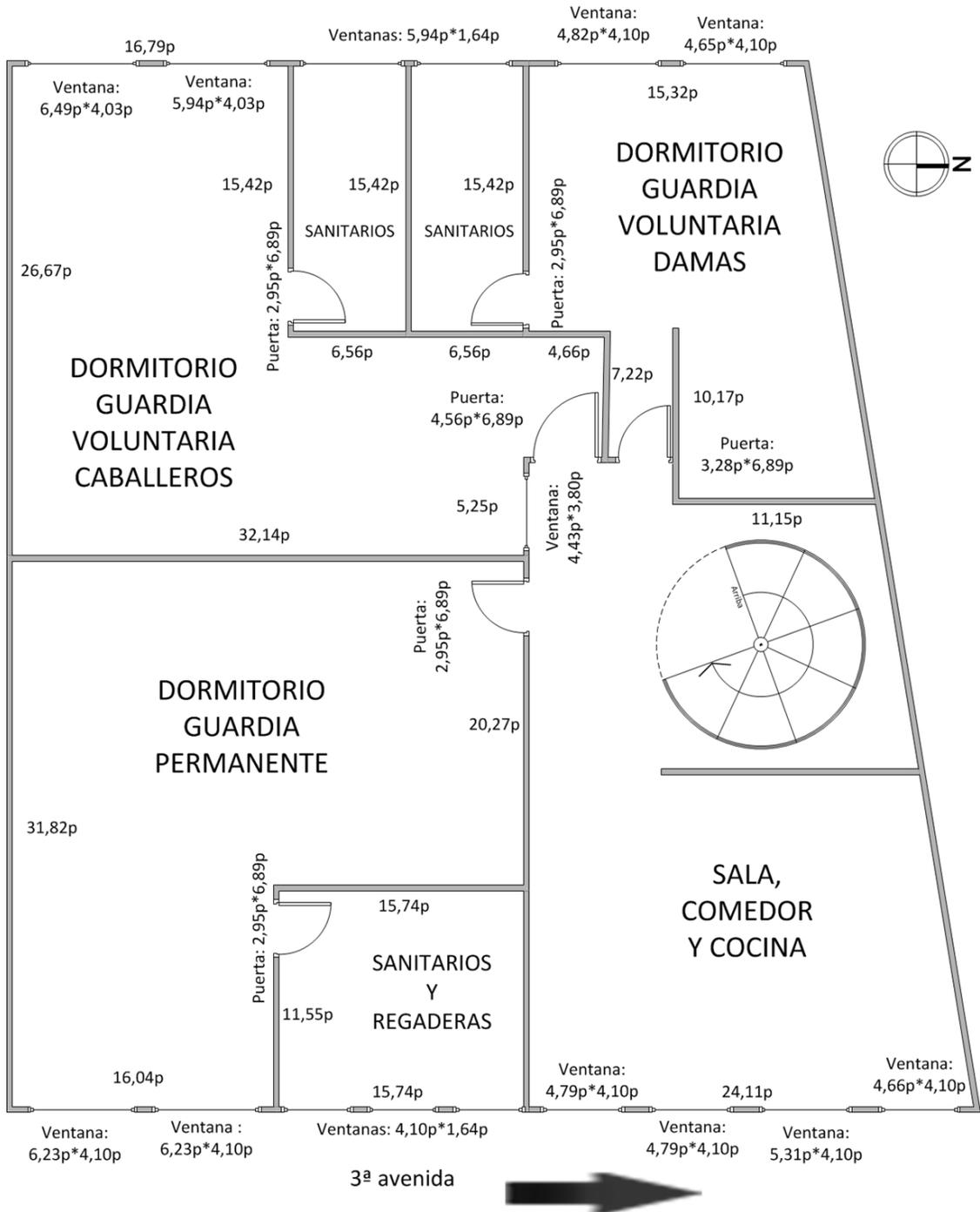
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 16. Vista de planta edificio A, primer nivel



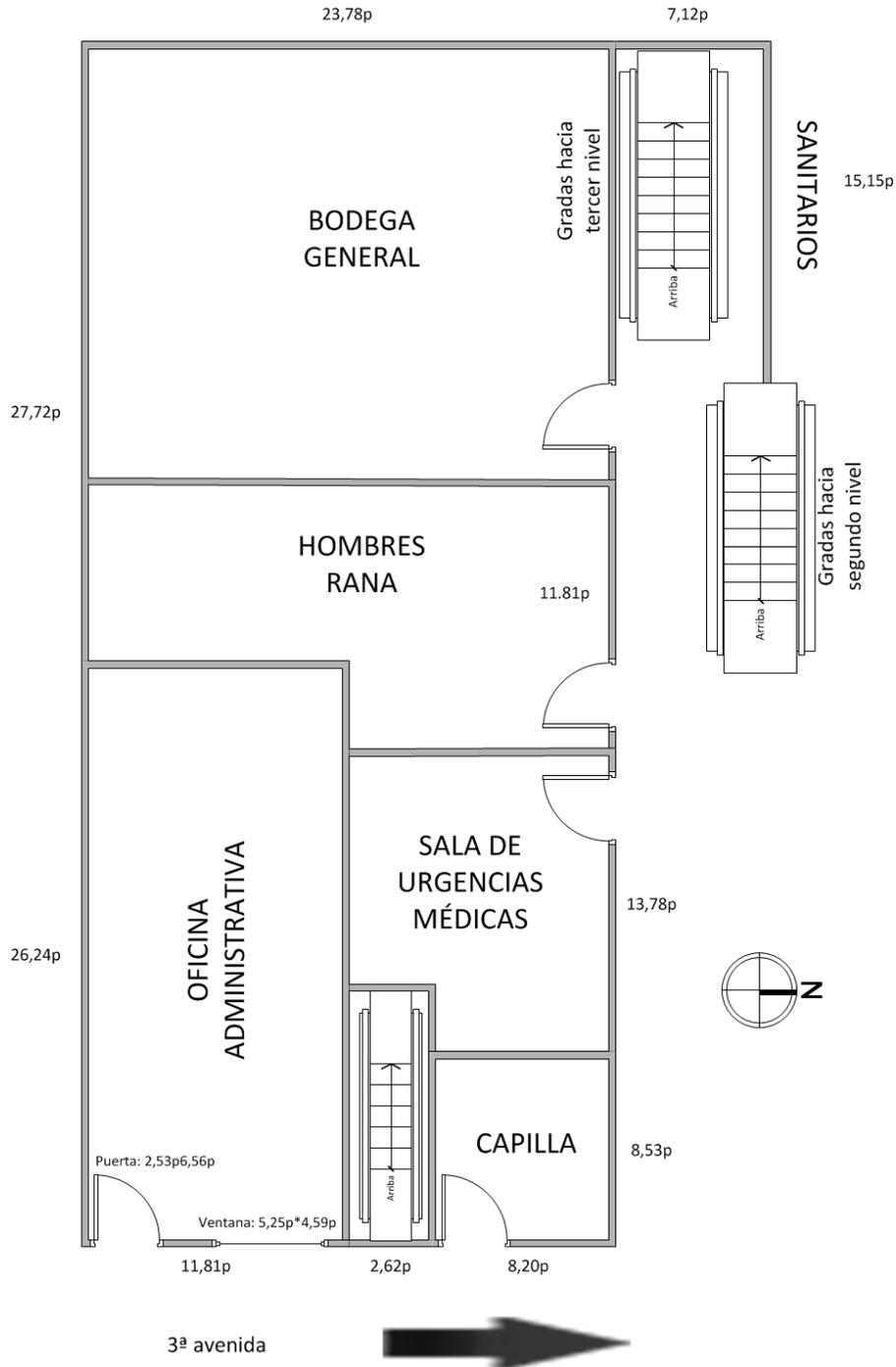
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 17. Vista de planta edificio A, segundo nivel



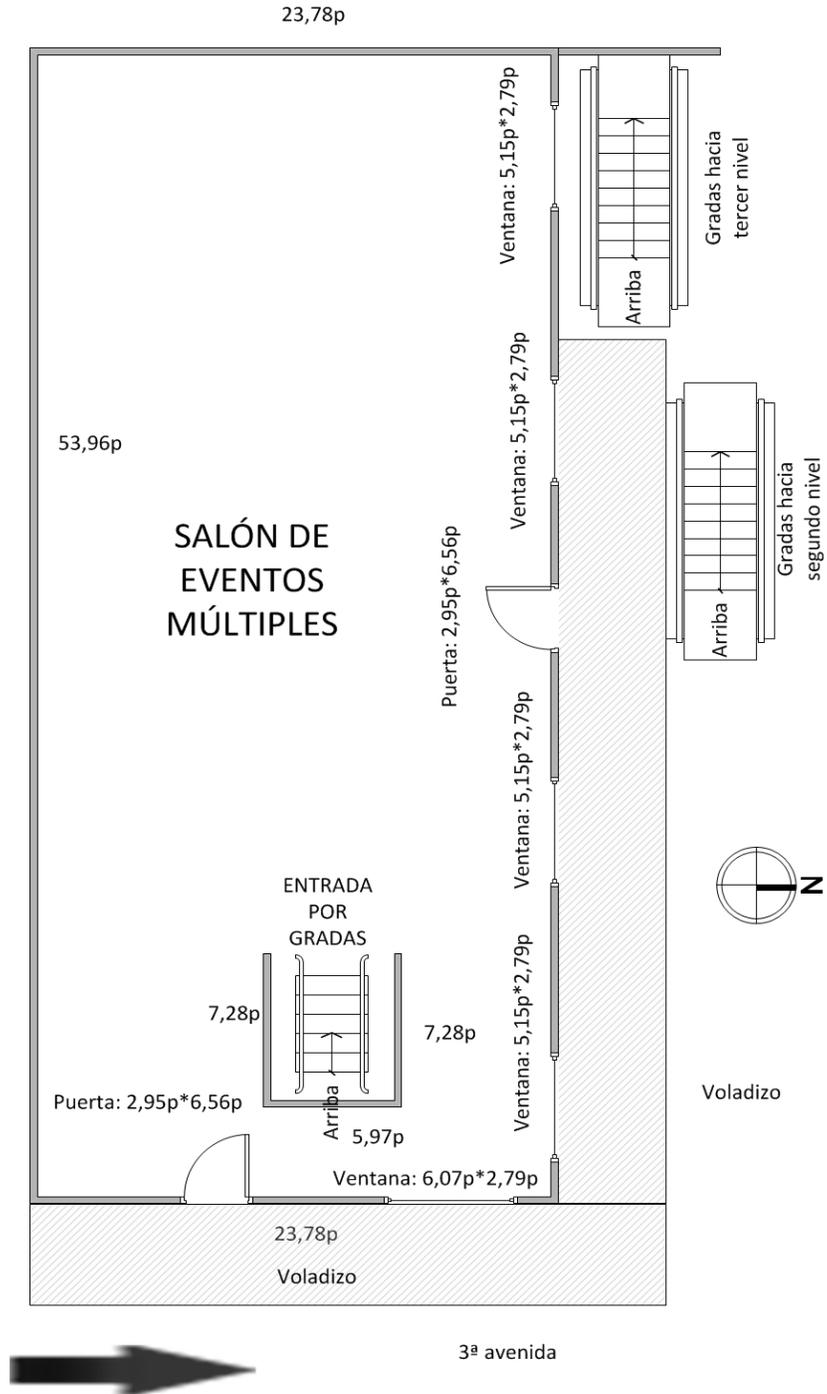
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 18. Vista de planta edificio B, primer nivel



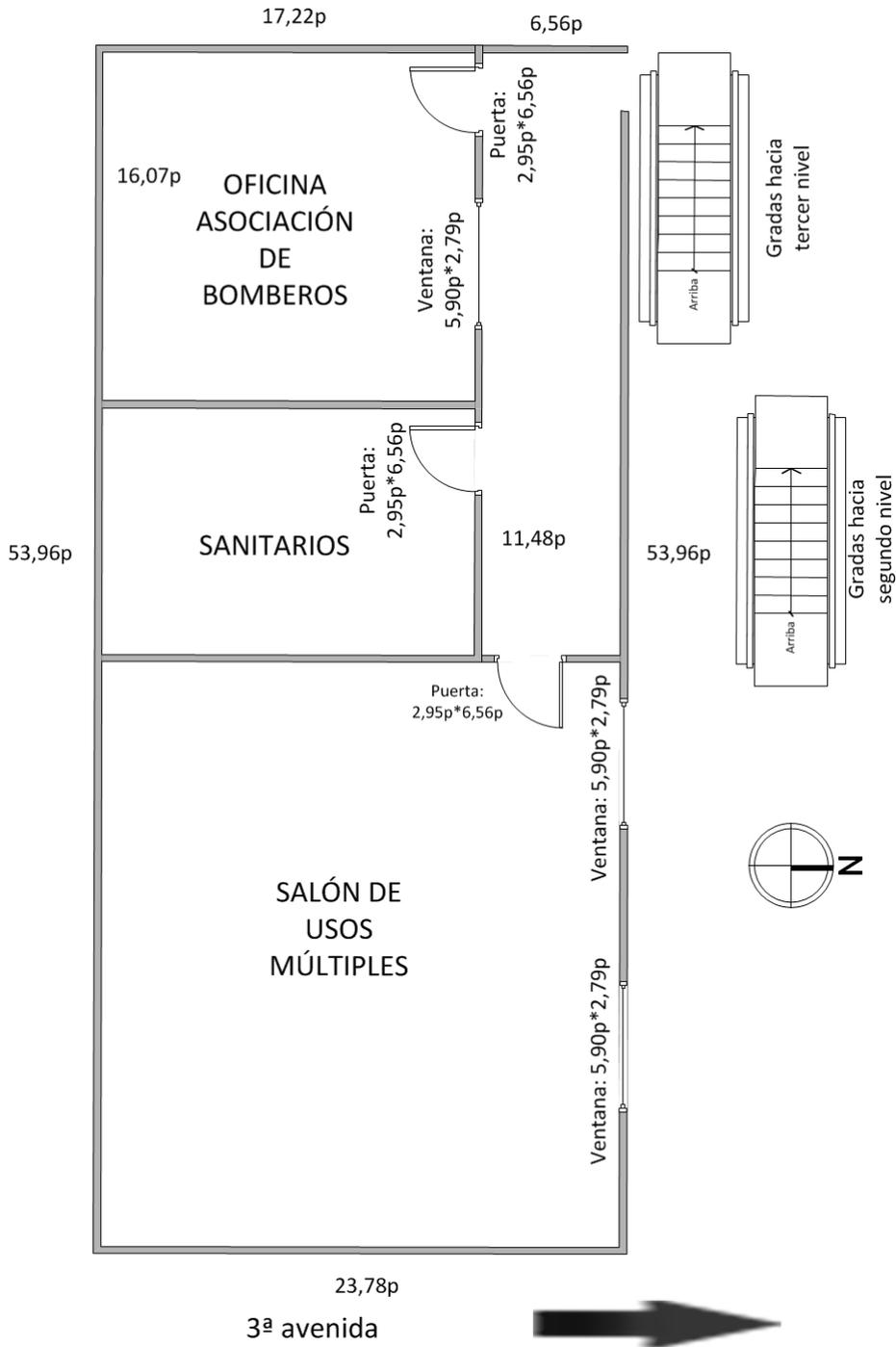
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 19. Vista de planta edificio B, segundo nivel



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 20. Vista de planta, edificio B tercer nivel



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Recintos y cargas térmicas comprendidas en el edificio A

- Primer nivel
 - Jefatura de servicio
 - Personas: 1
 - Bombillas: 1 de 75W
 - Computadoras: 1

- Segundo nivel
 - Dormitorio guardia permanente
 - Personas: 10
 - Bombillas: 4 de 75W

 - Dormitorio guardia voluntaria caballeros
 - Personas: 11
 - Bombillas: 3 de 75W

 - Dormitorio guardia voluntaria damas
 - Personas: 10
 - Bombillas: 3 de 75W

Recintos y cargas térmicas comprendidas en el edificio B

- Primer nivel
 - Oficina administrativa
 - Televisión: 1
 - Computadoras: 2
 - Bombillas: 4 de 75W
 - Impresoras: 2
 - Personas: 6

- Segundo nivel
 - Salón de eventos múltiples
 - Personas: 50
 - Bombillas: 8 de 75W
 - Computadoras : 1
 - Cañonera: 1

Para el control de la temperatura, respecto a la del exterior, se considera un rango para el confort humano desde 66 a 79 grados Fahrenheit, se tomará como una temperatura de confort de 68 grados Fahrenheit para realizar los cálculos del diseño y una temperatura exterior de 83 grados Fahrenheit, la cual se obtuvo con las medidas realizadas en el recinto.

Se lleva a cabo un procedimiento completo en un recinto para describir todos los pasos y de donde se obtendrán los valores, posteriormente se tabularán, debido a que es el mismo procedimiento para obtener los valores de las cargas térmicas.

Como ejemplo se realizará para el edificio B, primer nivel, oficina administrativa: ya que es uno de los recintos que comprende todas las cargas térmicas que se deben evaluar para obtener la capacidad de un equipo de aire acondicionado.

7.5.1. Radiación solar a través de vidrios

Ganancia de calor debido los rayos del sol que pasan a través de los vidrios, generalmente puede variar de acuerdo a la hora, orientación y claridad del vidrio.

Se determina por medio de:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE$$

Donde:

- Q= ganancia neta por radiación solar a través del vidrio (BTU/h)
- FGCS= factor de ganancia de calor por radiación solar (BTU/h-ft²)
- A= área del vidrio (ft²)
- CS= coeficiente de sombreado
- FCE= factor de carga de enfriamiento para el vidrio

La ventana posee un área completamente sombreada de 24,10 pies cuadrados, cuando se encuentra bajo sombra, se toma para el factor de ganancia máxima de calor solar en dirección norte a latitud 32 grados al medio día, punto en el cual obtendría la mayor ganancia de calor; valor tomado de la tabla V, siendo de 36 BTU/h-ft².

Tabla V. **Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios (BTU/h-ft²)**

Latitud	24°				32°				40°				48°				56°			
Hora est.	9 a.m.	Medio día	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Medio día	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Medio día	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Medio día	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Medio día	3 p.m.	6 p.m.
(mirando hacia)	28	37	33	12	27	36	32	14	25	34	30	15	23	32	28	15	22	29	26	15
N (para sombra)																				
NE	135	47	32	9	118	41	31	9	101	36	30	10	145	33	28	11	69	30	26	11
E	202	71	32	9	202	70	31	9	199	68	30	10	195	65	28	11	188	61	26	11
SE	153	83	33	9	168	107	45	9	181	131	34	10	191	151	35	11	197	167	38	11
S	32	68	48	9	41	104	71	11	59	141	98	14	76	171	123	18	91	194	143	22
SO	26	50	147	65	25	64	168	98	24	84	187	90	23	98	200	100	22	112	210	108
O	26	39	171	100	25	38	168	115	24	36	165	129	23	33	161	139	21	30	154	145
NO	26	38	153	76	25	36	82	85	24	34	65	92	23	32	50	96	21	29	39	97
Horizontal	153	267	215	39	150	256	207	41	142	239	194	42	131	215	176	43	116	187	154	42

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 476.

Se encuentra instalado en la ventana vidrio plano de ¼ de pulgada, tomando el valor de 0,64, ya que se encuentra bajo sombra. Valor tomado de la tabla VI.

Tabla VI. **Factor de carga de enfriamiento para el vidrio**

Tipo de vidrio	Sin sombra	Con sombra (persiana cerrada, cortinas forradas o cortinas de enrollar)
Vidrio plano (1/8 plg)	1,00	0,64
Vidrio plano (1/4 plg)	0,95	0,64
Vidrio que absorbe calor o con algún color (3/16 plg)	0,72	0,57
Vidrio reflectivo (1/4 plg)	0,30 – 0,60	0,25 – 0,50
Vidrio claro con película reflectiva aplicada por el lado interior	0,25 – 0,45	0,21 – 0,35
Vidrios dobles		
Vidrios claros (1/8 plg)	0,90	0,57
Vidrios claros (1/4 plg)	0,83	0,57
Película que absorbe calor en el exterior; vidrio claro en el interior	0,56	0,39

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 476.

Como no posee alero la sección de la ventana y se encuentra totalmente bajo sombra, se tomará el valor de 1. Valor tomado de la tabla VII.

$$Q = (36 * 24,10 * 1 * 0,64) \frac{BTU}{h} = 555,26 \frac{BTU}{h}$$

Tabla VII. **Coefficientes de sombra para aleros**

Latitud	24°				32°				40°				48°				56°			
	9 am	Medio día	3 pm	6 pm	9 am	Medio día	3 pm	6 pm	9 am	Medio día	3 pm	6 pm	9 am	Medio día	3 pm	6 pm	9 am	Medio día	3 pm	6 pm
(mirando hacia) N	--	--	--	0,58	--	--	--	0,63	--	--	--	0,83	--	--	--	1,37	--	--	--	1,61
NE	1,89	--	--	--	2,17	--	--	--	2,13	--	--	--	3,03	--	--	--	3,45	--	--	--
E	1,00	--	--	--	0,97	--	--	--	0,89	--	--	--	0,83	--	--	--	0,74	--	--	--
SE	0,93	4,55	--	--	1,00	3,33	--	--	0,86	2,33	--	--	0,73	1,67	--	--	0,61	1,33	--	--
S	4,35	3,57	4,35	--	2,63	2,38	2,63	--	1,85	1,59	1,85	--	1,30	1,19	1,33	--	1,08	0,93	1,08	--
SO	--	4,55	0,93	--	--	3,33	1,00	--	--	2,33	0,86	--	--	1,67	0,73	--	--	1,33	0,61	--
O	--	--	1,00	--	--	--	0,97	--	--	0,89	--	--	--	--	0,83	--	--	--	0,74	--
NO	--	--	1,89	--	--	--	2,17	--	--	--	2,13	--	--	--	3,03	--	--	--	3,45	--

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 477.

7.5.2. Conducción a través de la estructura exterior

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techos y vidrios que se encuentran en el exterior se determinan por medio de:

$$Q = U * A * \Delta T$$

Donde:

- Q= ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrio (BTU/h).
- U= coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios (BTU/h-ft²-°F).
- A= área del techo, pared o vidrio (ft²).
- ΔT= diferencial de temperatura para la carga de enfriamiento (°F).

Como posee una ventana con 24,10 pies cuadrados, se toma el valor U de 0,81 para el vidrio. Valor tomado de la tabla VIII.

$$Q_{S(ventana)} = (0,81 * 24,10 * (83 - 68)) \frac{BTU}{h} = 292,82 \frac{BTU}{h}$$

Tabla VIII. **Factor de transmisión de calor para vidrios (BTU/h-ft²-°F)**

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: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 477.

Debido a la puerta de acero, se genera una ganancia de calor sensible, cuenta con un área de 16,60 pies cuadrados. Tomando un valor de U de 0,59 (la cual indica que es para una puerta de acero de 1 ¾ de pulgada en su espesor, con interior de fibra mineral) se toma este valor por ser el mayor y considerando que la puerta es solo de plancha de lámina negra. Valor tomado de la tabla IX.

Tabla IX. **Factores transmisión de calor U (BTU/h-ft²-°F), para puertas y pisos**

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
PISOS		
Losa de concreto contra el suelo :		
Sin aislamiento	0	50
Con aislamiento de placas de poliestireno de 1", con 2 pies de profundidad o con 2 pies de ancho	0	30
Piso sobre espacio no acondicionado, sin cielo falso		
Estructura de madera:		
Sin aislamiento		
Con aislamiento R-7 (2" - 2 3/4")	0,33	0,27
Cubierta de concreto:	0,09	0,08
Sin aislamiento	0,59	0,43
Con aislamiento R-7	0,10	0,09
PUERTAS		
Madera sólida:		
De 1" de espesor	0,61	0,64
De 1 1/2" de espesor	0,47	0,49
De 2" de espesor	0,42	0,43
Acero:		
De 1 3/4" de espesor, con interior de fibra mineral	0,58	0,59
De 1 3/4" de espesor, con interior de poliestireno	0,46	0,47
De 1" de espesor, con interior de espuma de uretano	0,39	0,40

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 480.

El calor sensible que se transmite por la puerta es de:

$$Q_{s(puerta)} = (0,59 * 16,60 * (83 - 68)) \frac{BTU}{h} = 146,91 \frac{BTU}{h}$$

En áreas de las paredes de los edificios se debe utilizar la elevación de dichas paredes, el edificio A, primer nivel tiene una altura de 13,12 pies y el segundo nivel una elevación de 9,84 pies. El edificio B en sus tres niveles posee una elevación de 8,20 pies.

El recinto cuenta con una altura de 8,20 pies, el área exterior de la pared que se encuentra bajo sombra completa, sin el área de la sección de la ventana y la puerta, más el área de las secciones del perímetro del recinto es de 583,33 pies cuadrados.

Siendo la diferencia de temperatura de 15 grados Fahrenheit, teniendo un valor que sea menor a 20 grados Fahrenheit se utiliza un valor de diferencias equivalentes de temperaturas para paredes soleadas y sombreadas (en este caso solo se empleará sombreadas, debido a que se encuentra totalmente sombreado), tomando de referencia lado norte, color oscuro, construcción medio liviana 3 pm siendo un valor $DT = 16\text{ }^{\circ}\text{F}$. Valor tomado de la tabla X.

$$DTE = 16\text{ }^{\circ}\text{F} - (20 - 15)\text{ }^{\circ}\text{F} = 11\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Teniendo un valor del factor de transmisión de calor U para la pared de $0,51\text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$ para mampostería de 8" de bloques de concreto, sin terminado. Valor tomado de la tabla XI.

Tabla X. **Diferencias equivalentes de temperaturas para paredes soleadas y sombreadas (°F)**

Construcción de la pared	Hora estándar	NE		E		SE		S		SO		O		NO		NE	
		Osc.	Claro														
CONSTRUCCIÓN LIVIANA	9 a.m.	28	17	35	20	29	17	16	10	18	12	18	12	15	10	14	9
	Medio día	27	17	38	22	38	23	27	17	24	15	24	15	20	14	17	12
	3 p.m.	24	17	29	20	31	21	32	21	37	24	34	22	26	18	20	15
	6 p.m.	23	17	26	19	26	18	26	18	41	25	47	30	37	24	21	16
CONSTRUCCIÓN MEDIO-LIVIANA	9 a.m.	12	8	14	9	11	7	6	4	8	5	9	6	7	5	7	5
	Medio día	25	14	34	18	27	15	11	7	9	7	9	6	9	4	10	6
	3 p.m.	29	18	35	23	39	22	26	16	21	16	18	12	15	11	16	11
	6 p.m.	30	20	37	24	39	25	36	24	41	24	38	25	29	20	22	17
CONSTRUCCIÓN MEDIO-PESADA	9 a.m.	14	11	17	13	16	12	14	11	18	12	20	16	17	11	12	10
	Medio día	17	11	21	14	19	12	13	9	15	10	16	11	14	10	11	8
	3 p.m.	21	14	28	19	25	15	16	11	14	11	17	11	14	10	12	9
	6 p.m.	25	16	32	19	30	18	23	15	23	15	22	15	18	12	15	11
CONSTRUCCIÓN PESADA	9 a.m.	20	14	26	16	23	15	20	14	24	16	26	17	21	15	15	11
	Medio día	19	13	24	15	22	14	19	13	24	15	24	16	20	14	14	11
	3 p.m.	20	13	24	16	22	15	18	13	22	14	23	15	19	13	14	10
	6 p.m.	20	14	26	16	25	16	19	13	22	14	23	15	18	13	14	11

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 481.

$$Q_{s(\text{paredes exteriores})} = (0,51 * 583,33 * 11) \frac{BTU}{h} = 3\,272,48 \frac{BTU}{h}$$

Teniendo en total una ganancia de calor a través de la estructura del exterior de 3 712,21 BTU/h.

Tabla XI. **Factores de transmisión de calor U (BTU/h-ft²-°F) en paredes**

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
Mampostería		
8" de bloque de concreto, sin terminado	0.49	0.51
12" de bloque de concreto, sin terminado	0.45	0.47

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 478.

7.5.3. Conducción a través de la estructura interior

Calor generado en los espacios interiores del recinto que no están acondicionados, puede ser por medio del piso, cielo raso y ventanas, se determina por medio de:

$$Q = U * A * \Delta T$$

Donde:

- Q= velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso (BTU/h).
- U= coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios (BTU/h-ft²-°F).
- A= área de la división, piso o cielo raso (ft²).

- $\Delta T =$ diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados ($^{\circ}F$)

Entre las estructuras del interior que se consideraran para la ganancia de calor en la estructura, será únicamente el piso, debido a que el techo se encontrará acondicionado, no se tomará en cuenta el área del techo. Teniendo un valor de U de $0,59 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^{\circ}F$, valor obtenido de la tabla IX.

De la tabla X: diferencias equivalentes de temperaturas para paredes soleadas y sombreadas ($^{\circ}F$), se tomará el valor correspondiente al de construcción pesada, color claro a 9 am, siendo un valor $DT=15 \text{ }^{\circ}F$.

$$DTE = 15 \text{ }^{\circ}F - (20-15) \text{ }^{\circ}F = 10^{\circ}F$$

$$Q_{S(\text{estructura interior})} = (0,59 * 309,89 * 10) \frac{BTU}{h} = 1\,828,35 \frac{BTU}{h}$$

7.5.4. Ganancia de calor por alumbrado

Es la ganancia de calor debido a la luminaria que se encuentra en los espacios que se desean acondicionar. Se determina por medio de:

$$Q = 3,41 * W * FB$$

Donde:

- Q= ganancia neta por radiación solar debido a la luminaria (BTU/h)
- W= potencia del alumbrado (Watt)
- FB= factor del balastro (si posee será 20 % extra, sino 1)

Se encuentran 4 bombillas de 75 watts del tipo de ahorradoras, por lo cual no poseen balastro. Teniendo entonces una ganancia de calor por alumbrado de:

$$Q = 4 * (3,41 * 75 * 1) \frac{BTU}{h} = 1023 \frac{BTU}{h}$$

7.5.5. Ganancia de calor por personas

Se debe a la cantidad de personas que habitan el recinto, se divide en calor sensible y el calor latente; el cual resulta de la transpiración. Las ganancias de calor sensible y latente originado en las personas se puede obtener directamente por medio de tablas establecidas de acuerdo a la actividad física o por medio del producto de la cantidad de personas y su actividad.

Se determina por medio de:

$$Q_S = q_s * n \quad Q_L = q_l * n$$

Donde:

- Q_S, Q_L = ganancias de calor sensible y latente respectivamente (BTU/h).
- q_s, q_l = ganancias de calor sensible y latente respectivamente por persona de acuerdo a la actividad física que se desarrolle en el recinto.
- n = número de personas.

Tabla XII. **Ganancia de calor por personas**

Grado de actividad	Aplicación típica	Calor total BTU/h	Calor sensible BTU/h	Calor latente BTU/h
Sentadas, descansando	Teatro/matinée, salón de clases, escuela elemental	330	225	105
	Teatro/tarde	350	245	105
Sentadas, trabajo liviano	Oficina, hotel, apartamento, salón de clases, escuela secundaria	400	245	155
Trabajo de oficina moderadamente activo	Oficina, hotel, apartamento, salón de clases, universidad	450	250	200
De pie, trabajo liviano, caminando lentamente	Droguería, banco	500	250	250
Trabajo sedentario	Restaurante	550	275	275
Trabajo de banco liviano	Factoría	750	275	475
Baile moderado	Pista de baile	850	305	545
Caminando a 3 mph; trabajo moderadamente pesado	Factoría	1 000	375	625
Bolos, trabajo pesado	Pista de bolos, factoría	1 450	580	870

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 483.

Se encuentran 6 personas en actividades normales, es decir, sentadas o en trabajo liviano, por lo cual la ganancia de calor por personas sería de:

$$Q_s = (245 * 6) \frac{BTU}{h} = 1\,470 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_L = 155 * 6 \frac{BTU}{h} = 930 \frac{BTU}{h}$$

Obteniendo el valor de ganancia de calor total por personas, sumando el calor latente y sensible debido a sus actividades, siendo de: 2 400 BTU/h.

7.5.6. Ganancia de calor por equipos

Este calor se puede obtener directamente a través de tablas establecidas o en forma directa por medio de consulta al fabricante. Considerando un uso continuo o intermitente.

Contando el recinto con dos computadoras y dos impresoras, las cuales funcionan con 120 voltios de corriente alterna, poseen un consumo de corriente eléctrica de 5 y 0,65 amperios respectivamente.

$$Q = 3,41 * I * V$$

Donde:

- Q= ganancia de calor generada por equipos eléctricos (BTU/h)
- I= corriente eléctrica (A)
- V= voltaje de alimentación (V)

$$Q_{S(\text{computadoras})} = 2(3,41 * 5 * 120) \frac{BTU}{h} = 4\,092 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{S(\text{impresoras})} = 2(3,41 * 0,65 * 120) \frac{BTU}{h} = 531,96 \frac{BTU}{h}$$

La ganancia de calor total generada debido a los equipos eléctricos que se encuentran en el recinto, es de: 4 623,96 BTU/h.

7.5.7. Ganancia de calor por infiltración y/o ventilación

La carga térmica puede darse por fisuras en las ventanas o puertas, las cuales ocasionan una ganancia en el recinto que se acondiciona. Para poder determinar la ganancia se asumirá como un salón de recepción de protección ordinaria en verano, siendo el valor de cambio de aire por hora de 1,20. Valor tomado de la tabla XIII.

Tabla XIII. Infiltración

CLASE DE ÁREA O DE EDIFICIO	CAMBIOS DE AIRE POR HORA			
	Verano		Invierno	
	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable o marcos de tormenta	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable o marcos de tormenta
Sin ventanas o puertas exteriores	0,30	0,15	0-50	0,25
Salones de entrada	1,20 o 1,80	0,60 o 0,90	2,00 o 3,00	1,00 o 1,50
Salones de recepción	1,20	0,60	2,00	1,00
Baños	1,20	0,60	2,00	1,00
Infiltración a través de ventanas				
Pieza con 1 lado expuesto	0,60	0,30	1,00	0,50
Pieza con 2 lados expuestos	0,90	0,45	1,50	0,75
Pieza con 3 lados expuestos	1,20	0,60	2,00	1,00
Pieza con 4 lados expuestos	1,20	0,60	2,00	1,00

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 485.

Se determina el flujo de aire en pies cúbicos por minutos de infiltración por medio de:

$$\frac{p^3}{min} = \frac{H * L * W * \frac{CA}{h}}{60}$$

Donde:

- H= altura del recinto, medida en pies
- L= longitud del recinto, medido en pies
- W= ancho del recinto, medido en pies
- CA/h= cambio de aire por hora

$$\frac{p^3}{min} = \frac{8,20 * 26,24 * 11,81 * 1,20}{60} = 50,82$$

Para obtener la infiltración por medio de la puerta se procede a obtener un factor de tráfico de personas por puerta (TR), conociendo que seis personas se encontrarán en el recinto.

$$TR = \frac{\# \text{ personas}}{h \text{ para cada puerta}}$$

$$TR = \frac{6}{8 * 1} = 0,75$$

La diferencia de temperatura DT= 15 °F y TR= 0,75, debido a que los valores no se encuentran en la tabla XIV, se utiliza el inmediato superior, obteniendo el valor de 8 pies cúbicos por minutos por puerta, existiendo una puerta en el recinto el valor de la infiltración sería de 8 pies cúbicos por minutos.

Tabla XIV. **Infiltración por puertas (p³/min)**

Diferencia de temperatura (DT) (°F)	Tráfico de personas (TR) (Tráfico=No. de personas/h para cada puerta)							
	10	20	40	60	80	100	200	400
10	4	8	16	24	32	40	80	160
20	8	16	32	48	64	80	160	320
40	16	32	64	96	128	160	320	640
60	24	48	96	144	192	240	480	960
80	32	64	128	192	256	320	640	1 280
100	40	80	160	240	320	400	800	1 600

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 485.

Obteniendo un valor de infiltración total de: 58,82 p³/min.

Para determinar la ventilación se tomara el valor de la aplicación de oficina general, siendo de 15 pies cúbicos por minuto por persona. En donde se encontrarán 6 personas, lo cual da un valor de ventilación de 90 pies cúbicos por minuto.

Tabla XV. Ventilación

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

Fuente: Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 486.

Para obtener la ganancia de calor sensible debido a la infiltración, se procede con:

$$Q_s = 1,1 * CFM * DT$$

Donde:

- Q_s = ganancia de calor sensible por infiltración (BTU/h)
- CFM= valor de infiltración (p³/min)
- DT= diferencia de temperatura exterior y de confort (°F)

$$Q_s = (1,1 * 58,82 * 15) \frac{BTU}{h} = 970,53 \frac{BTU}{h}$$

Teniendo como ejemplo clave el cálculo de carga de enfriamiento para el edificio B, primer nivel en la oficina administrativa, se procede a tabular los valores obtenidos para tal recinto y de igual manera, solo se tabularán los valores de las cargas para los demás recintos que comprenderán toda la carga térmica para el sistema de aire acondicionado.

Tabla XVI. **Carga de enfriamiento edificio B, primer nivel, oficina administrativa**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	555,26	
Estructura exterior, ventana	292,82	
Estructura exterior, puerta	146,91	
Estructura exterior, paredes	3 272,48	
Estructura interior	1 828,35	
Alumbrado	1 023,00	
Personas	1 470,00	930,00
Equipos	4 623,96	
Infiltración	970,53	
Carga generada	14 183,31	930,00
Carga generada total		15 113,31
Factor de seguridad (20 %)		3 022,66
Carga total		18 135,97
Tonelada de refrigeración		1,51

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Carga de enfriamiento edificio A, primer nivel, Jefatura**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	173,21	
Estructura exterior, ventana	91,34	
Estructura exterior, puerta	160,45	
Estructura exterior, paredes	2 715,58	
Estructura interior	1 108,37	
Alumbrado	255,75	
Personas	245,00	155,00
Equipos	2 046,00	
Infiltración	557,37	
Carga generada	7 353,07	155,00
Carga generada total		7 508,07
Factor de seguridad (20 %)		1 501,61
Carga total		9 009.68
Tonelada de refrigeración		0,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia permanente**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	7 371,97	
Estructura exterior, ventana	812,27	
Estructura exterior, puerta	307,93	
Estructura exterior, paredes	4 867,29	
Estructura interior	4 932,97	
Alumbrado	1 023,00	
Personas	2 450,00	1 550,00
Equipos	0,00	
Infiltración	2 981,06	
Carga generada	24 746,49	1 550,00
Carga generada total		26 296,49
Factor de seguridad (20 %)		5 259,30
Carga total		31 555,79
Tonelada de refrigeración		2,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia voluntaria caballeros**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	1 542,00	
Estructura exterior, ventana	813,16	
Estructura exterior, puerta	377,82	
Estructura exterior, paredes	3 784,11	
Estructura interior	7 590,42	
Alumbrado	767,25	
Personas	2 695,00	1 705,00
Equipos	0,00	
Infiltración	2 020,76	
Carga generada	19 590,52	1 705,00
Carga generada total		21 295,52
Factor de seguridad (20 %)		4 259,10
Carga total		25 554,62
Tonelada de refrigeración		2,13

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Carga de enfriamiento edificio A, segundo nivel, dormitorio guardia voluntaria damas**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	6 010,27	
Estructura exterior, ventana	617,29	
Estructura exterior, puerta	318,78	
Estructura exterior, paredes	4 339,58	
Estructura interior	4 838,89	
Alumbrado	767,25	
Personas	2 450,00	1 550,00
Equipos	0,00	
Infiltración	1 269,18	
Carga generada	20 611,24	1 550,00
Carga generada total		22 161,24
Factor de seguridad (20 %)		4 432,25
Carga total		26 593,49
Tonelada de refrigeración		2,22

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Carga de enfriamiento edificio B, segundo nivel, salón de eventos múltiples**

Descripción	Calor sensible ($\frac{BTU}{h}$)	Calor latente ($\frac{BTU}{h}$)
Radiación a través de vidrios	5 380,22	
Estructura exterior, ventana	1 119,60	
Estructura exterior, puerta	497, 64	
Estructura exterior, paredes	6 880,68	
Estructura interior	13 056,62	
Alumbrado	2 046,00	
Personas	12 250,00	7 750,00
Equipos	3 000,80	
Infiltración	3 951,42	
Carga generada	47 182,98	7 750,00
Carga generada total		54 932,98
Factor de seguridad (20 %)		10 986,60
Carga total		65 919,58
Tonelada de refrigeración		5,49

Fuente: elaboración propia.

7.5.8. Capacidad del equipo

Se procede a sumar todas las cargas generadas; tanto latentes como sensibles para la obtención de la capacidad del equipo *chiller*, para lo cual la capacidad del equipo de refrigeración queda descrito en toneladas de refrigeración, realizando la conversión respectiva (1 TR = 12 000 BTU/h) obtenidas por medio de cálculos y descrito con la capacidad de los equipos que existen en el mercado, que se puedan adaptar de acuerdo a la necesidad.

Para poder satisfacer el confort térmico en las instalaciones se requiere de un chiller enfriado por aire con una capacidad de 17 toneladas de refrigeración, las cuales serán distribuidas a cada recinto por medio de conducción de agua helada y realizando un intercambio a través de refrigeración indirecta entre aire y agua helada.

En el diseño de ductos se indica el número de manejadora de aire que se encontrará en cada recinto, ver tabla XXII, describiendo de la siguiente manera UMA-X, donde UMA significa Unidad manejadora de aire; y la letra X representa el número de la unidad.

Tomando como valor de flujo de aire 400 pies cúbicos por minutos (CFM) por cada tonelada de refrigeración y como se describió en la metodología de cálculo se utilizará el método de velocidad constante; procediendo a determinar el diámetro de la ductería redonda con la ayuda del ductómetro.

Tabla XXII. **Carga total de enfriamiento y caudal de aire**

Recinto	Carga total de diseño (BTU/h)	Cálculos de diseño (TR)	Equipos reales existentes (TR)	Caudal de aire (p³/min) (CFM)
Jefatura (UMA-1)	9 009,68	0,75	0,75	300,00
Dormitorio guardia permanente (UMA-2)	31 555,79	2,63	3,00	1 200,00
Dormitorio guardia voluntaria caballeros (UMA-3)	25 554,62	2,13	2,50	1 000,00
Dormitorio guardia voluntaria damas (UMA-4)	26 593,49	2,22	2,50	1 000,00
Oficina administrativa (UMA-5)	18 135,95	1,51	2,00	800,00
Salón de eventos múltiples (UMA-6 y UMA-7)	65 919,58	5,49	2 de 3,00	2 400,00
Carga total de enfriamiento calculada en toneladas de refrigeración		14,73	Capacidad total de equipos existentes: 16,75 TR	
Capacidad de carga de enfriamiento real del equipo chiller en toneladas de refrigeración				17,00

Fuente: elaboración propia.

7.6. Diseño del sistema de ducto

Para el diseño del sistema de ducto, debido a que se encontrará a la vista, por estética se diseñó el sistema con ducto redondo; para el sistema de descarga de aire acondicionado, no se diseñó un sistema de retorno de aire; ya que se planteó en los recintos que el aire que se encuentre fuera del confort, como será más liviano por su densidad, este tenderá a elevarse, lo cual se dirigirá hacia el equipo UMA, tomando parámetros de velocidad constante dados en la parte trasera del ductulador y las medidas promedio de las UMA para los recintos, realizando cambios de aire en los momentos de apertura de la puerta y/o las ventanas en cada recinto.

Para la determinación de los ductos redondos se utilizará una velocidad constante de 1 300 FPM, perteneciente a un auditorio; para el salón de usos múltiples y en el resto de los recintos será de 1 000 FPM, correspondiente a la de apartamento, ya que las longitudes de los ductos no son relativamente largas, la pérdida por fricción en los ductos no será considerable en el caudal de aire.

Realizando los respectivos planos de instalación para la ductería; así como la ubicación de cada UMA, para cada recinto que se acondicionará y un estimado del material que se necesita para la fabricación de los ductos de aire.

Tabla XXIII. **Velocidad máxima recomendada para ductos FPM**

Aplicación	Ductos principales	
	Alimentación	Retorno
Apartamentos	1 000	800
Auditorios	1 300	1 100
Bancos	2 000	1 500
Cuartos de hospital	1 500	1 300
Cuartos de hotel	1 500	1 300
Industrial	3 000	1 800
Bibliotecas	2 000	1 500
Sala de reuniones	2 000	1 500
Oficinas	2 000	1 500
Residencial	1 000	800
Restaurantes	2 000	1 500
Tiendas	2 000	1 500
Teatros	1 300	1 100

Fuente: elaboración propia, basada en información en el ductulador, proporcionado por el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

Se enlista la tabla XXIV, para los equipos UMA existentes, lo cual es un parámetro que se utiliza para el diseño de ductos y las distancias a las cuales se encontrarán instaladas dichas unidades.

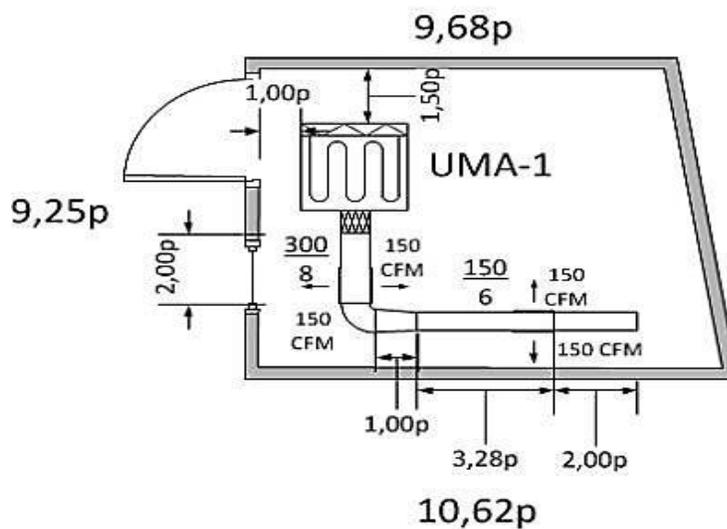
Tabla XXIV. Dimensiones y peso de equipos UMA

UMA	Capacidad (TR)	Dimensiones (mm) (largo*ancho*alto)	Peso (Kg)
1	0,75	884*556*251	20
2	3,00	1 824*556*251	46
3	2,50	1 564*556*251	44
4	2,50	1 564*556*251	44
5	2,00	1 464*556*251	41
6 y 7	3,00	1 824*556*251	46

Fuente: Climayoreo. *Capacidades de Fancoil.*

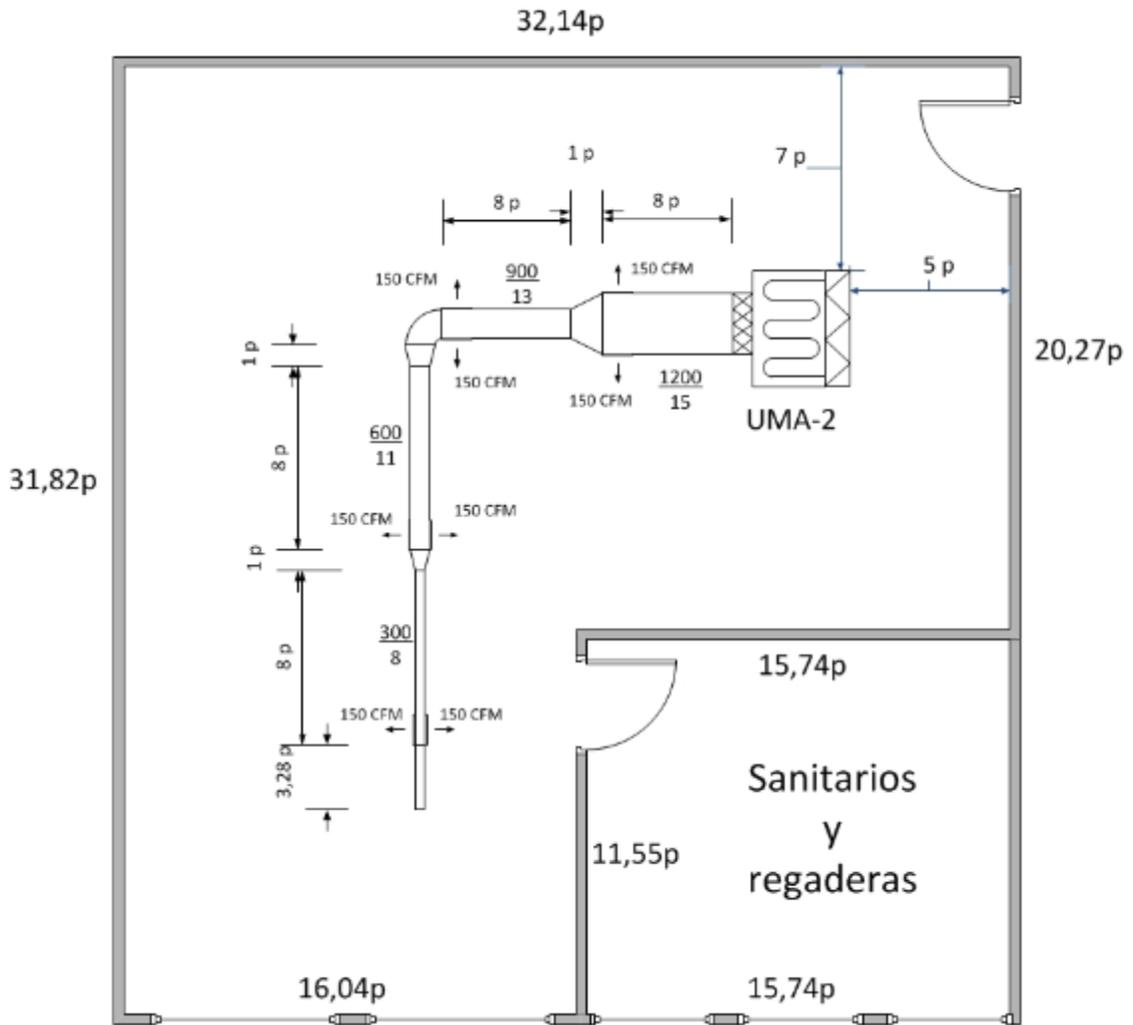
www.climayoreo.com/mcquay/com_FC_AH_MCW.htm. Consulta: octubre de 2013.

Figura 21. Diseño de ductería para el Área de Jefatura



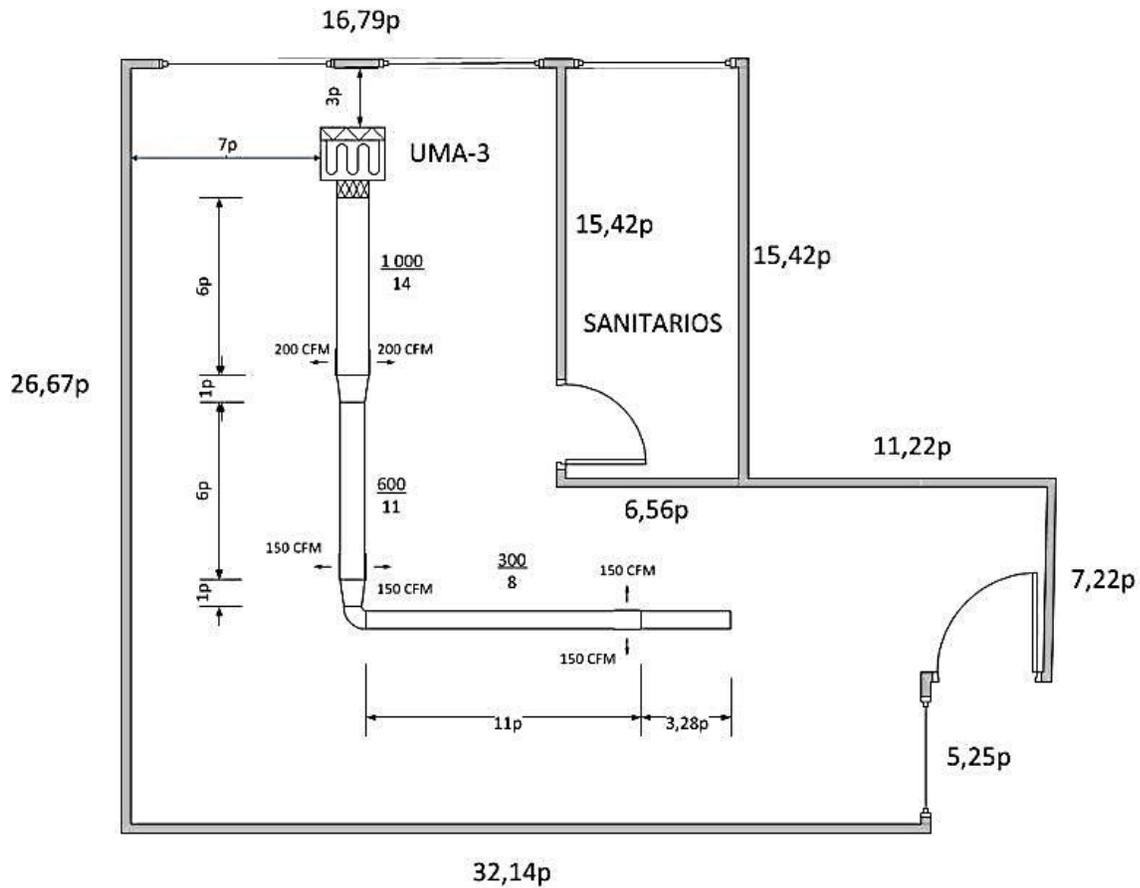
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 22. **Diseño de ductería para el dormitorio de guardia permanente**



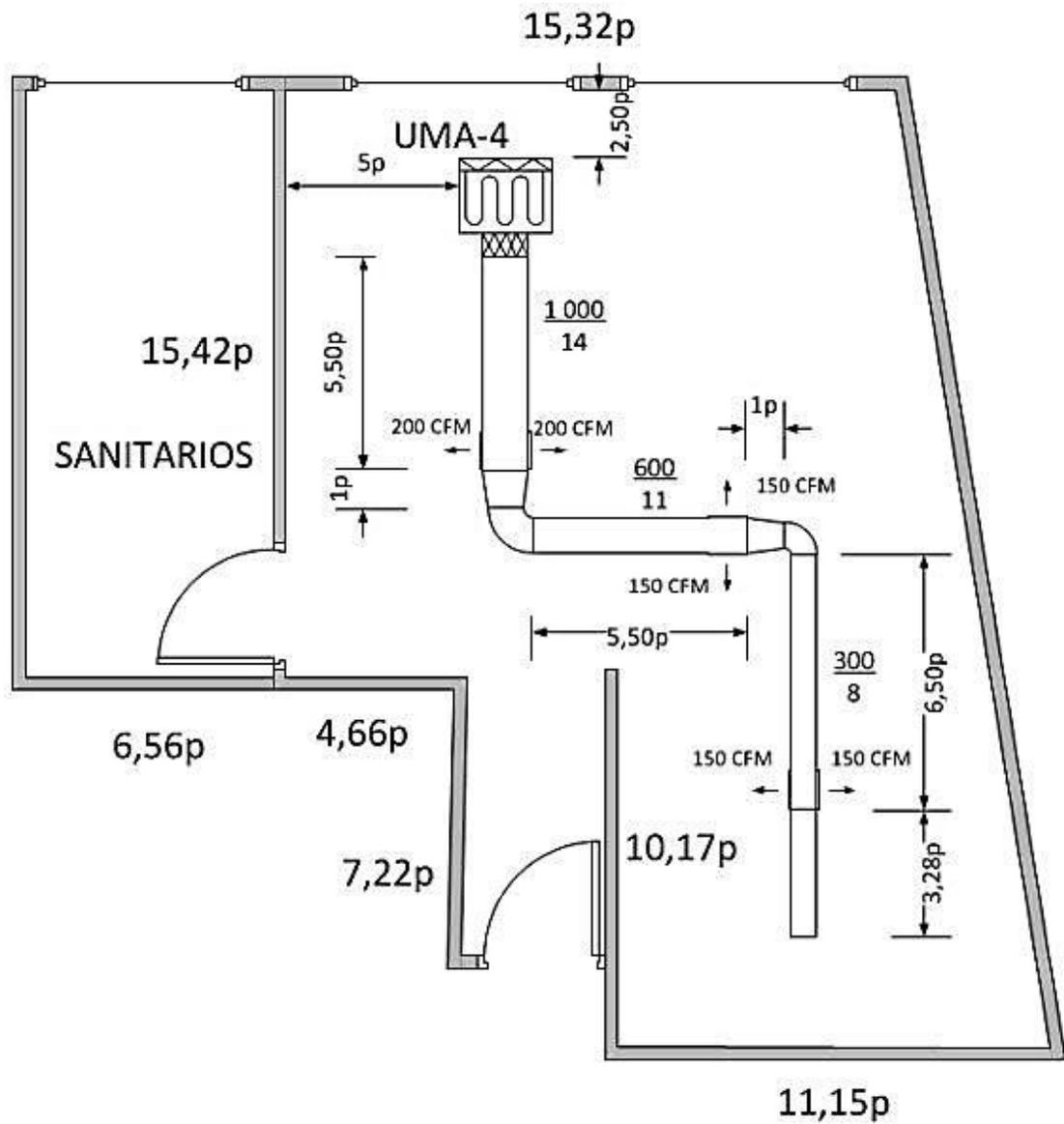
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 23. **Diseño de ductería para el dormitorio de guardia voluntaria caballeros**



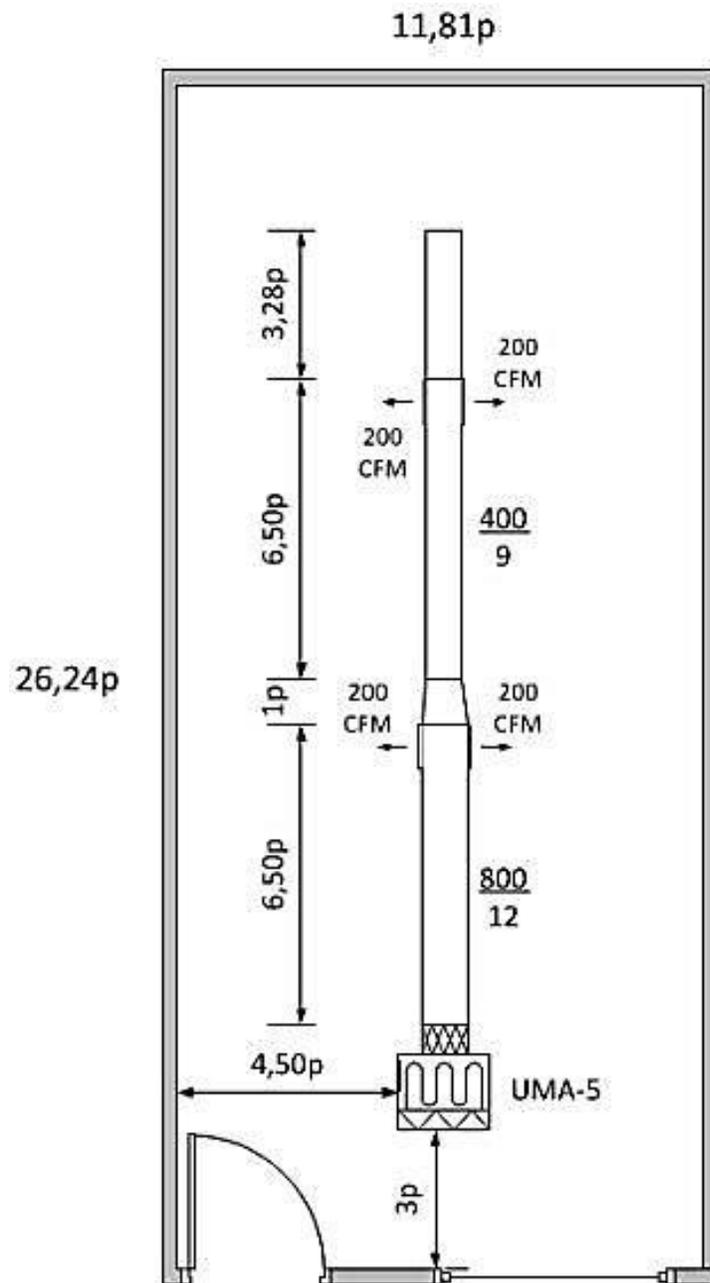
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 24. **Diseño de ductería para el dormitorio de guardia voluntaria damas**



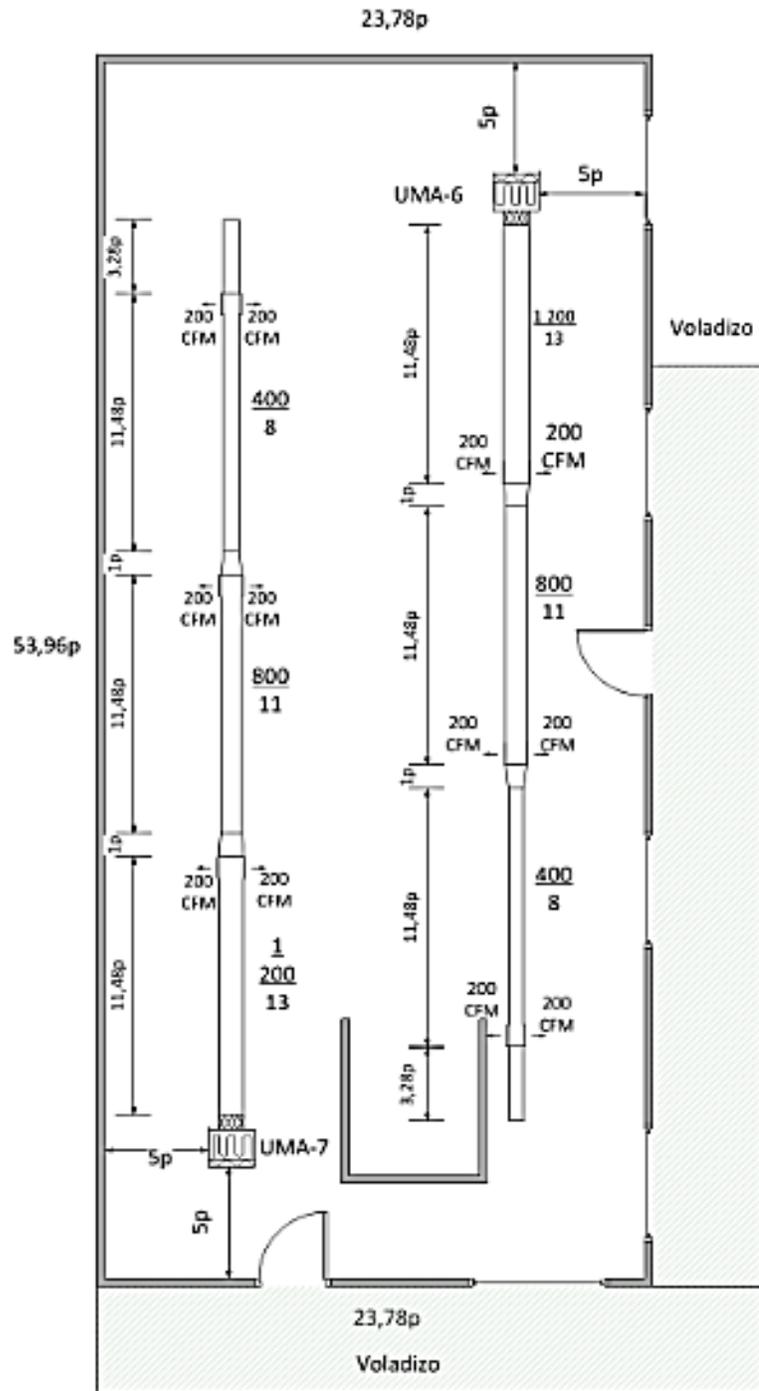
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 25. Diseño de ductería para la oficina administrativa



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 26. **Diseño de ductería para el salón de usos múltiples**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Para la fabricación de los ductos de aire, se plantea con lámina lisa galvanizada, calibre 26 y 28, las cuales son las de mayor comercio en Guatemala, con un ancho de tres pies y en longitudes de ocho y diez pies. El área superficial de los ductos se obtuvo sumando todas las áreas de los diferentes diámetros de los ductos, codos y transiciones.

Tabla XXV. **Cantidad estimada de láminas lisas galvanizadas para la fabricación de los ductos redondos de aire acondicionado**

UMA	Área superficial de los ductos por cálculo p^2	Calibre 26 y 28 de 3p*8p	Calibre 26 y 28 de 3p*10p
1	33,34	2	2
2	223,18	10	8
3	147,77	7	5
4	139,71	6	5
5	93,21	4	3
6	219,71	10	8
7	219,71	10	8
Cantidad total de láminas		49	39

Fuente: elaboración propia.

La diferencia del precio de las láminas calibre 26 y 28, será su espesor; siendo la de calibre 26 de mayor precio que la de calibre 28, posteriormente la diferencia de precio sobre los dos pies en sus longitudes.

7.7. Diseño de tubería de agua helada

Ubicación del equipo *chiller* de aire, es el aspecto principal a considerar antes del diseño de la tubería de agua helada, de acuerdo a su ubicación se debe observar la mejor distribución para los *fancoil* y reducir la cantidad de tubería empleada. Se propone la ubicación del *chiller* de aire a un costado del edificio A, ya que se presta para un rápido acceso en las conexiones eléctricas, fuente de agua y circulación del aire; aunque estos equipos están diseñados para instalarse en el exterior, techo o por debajo de nivel; únicamente el área debe estar libre de obstrucciones para que el aire circule adecuadamente a través del condensador.

Figura 27. Lugar de instalación del *chiller* enfriado por aire



Fuente: 29ª Compañía de Bomberos Voluntarios.

En las unidades enfriadas por aire es necesario observar las distancias mínimas que garanticen la ventilación apropiada en los condensadores. Los espacios limitados reducen el flujo de aire y pueden causar reducciones significativas en la capacidad de enfriamiento y un aumento en el consumo eléctrico. Por lo cual se debe evitar la recirculación del aire que sale del condensador.

Se recomienda mantener, por lo menos 4 pies entre dos *chiller* y 3 pies de cualquier pared exterior que pueda obstruir el flujo de aire a través de los serpentines. No se puede instalar ningún tipo de techo sobre las unidades. La unidad se debe situar en una base sólida y perfectamente nivelada.

Para el diseño de tubería para agua helada, se realizan los planos correspondientes para minimizar la cantidad de material y accesorios. En los cálculos de las tuberías y bomba, se emplea la ecuación de continuidad; para obtener los diámetros de las tuberías, se utilizará la ecuación de energía en la determinación de la potencia de la bomba de agua.

El caudal total de agua y el que debe circular por cada una de las tuberías; desde la bomba, hasta las unidades *fancoil* y utilizando una velocidad de 6,56 pies por segundo, ya que si se utiliza una velocidad de 9,84 pies por segundo se puede producir vibración en la tubería. Por información general se manejan 2,50 galones por minuto por cada tonelada de refrigeración requerida; contando con una capacidad del *chiller* de 17 toneladas de refrigeración; requiriendo un caudal total de 42,50 galones por minuto, en su equivalente a 0,094775 pies cúbicos por segundo para todo el sistema.

Los diámetros de las tuberías se obtienen por medio de la ecuación de continuidad: el caudal que ingresa a un sistema es igual al caudal que deberá salir al final de toda la línea de la cual se compone, en donde se determinan de la siguiente manera:

$$\phi = 12 * \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Donde:

- Q= caudal que circula en la tubería en p³/s
- Ø= diámetro de la tubería en plg
- V= velocidad del agua en la tubería en p/s

$$\phi = 12 * \sqrt{\frac{4 * 0,094775}{\pi * 6,56}} = 1,63 \text{ plg} \cong 2 \text{ plg}$$

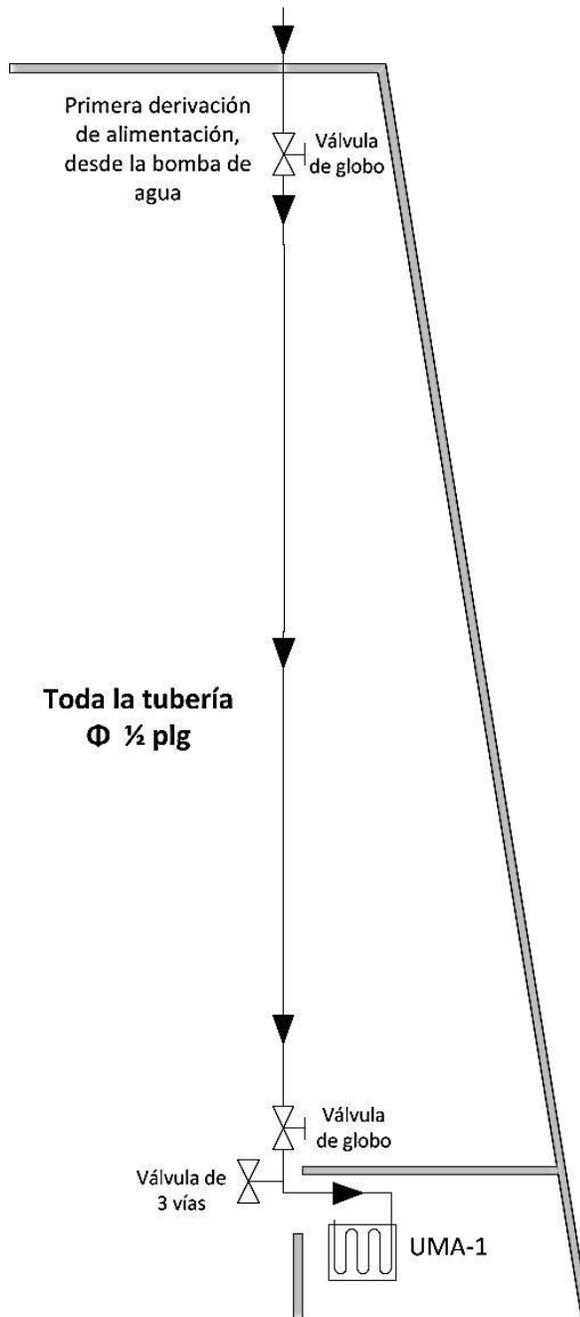
Los diámetros del resto de las tuberías se obtienen restando el caudal de agua que se dirige hacia cada UMA, para obtener así un diámetro de la línea de conducción, posteriormente el diámetro necesario para la tubería que se necesita en cada *fancoil*. Como los cálculos son igual al presentado anteriormente, se tabulan únicamente los datos restantes del sistema de alimentación de agua helada.

Tabla XXVI. **Caudal, diámetros de diseño y reales para las tuberías de alimentación de las unidades *fancoil***

Línea	Caudal gpm	Caudal p ³ /s	Diámetro de diseño plg	Diámetro real plg
Principal	42,50	94,775*10 ⁻³	1,63	2
UMA-1	1,875	41,8125*10 ⁻⁴	0,34	½
Menos UMA-1	40,625	90,594*10 ⁻³	1,59	2
UMA-4	6,25	55,75*10 ⁻⁴	0,62	¾
Menos UMA-1 y 4	34,375	70,656*10 ⁻³	1,46	1 ½
UMA-2	7,50	16,725*10 ⁻³	0,68	¾
Menos UMA-1, 4 y 2	26,875	59,931*10 ⁻³	1,29	1 ½
UMA-6	7,50	16,725*10 ⁻³	0,68	¾
Menos UMA-1, 4, 2 y 6	19,375	43,206*10 ⁻³	1,10	1 ¼
UMA-3	6,25	55,75*10 ⁻⁴	0,62	¾
Menos UMA-1, 4, 2, 6 y 3	13,125	29,269*10 ⁻³	0,90	1
UMA-5	5,00	4,46*10 ⁻³	0,56	¾
Menos UMA-1, 4, 2, 6, 3 y 5	8,125	18,119*10 ⁻³	0,61	¾
UMA-7	7,50	16,725*10 ⁻³	0,59	¾

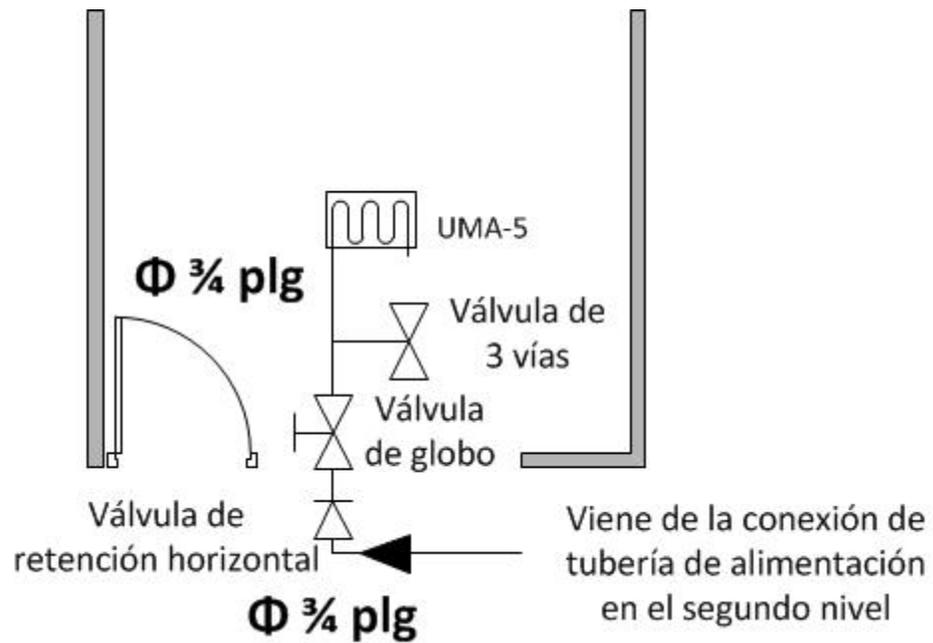
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Sistema de tubería de alimentación para jefatura, primer nivel, edificio A**



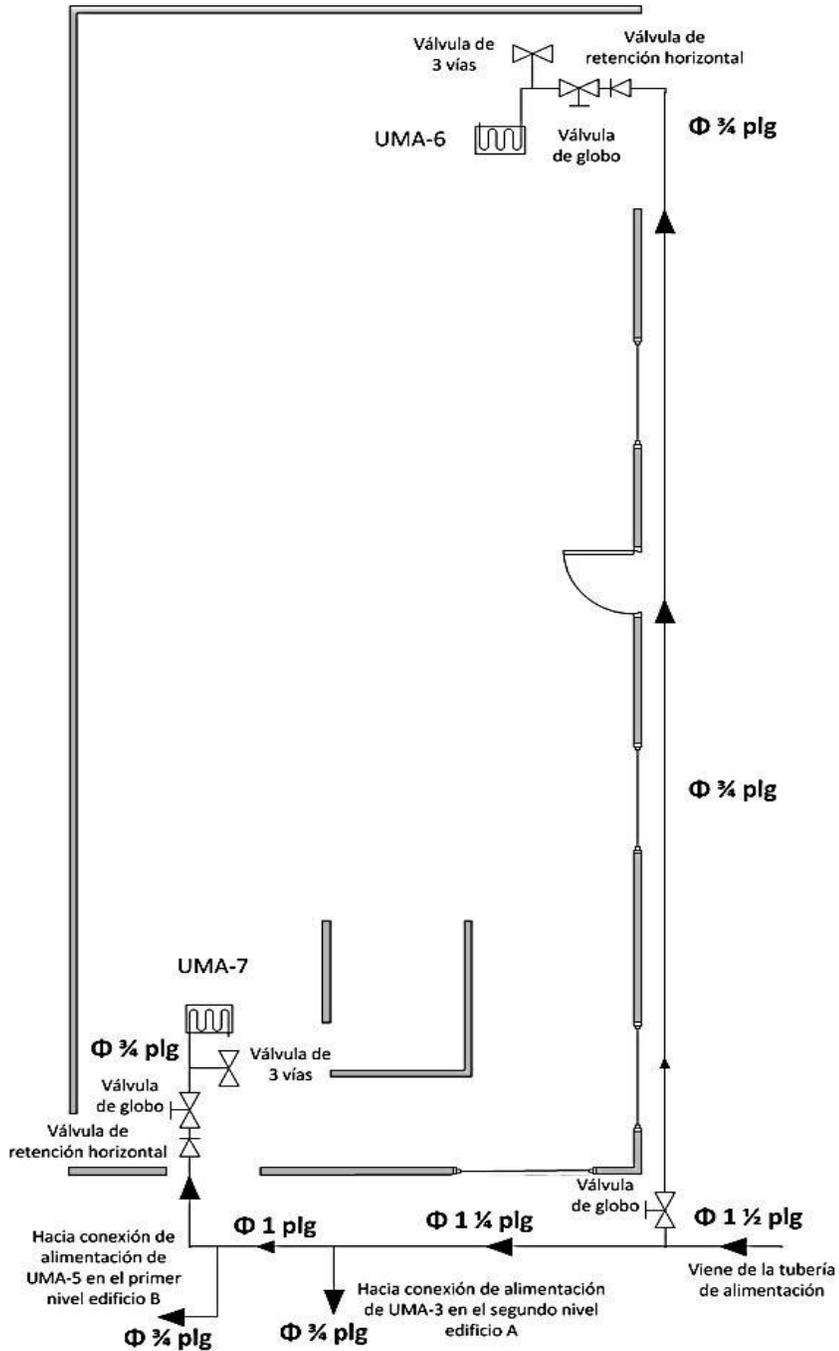
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 30. **Sistema de tubería de alimentación para oficina administrativa, primer nivel, edificio B**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 31. Sistema de tubería de alimentación para el salón de usos múltiples en el segundo nivel, edificio B



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Tabla XXVII. **Longitudes de tubería y accesorios para las líneas de alimentación de los *fancoil***

UMA	Diámetro real plg	Longitud p	Accesorios
1	½	60	3 codos estándar a 90° 2 válvulas de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
2	¾	45	2 codos estándar a 90° 2 válvulas de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
3	¾	10	1 codo estándar a 90° 1 válvula de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
4	¾	10	1 codo estándar a 90° 1 válvula de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
5	¾	25	3 codos estándar a 90° 1 válvula de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
6	¾	67	2 codos estándar a 90° 2 válvulas de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal
7	¾	12	1 codo estándar a 90° 1 válvula de globo, 1 T 1 válvula de retención horizontal

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Longitudes de tuberías y accesorios para las líneas de conducción de alimentación de agua helada**

Diámetro real plg	Longitud p	Accesorios
2	40	1 válvula de retención vertical 1 reductor de 2 plg a ½ plg 1 reductor de 2 plg a ½ plg 1 reductor de 2 plg a 1 ½ plg 3 codos estándar a 90° 2 T
1 ½	40	2 reductor de 1 ½ plg a ¾ plg 2 T
1 ¼	15	1 reductor de 1 ¼ plg a ¾ plg 1 reductor de 1 ¼ plg a 1 plg 1 T
1	15	2 reductor de 1 plg a ¾ plg 1 T

Fuente: elaboración propia.

Determinados todos los accesorios y longitudes de tuberías necesarios para la alimentación de agua helada hacia los *fancoil*, se calcula las pérdidas por fricción y localizadas en el sistema de alimentación; ya que es hasta el punto en donde se quiere llevar el agua para el servicio. Para las pérdidas localizadas se realizarán los cálculos, posterior al de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios.

Existen dos formas de obtener las pérdidas por fricción en las tuberías: por medio de las ecuaciones de Darcy-Weissbach y la de Hazen-Williams, siendo esta aplicable únicamente para trabajar con agua y diámetros restringidos desde dos pulgadas hasta seis pies únicamente.

Se determinan las pérdidas por fricción para la tubería de 2 pulgadas, será la única tubería con la cual se logre brindar el ejemplo de los dos métodos y posteriormente se determinarán las pérdidas únicamente por la ecuación de Darcy-Weissbach, ya que no existe restricción de diámetros para su operación, abarcando desde 2 pulgadas hasta 6 pies; debido a que el resto de las tuberías poseen diámetros menores a dos pulgadas.

Antes de realizar el cálculo de la pérdida por fricción, se debe determinar la longitud equivalente por accesorios, para lo cual se utiliza una tabla con valores en longitudes equivalente en diámetros.

Los valores de las longitudes equivalentes por accesorios se obtienen multiplicando el valor en longitud equivalente del accesorio por el diámetro, se brinda un ejemplo para los 3 codos estándar a 90 grados con diámetro de 2 pulgadas y longitud de 40 pies en tubería. Ver tabla XXIX.

$$L_{\phi} = \left(\frac{L}{\phi} \right)_{\text{accesorio}} * \phi$$

$$L_{\phi} = 3 * (30 * 2 \text{ plg}) = 180 \text{ plg} = 15 \text{ p} = 4,57 \text{ m}$$

Tabla XXIX. Longitudes equivalentes en diámetros para accesorios

Accesorios	Longitud equivalente en diámetros $\frac{L}{\phi}$
Válvula de globo (totalmente abierta)	340
Válvula de ángulo (totalmente abierta)	150
Válvula de compuerta:	
Totalmente abierta	8
$\frac{3}{4}$ abierta	35
$\frac{1}{2}$ abierta	160
$\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	45
Válvula de retención (totalmente abierta)	135
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio largo de 90°	20
Codo de radio corto de 90°	32
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar flujo a través de un tramo	20
Te estándar flujo a través de una rama	60

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la ingeniera Carmen Marina Mérida Alva, catedrática del curso de Hidráulica, segundo semestre 2011, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XXX. **Longitudes equivalentes por accesorios para las tuberías de alimentación**

Diámetro plg	L_{ϕ} plg	L_{ϕ} p	L_{ϕ} m
2	690,00	57,50	17,53
1 ½	90,00	7,50	2,29
1 ¼	75,00	6,25	1,91
1	60,00	5,00	1,53
¾	3 142,50	261,88	79,84
½	482,50	40,21	12,26

Fuente: elaboración propia.

Se presenta el cálculo de la pérdida por fricción en tubería de 2 pulgadas y agregando la longitud equivalente en accesorios a la longitud de 40 pies de tubería que componen el sistema, para obtener un valor de longitud equivalente; siendo de 97,50 pies igual a 29,73 metros.

Siendo la ecuación de Hazen-Williams igual a:

$$h_f = \frac{10,643 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * \phi^{4,87}}$$

Donde:

- h_f = pérdida por fricción en la tubería de alimentación y/o accesorios del sistema en metros.
- Q = caudal que se maneja en la tubería en m³/s.

- C = valor del coeficiente de Hazen-Williams, siendo un valor de 150 para PVC nuevo y 130 o 120, cuando ya tiene más de 20 años.
- L = longitud de la tubería o longitud equivalente en metros.
- \emptyset = diámetro de la tubería en metros.

$$h_f = \frac{10,643 * (0,0026813)^{1,85} * 29,73}{(120)^{1,85} * (0,0508)^{4,87}} = 1,58 \text{ m} = 5,18 \text{ p}$$

Siendo este valor con la ecuación de Hazen-Williams la pérdida provocada por la tubería y accesorios en la línea de alimentación de 2 pulgadas de diámetro.

A continuación se presenta el procedimiento del cálculo de pérdida por fricción en tubería y accesorios en la línea de alimentación de 2 pulgadas de diámetro con la ecuación de Darcy-Weissbach, siendo esta igual a:

$$h_f = \frac{f * L * V^2}{2 * g * \emptyset}$$

Donde:

- h_f = pérdida por fricción en la tubería de alimentación y/o accesorios del sistema en pies.
- f = factor de fricción para la tubería, se obtiene del diagrama de Moody.
- L = longitud de la tubería o longitud equivalente en pies.
- V = velocidad del flujo de agua en p/s.
- \emptyset = diámetro de la tubería en pies.
- g = valor de la gravedad, 32,18p/s².

Obtenidos los valores de las longitudes equivalentes del sistema, se utiliza el valor de la velocidad de 6,56 pies por segundo para todo el sistema; siendo una velocidad promedio para que el flujo del agua no genere vibración en las tuberías. Teniendo también que determinar el número de Reynolds y la aspereza relativa para obtener el valor de fricción de la tubería.

Siendo el número de Reynolds igual a:

$$N_R = \frac{V * \phi * \rho}{\mu} = \frac{V * \phi}{\nu}$$

Donde:

- N_R = valor del número de Reynolds, valor adimensional.
- V = velocidad del flujo de agua en p/s.
- ϕ = diámetro de la tubería en pies.
- ρ = valor de la densidad del fluido, siendo para el agua el valor de su densidad 1,94 slug/p³.
- μ = valor de la viscosidad dinámica del fluido, siendo para el agua el valor de 21,118*10⁻⁶ (Lb*s)/p² a 68 °F.
- ν = valor de la viscosidad cinemática del fluido, siendo para el agua el valor de 10,906*10⁻⁶ p² a 68 °F.

$$N_R = \frac{6,56 * 2/12}{10,906 * 10^{-6}} = 100\ 250$$

Siendo la aspereza relativa igual a:

$$A_r = \frac{\varepsilon}{\phi}$$

Donde:

- A_r = aspereza relativa del material, adimensional
- \emptyset = diámetro de la tubería en pies
- ε = valor de la rugosidad absoluta del material en pies

$$A_r = \frac{5,00 * 10^{-6}}{2/12} = 3,00 * 10^{-5} = 0,00003$$

Tabla XXXI. **Valores de rugosidad absoluta ε**

Material	Rugosidad absoluta p
PVC	$5,00 * 10^{-6}$
Cobre, plomo, latón	$5,00 * 10^{-6}$
Hierro fundido típico	$8,00 * 10^{-4}$
Hierro fundido revestido de asfalto	$4,00 * 10^{-4}$
Acero comercial o industrial	$1,50 * 10^{-4}$
Acero soldado	$1,50 * 10^{-4}$
Hierro forjado	$1,50 * 10^{-4}$
Acero remachado	$6,00 * 10^{-3}$
Concreto	$4,00 * 10^{-3}$
Hierro galvanizado	$5,00 * 10^{-4}$

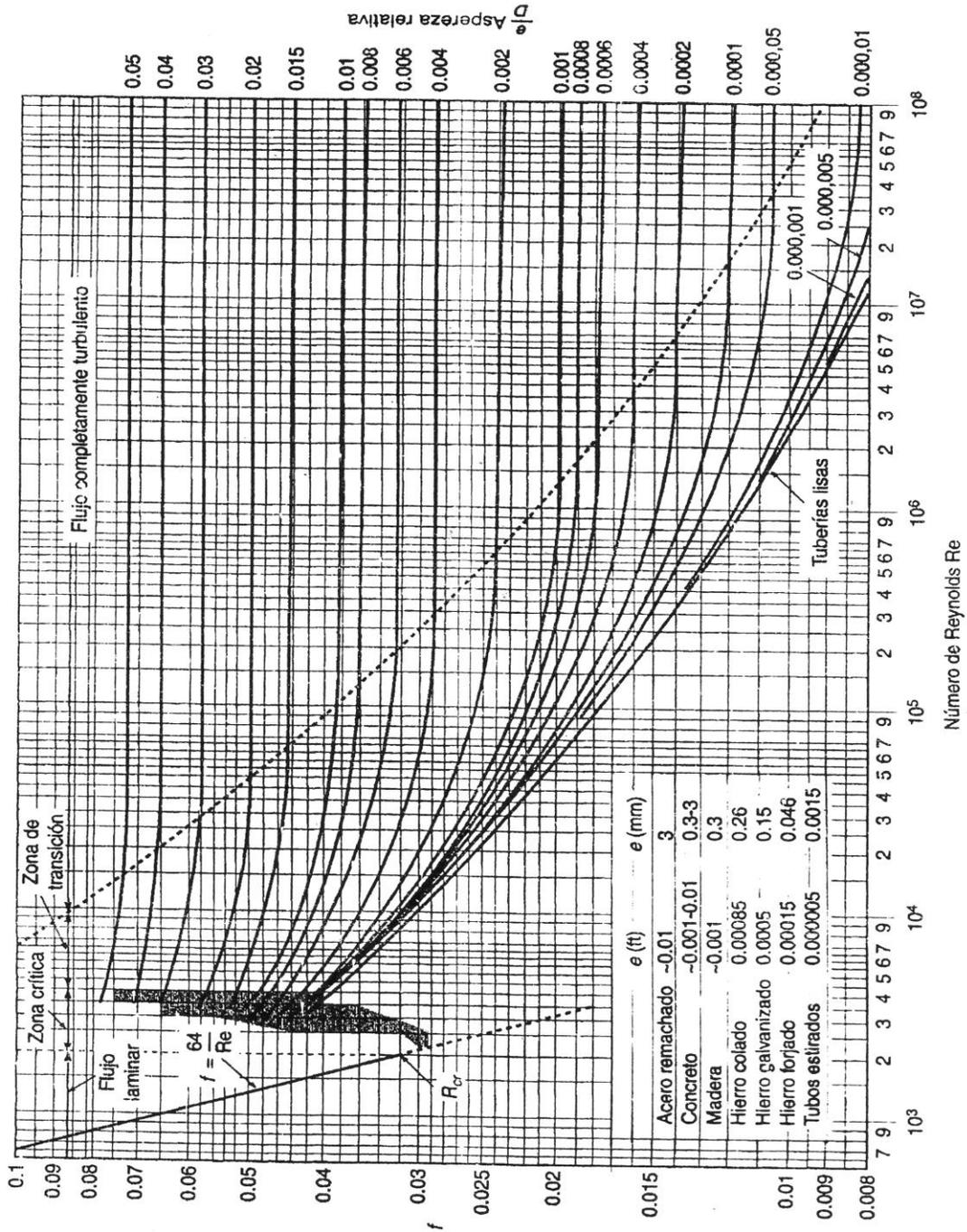
Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la ingeniera Carmen Marina Mérida Alva, catedrática del curso de Hidráulica, segundo semestre 2011, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Teniendo el valor del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, se emplea el Diagrama de Moody, el cual sirve para determinar el valor del factor de fricción de la tubería, trazando una línea vertical desde la horizontal correspondiente al N_R y siguiendo una trayectoria en curva desde la vertical derecha correspondiente a la aspereza relativa y definir el valor del factor de fricción de la tubería.

Obteniendo un valor del factor de fricción aproximado para la tubería de dos pulgadas a través de la figura 32. Diagrama de Moody, de:

$$f = 0,015$$

Figura 32. Diagrama de Moody



Fuente: proporcionada por la ingeniera Carmen Marina Mérida Alva, catedrática del curso de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La pérdida por fricción en accesorios y tuberías por Darcy-Weissbach es:

$$h_f = \frac{0,015 * 97,50 * (6,56)^2}{2 * 32,18 * \left(\frac{2}{12}\right)} = 5,87 p$$

Siendo el valor de la pérdida provocada por la tubería y accesorios en la línea de alimentación de 2 pulgadas de diámetro, obtenida por medio de la ecuación de Darcy-Weissbach.

Comparando los valores de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios por los dos métodos, siendo para Hazen-Williams 5,18 pies y para Darcy-Weissbach 5,87 pies, no difieren grandemente entre resultados, por lo cual se tomará el valor de Darcy-Weissbach y como el resto de tuberías son menores a 2 pulgadas de diámetro; se trabajará todo el cálculo de pérdidas por este método. Teniendo un ejemplo del procedimiento, se tabularán los resultados de las pérdidas en los demás accesorios y tuberías.

Tabla XXXII. **Pérdida por fricción en tuberías y accesorios de alimentación**

Ø plg	L p	N_R	A_r	f	h_fp
2	97,50	100 250	0,00003	0,015	5,87
1 ½	47,50	75 200	0,00004	0,019	4,83
1 ¼	21,25	63 000	0,000048	0,020	2,73
1	20,00	50 200	0,00006	0,020	3,21
¾	430,88	40 000	0,00008	0,022	101,41
½	100,21	25 000	0,00012	0,025	40,21
Pérdida total en tuberías y accesorios de alimentación					158,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Longitudes de tuberías, accesorios y diámetros reales para la línea de retorno hacia el tanque de expansión y alimentación a la bomba de agua**

Línea	Diámetro real plg	Longitud p	Accesorios
Retorno a partir de la unión de UMA-6 al tanque de expansión	2	37	1 reductor de 2 plg a 1 ½ plg 1 reductor de 2 plg a ¾ plg 6 codos estándar a 90° 1 T 1 válvula de retención horizontal
Alimentación a la bomba de agua	3	65	12 codos estándar a 90°

Fuente: elaboración propia.

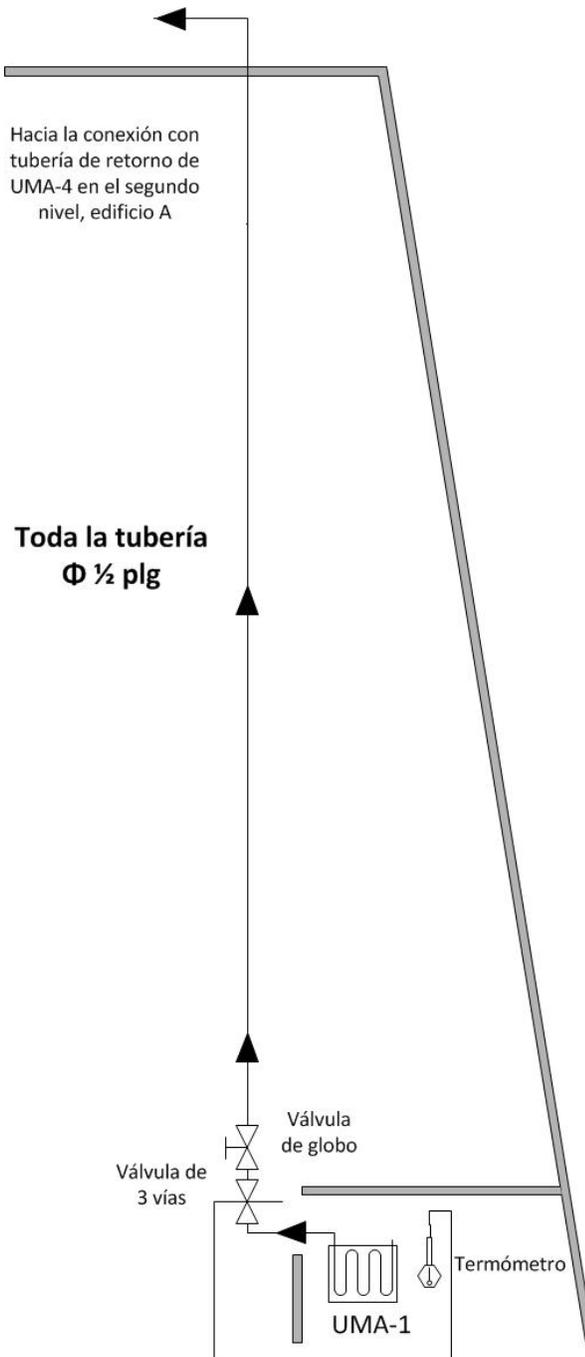
Tabla XXXIV. **Diámetros de diseño y reales para las tuberías de retorno**

UMA	Diámetro de diseño plg	Diámetro real plg
1	0,34	½
4	0,62	¾
1 + 4	0,71	¾
2	0,68	¾
1+4+2	0,98	1
3	0,62	¾
1+4+2+3	1,17	1 ¼
5	0,56	¾
1+4+2+3+5	1,29	1 ½
7	0,68	¾
1+4+2+3+5+7	1,46	1 ½
6	0,68	¾
1 a 6 (a tanque de expansión)	1,63	2

Fuente: elaboración propia.

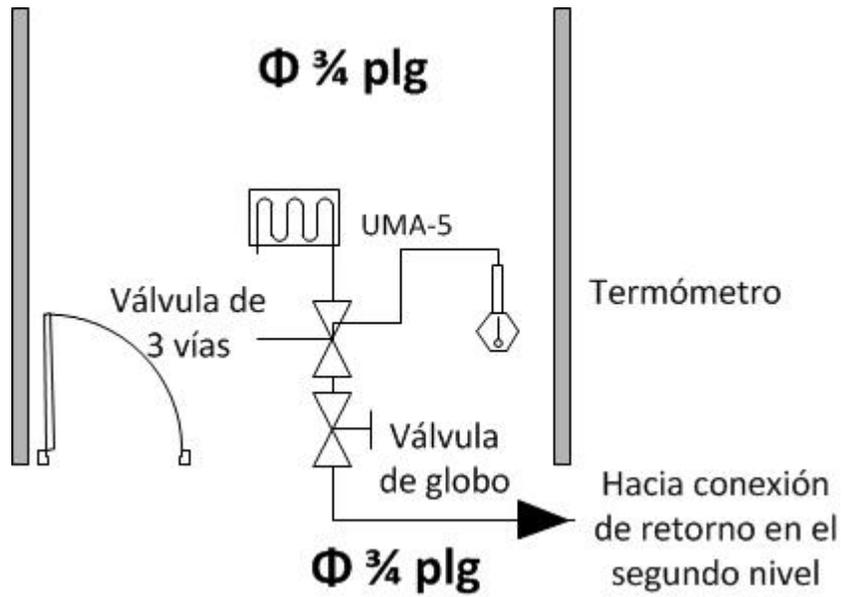
Asimismo, en cada tubería de retorno se plantea la instalación de una válvula de 3 vías, siendo controlada por un termómetro instalado en el recinto; la cual servirá para dirigir el flujo de agua helada hacia la línea de retorno cuando el recinto haya alcanzado la temperatura deseada; por consiguiente ya no circulará agua helada por el *fancoil*, sino que esta cambiará su sentido y así poder evitar una disminución de temperatura en el ambiente acondicionado y que se encuentre fuera de la temperatura de confort humano.

Figura 34. **Sistema de tubería de retorno para Jefatura, primer nivel, edificio A**



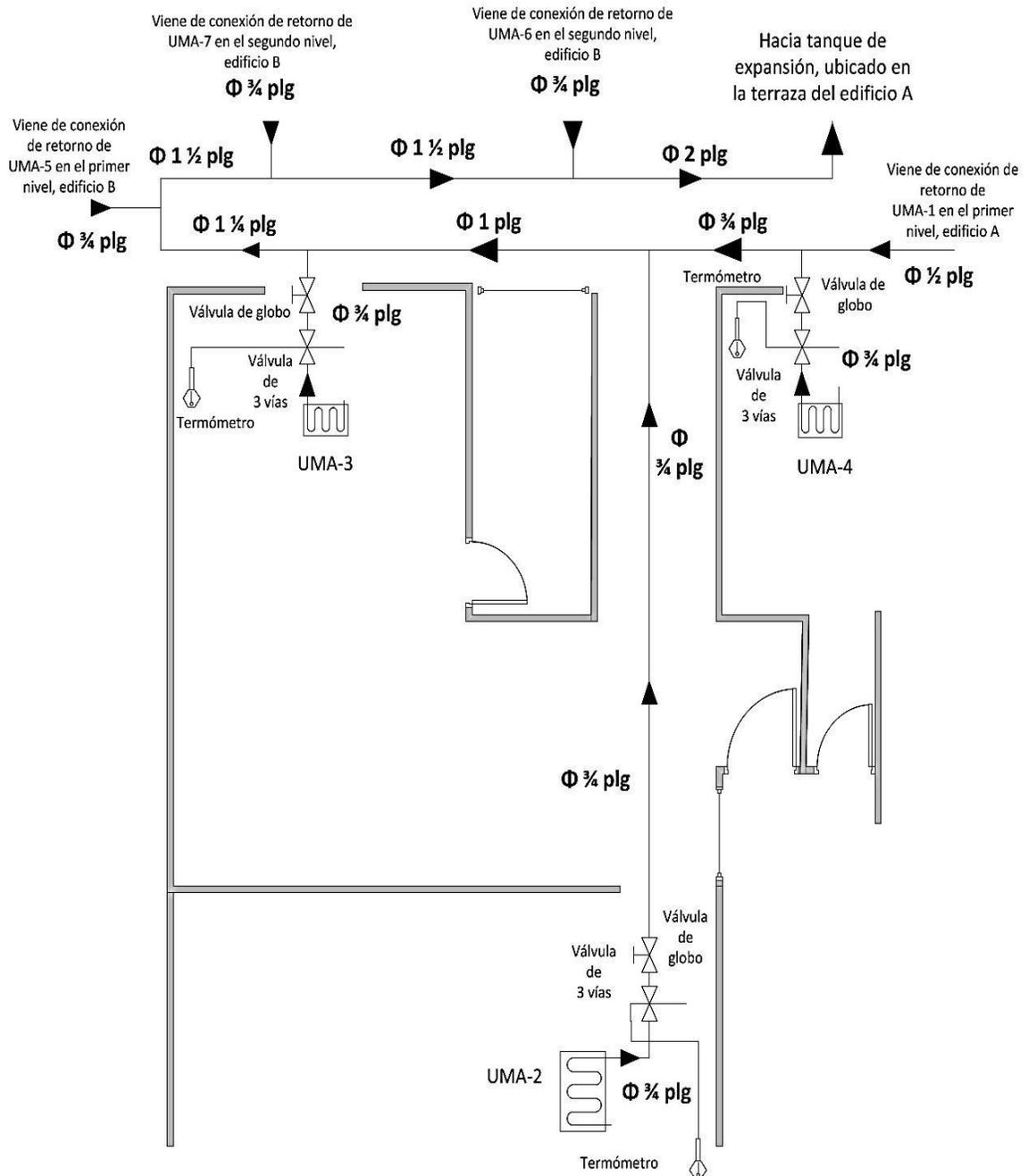
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Figura 35. **Sistema de tubería de retorno para oficina administrativa, primer nivel, edificio B**



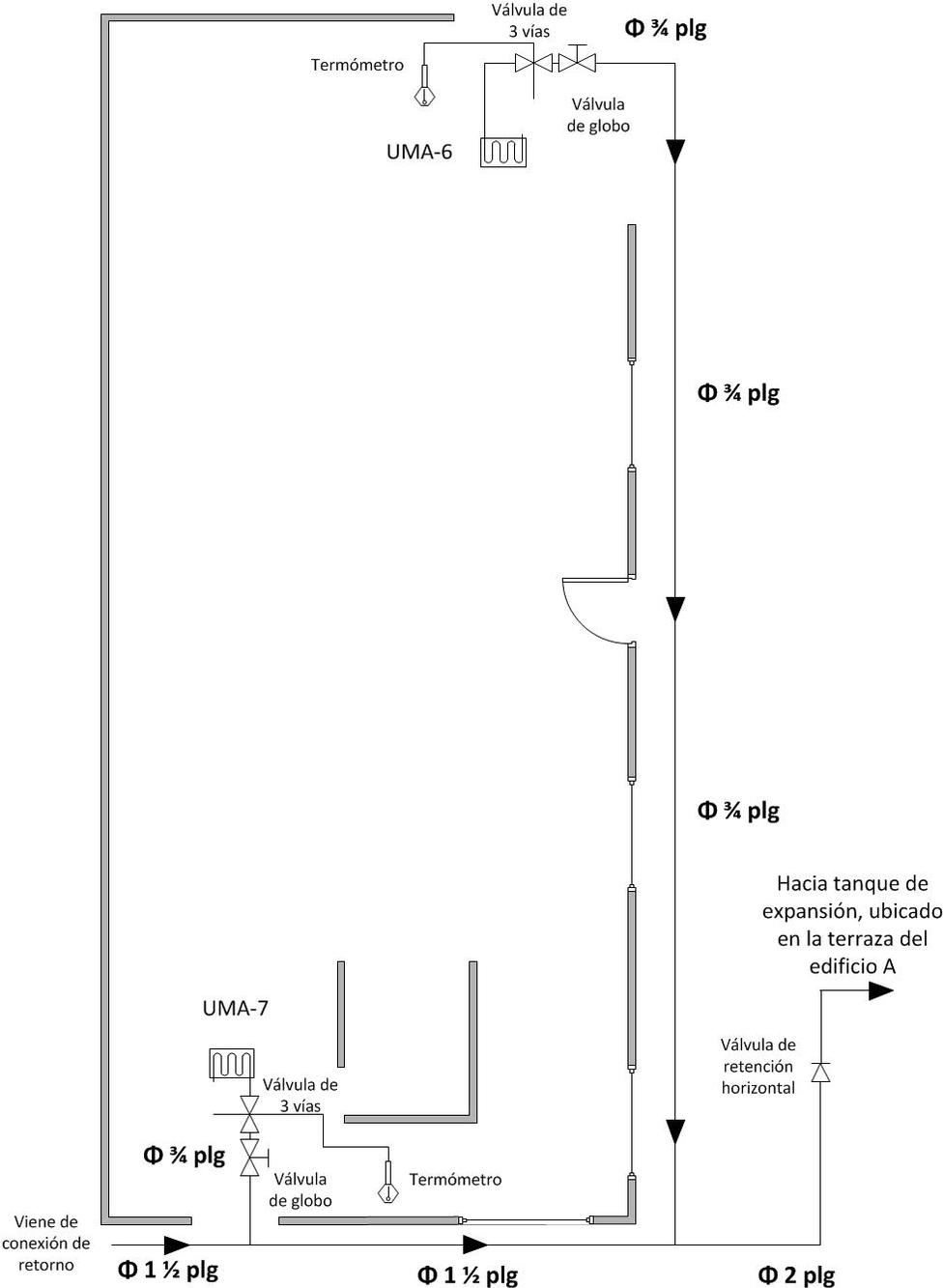
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Figura 36. Sistema de tubería de retorno del segundo nivel, edificio A



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Figura 37. Sistema de tubería de retorno para el salón de usos múltiples en el segundo nivel, edificio B



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Tabla XXXV. **Longitudes de tuberías y accesorios para las líneas de retorno de los *fancoil***

UMA	Diámetro real plg	Longitud p	Accesorios
1	½	63	3 codos estándar a 90° 1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
4	¾	12	1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
2	¾	47	1 codo estándar a 90° 1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
3	¾	12	1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
5	¾	27	3 codos estándar a 90° 1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
7	¾	14	1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías
6	¾	69	2 codos estándar a 90° 1 válvula de globo, 1T 1 válvula de 3 vías

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Longitudes de tuberías y accesorios para líneas de conducción de retorno**

UMA	Diámetro real plg	Longitud p	Accesorios
1 + 4	$\frac{3}{4}$	10	1 reductor de $\frac{3}{4}$ plg a $\frac{1}{2}$ plg 1 T
1+4+2	1	22	1 reductor de 1 plg a $\frac{3}{4}$ plg 1 T
1+4+2+3	$1 \frac{1}{4}$	10	1 reductor de 1 plg a $\frac{3}{4}$ plg 1 reductor de $1 \frac{1}{4}$ plg a $\frac{3}{4}$ plg 1 T
1+4+2+3+5	$1 \frac{1}{2}$	10	1 reductor de $1 \frac{1}{2}$ plg a $1 \frac{1}{4}$ plg 1 reductor de $1 \frac{1}{2}$ plg a $\frac{3}{4}$ plg 1 T
1+4+2+3+5+7	$1 \frac{1}{2}$	21	1 reductor de $1 \frac{1}{2}$ plg a $\frac{3}{4}$ plg 1 T

Fuente: elaboración propia.

Los reductores de sección para las tuberías de retorno, debido a que se acumulará el flujo, cumplen la función de dilatadores de sección; es decir que, en vez de reducir un flujo y su diámetro, estos dos se incrementan.

7.8. Capacidad de la bomba de agua

Teniendo el valor de la altura a la que se ubicará el tanque de expansión, más la pérdida por fricción en tuberías y accesorios que componen el sistema de alimentación, se procede a determinar la capacidad de la bomba de agua, con la ecuación de la energía. Siendo:

$$Z_A + \frac{144 * P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2 * g} + H_B = Z_B + \frac{144 * P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2 * g} + h_f + h_{IC}$$

Donde:

- Z = altura de acuerdo al punto de referencia en pies
- V = velocidad del flujo de agua en p/s
- γ = peso específico del fluido, 62,40 Lb/p³
- P = valor de la presión manométrica del sistema en psi
- g = valor de la gravedad, 32,18 p/s²
- H_B = valor de la carga de la bomba de agua en pies
- h_f = pérdida de fricción en las tuberías y accesorios en pies
- h_{IC} = pérdida que se produce en el intercambiador de calor en pies

Se toma como punto de referencia el nivel de la bomba de agua, denotando el punto A con un valor de cero y la altura para el punto B de 26 pies, siendo el nivel del tanque de expansión; la velocidad del agua en el punto A será de 6,56 pies por segundo y en punto B es de cero, ya que es en el tanque de expansión en donde se mide la velocidad del fluido.

La presión en el punto A será medido desde la entrada a la bomba de agua, siendo la altura del tanque la que infringirá la presión en la entrada, eliminando el valor de 144 que es el factor que convierte libras por pulgada cuadrada (psi), en libras por pie cuadrado (psf).

La presión que se emplea para el cálculo es la carga de la altura expresada en pies; se encuentra en el tanque de expansión, sabiendo que la presión es igual al producto de la altura por el peso específico del fluido y en el punto B será de cero, por encontrarse a la intemperie; la caída de energía que se genera en el intercambiador de calor no debe ser mayor a 20 pies de acuerdo a datos de fabricantes de chillers, información ubicada en el anexo 4.

El valor de la pérdida por fricción se encuentra en la tabla XXXII, siendo un valor de: 158,26 pies.

La carga en altura ejercida por la bomba de agua es de:

$$0 + \frac{62,40 * 26}{62,40} + \frac{(6,56)^2}{2 * 32,18} + H_B = 26 + \frac{144 * 0}{62,40} + \frac{(0)^2}{2 * 32,18} + 158,26 + 20$$

$$H_B = 177,591 p$$

Siendo este el valor de la carga generada por la bomba de agua para satisfacer las necesidades del equipo, para lo cual se debe convertir a potencia desarrollada y al eje en HP.

Para obtener el valor de la potencia desarrollada y al eje, se realiza por medio de:

$$P_{DS} = \frac{H_B * Q * \gamma}{550}$$

$$P_{eje} = \frac{P_{DS}}{\eta}$$

Donde:

- P_{DS} = potencia desarrollada por la bomba en HP.
- Q = caudal total del flujo de agua en p³/s.
- γ = peso especifico del fluido, 62,40 lb/p³.
- H_B = carga generada por la bomba de agua en pies.
- P_{eje} = potencia al eje de la bomba en HP.
- η = valor de la eficiencia de la bomba, las cuales tienen un máximo de 65 %.

Quedando por lo tanto los valores de cálculos para la potencia desarrollada y al eje de:

$$P_{DS} = \frac{177,591 * 0,094775 * 62,40}{550} = 1,91$$

$$P_{eje} = \frac{1,91}{0,65} = 2,93$$

Estos valores calculados para las potencias de la bomba, no se encontrarán en el mercado, por lo cual, para la potencia desarrollada deberá ser de 2 caballos de potencia y la potencia al eje de 3 caballos de potencia, ya que es una bombas de agua que se encuentra disponible en el mercado guatemalteco.

Para determinar los diámetros de las tuberías de retorno del sistema de agua, al igual que con las líneas de alimentación; se utiliza la ecuación de continuidad para obtener los diámetros, así como en cada punto en donde se da una unión de la tubería de retorno de un *fancoil*; se suma el caudal del mismo para obtener el nuevo diámetro y sucesivamente.

8. MANUALES

Para la elaboración de la guía de operación y del plan de mantenimiento, se detallan las guías y planes básicos de los equipos, ya que de acuerdo a la marca difieren en ciertos aspectos; así como su operación y mantenimiento.

“Para asegurar la operación apropiada y la máxima capacidad del sistema, además de evitar daño a los componentes instalados en el sistema, se debe establecer e implementar un programa de inspecciones periódicas”.²⁶

8.1. Guía de operación

La guía de operación no consta más que de una serie de pasos que sirven para colocar en marcha el equipo y aspectos que no se deben pasar por alto antes de un funcionamiento que pueden provocar serios daños al equipo. Entre los pasos están los siguientes:

- Verificar que las líneas de conexión eléctrica hacia el *chiller* no se encuentren dañadas y que los fusibles e interruptores estén bien, usted tiene que cumplir con las normas de seguridad.
- Verificar que el interruptor de flujo está instalado y trabajando adecuadamente.

²⁶ Commercial Air Products. *Manual de instalación y operación de chillers*. <http://www.commercialaire.com/images/pdf/cap%20catalogos%20en%20espa%2584ol/chillers/manuales%20de%20operacion/io%20chillers%20spanish.pdf>. Consulta: noviembre de 2013.

- Revisar que el cedazo está instalado y localizado apropiadamente: estar seguro que posee una válvula de limpieza para limpiarlo sin parar el sistema.
- Verificar los elementos de seguridad: la unidad debe poseer interruptores de alta y baja presión y estos se conectan al panel de control.
- Verificar que no haya fugas de agua en el sistema, válvulas, accesorios y tuberías antes de arrancar el equipo.
- Limpiar las líneas de tubería y asegurarse que están libres de basura y cualquier elemento extraño al sistema que pueda dañar los componentes tales como: bombas, intercambiadores de calor, válvulas etc.
- Hacer circular agua por gravedad hasta donde permita el sistema y que se pueda eliminar aire que se encuentre en el sistema.
- Arrancar la bomba de agua y drenar todo el aire restante del sistema. La bomba parará si el interruptor de flujo abre; reiniciar el sistema y repetir la operación tantas veces como sea necesario hasta estabilizarlo.
- Estar seguro que el agua circula constante y libremente antes de arrancar el sistema de refrigeración; de no ser así, se puede producir hielo en el intercambiador de calor.
- Limpiar los cedazos tantas veces como sea necesario, hasta asegurarse que el sistema está libre de basura y el agua está limpia

- Verificar que el aceite del cárter se encuentre caliente para que este logre realizar una buena lubricación en las piezas móviles del compresor antes de su puesta en marcha.
- Arrancar el *chiller* y verificar la configuración del microprocesador que controla la unidad.
- Verificar todos los parámetros y el rendimiento de la unidad.
- Copiar todos los parámetros de arranque y operación en la lista de servicio.
- Todos los sistemas de tubería en donde se utiliza agua para acondicionar aire deben tener al menos 10 por ciento de etilenglicol aun en climas con temperaturas superiores a las de congelamiento.

8.2. Plan de mantenimiento

Para asegurar una operación apropiada y máxima capacidad de rendimiento del equipo y evitar daño a los componentes instalados, se debe implementar un programa de inspecciones que van desde visitas periódicas hasta llegar a un mantenimiento correctivo. Se describe una lista de procesos que pueden servir en un correcto mantenimiento de un equipo *chiller*.

Verificar la instalación de la unidad: se debe asegurar que la unidad está nivelada y la tubería está instalada de acuerdo con los planos y requerimientos en su montaje.

“No todo el mantenimiento del aire acondicionado es limpieza, se debe controlar la carga de gas, las presiones de funcionamiento, controlar el consumo eléctrico, la prueba de todos los componentes eléctricos y mecánicos, el perfecto funcionamiento de los rodamientos. Es fundamental el control operativo del aire acondicionado, de esta manera se ahorra energía y se alarga la vida útil de los equipos”.²⁷

En el circuito de refrigeración se debe verificar el ojo visor instalado en las líneas de líquido refrigerante del circuito de refrigeración; para asegurarse de que estén llenas y sin burbujas. Si el indicador muestra que el sistema tiene humedad o si muestra burbujas, aunque el sistema esté cargado, se debe reemplazar el filtro secador que se encuentra instalado en este circuito.

Se puede instalar un interruptor de flujo a la entrada o salida del intercambiador de calor para detectar si existe un flujo del refrigerante a través de él, antes de que la unidad se coloque en marcha; esto evitará que los compresores reciban líquido durante la etapa de arranque y evitará la formación de hielo si el flujo de agua se interrumpe durante la operación. Los interruptores de flujo se ofrecen como una opción en los *chiller*, los cuales pueden ser instalados por los fabricantes. El interruptor de flujo se conectará a los terminales normalmente abiertos provistos en la caja de conexión eléctrica. El contacto normalmente cerrado se puede usar para instalar una alarma para el sistema.

²⁷ Aires acondicionado. *Mantenimiento de equipos de aire acondicionado*. http://airesacondicionado.com/mantenimientodeaireacondicionado_split_central_surey_carrier.htm. Consulta: noviembre de 2013.

El cedazo es una malla fina que se instala generalmente en la entrada a la bomba de agua o al intercambiador de calor para prevenir que la basura que logra ingresar al sistema de agua obstruya las tuberías o el circuito, este deberá ser revisado y limpiado regularmente.

Con los mandos eléctricos conectados es altamente peligroso dar servicio de mantenimiento al equipo; por lo cual se recomienda desconectar toda línea eléctrica dentro del panel de control y de servicio al mismo.

El mantenimiento a los compresores es de vital importancia, ya que sin este equipo no se podría bajar las temperaturas, debe inspeccionar que no existan vibraciones, ni fugas y verificar su nivel de aceite (de ser un compresor abierto o semihermético).

El calentador del cárter tiene como función primordial mantener la viscosidad apropiada en el aceite lubricante durante el tiempo que se encuentra sin funcionar pues de lo contrario podría producirse un daño en el compresor debido a la reducción de lubricación en las partes en movimiento. El calentador se energiza cuando el compresor se apaga.

La válvula de expansión, igual que el solenoide, normalmente no requiere reemplazo, pero si lo requiere, se debe seguir el mismo procedimiento del reemplazo del filtro para cambiarla. Si el problema se localiza en el elemento eléctrico, este se puede reemplazar, destornillándolo después de recoger el refrigerante. Tomar en cuenta que el ajuste de la válvula de expansión solo debe ser realizado por personal calificado.

Los filtros secadores se encuentran instalados en cada circuito de refrigeración y se deberán reemplazar cuando se lea una caída de presión a través del filtro o en el momento que existan burbujas en el ojo visor. Un filtro obstruido parcialmente puede causar funcionamiento anormal del compresor. La caída máxima de presión recomendada a través del filtro cuando opera a 75 a 100 por ciento de capacidad, es de 10 libras por pulgada cuadrada. Cuando opera entre 25 y 50 por ciento la caída no debe exceder de 5 libras por pulgada cuadrada. El filtro también deberá cambiarse, cuando el ojo visor indica exceso de humedad cambiando de color. Durante los primeros meses de operación, el cambio del filtro puede ser necesario si la caída de presión a través del filtro, excede los parámetros mencionados.

El ojo visor de refrigerante se debe verificar periódicamente (una observación semanal es adecuada). Un ojo visor limpio indica que la carga de refrigerante es adecuada para llenar la válvula de expansión. Refrigerante burbujeante en el ojo visor, durante la operación estable del sistema, indica baja de refrigerante. Burbujeo de refrigerante también puede indicar caída de presión excesiva en la línea de líquido, posiblemente debido a un filtro sucio o alguna restricción en la línea de líquido. Si esta situación persiste, se deberá reemplazar el filtro.

La válvula de expansión termostática permite que entre al intercambiador de calor la cantidad apropiada de refrigerante, independientemente de la carga del sistema. Esto lo hace manteniendo un *superheat* constante. Todos están regulados de fábrica para mantener entre 7 y 12 grados de *superheat*.

Si es necesario aumentar la regulación del *superheat*, remueva la tapa de arriba de la válvula para destapar el tornillo de ajuste. Dele vuelta al tornillo en dirección de las manecillas del reloj, mirándolo desde la parte de arriba, para aumentar el *superheat* y contra las manecillas para disminuirlo. Permita que el sistema se balancee después de cada ajuste.

Los condensadores enfriados por aire están contruidos con tubos de cobre con aletas de aluminio. No se requiere mantenimiento en sí, excepto la eliminación de la basura en la parte externa de las aletas. Generalmente se realiza un aseo con algún agente químico, se debe tener precaución cuando se usan estos limpiadores, los mismos pueden contener químicos potencialmente peligrosos. Debe tenerse especial cuidado para no dañar las aletas del serpentín.

La bomba de agua debe ser inspeccionada mensualmente y lubricar los cojinetes por sus graseras (de ser disponibles), evitar que entre basura al sistema para no dañar el impulsor prematuramente. También, que no existan vibraciones en la cimentación y la inspección de las juntas universales de goma para la unión entre la tubería de alimentación y descarga con la bomba de agua.

Los filtros de aire de los *fancoil* deben ser inspeccionados para denotar en que lapso de tiempo, les debe brindar mantenimiento, los cuales consiste en aplicar una descarga de aire comprimido en sentido contrario al flujo de aire de suministro de trabajo, así poder eliminar toda partícula que obstruya el paso del aire o en cierto caso, ya se encuentre muy sucio u obstruido; deberá ser reemplazado.

Las tuberías de agua helada deberán estar aisladas, para evitar la pérdida de eficiencia, garantizar la calidad del agua fría hacia los *fancoil* y aprovecharlo para llevar a la zona de confort los recintos. Por lo que el mantenimiento a las tuberías solo se requiere si la bomba de agua fallará o el aislamiento se arruina.

“Se recomienda hacer el mantenimiento del aire acondicionado 1 vez por año en equipos de aire que necesiten un mantenimiento mínimo, para equipos centrales o tipo *fancoil* se recomienda realizar un mantenimiento preventivo o correctivo de acuerdo a cada necesidad. Utilizando el mayor beneficio del sistema de aire acondicionado y calefacción con la recomendación de profesionales.

El mantenimiento de las unidades de aire acondicionado y calefacción no es un gasto es una inversión que perdura con el tiempo”.²⁸

Algo muy importante en lo que se refiere al servicio o mantenimiento de los equipos *chiller*, debe ser realizado únicamente por personal calificado, debido a que son equipo industriales y que no cualquier persona posee conocimiento de su operación y de no brindársele un buen servicio de mantenimiento, este puede sufrir algún daño o fallar en su funcionamiento.

²⁸ Aires acondicionado. *Mantenimiento de equipos de aire acondicionado*. http://airesacondicionado.com/mantenimientodeaireacondicionado_split_central_surey_carrier.htm. Consulta: noviembre de 2013.

CONCLUSIONES

1. La capacidad del equipo *chiller* enfriado por aire se obtuvo de acuerdo a consideraciones sobre las cargas térmicas generadas; como la actividad del personal, paredes, ventanas, infiltraciones, aparatos eléctricos y electrónicos que se encuentran en los diferentes recintos que constituyen las instalaciones. Para lo cual su dimensionamiento se define de acuerdo a la capacidad de los equipos que se encuentran para el mercado de Guatemala, ya que estos están comprendidos entre 10, 15, 17 y 20 toneladas de refrigeración; aunque existen equipos de mayor dimensionamiento. Siendo de 17 toneladas de refrigeración el apto para las necesidades del acondicionamiento del aire y lograr el confort humano, bajo los parámetros en que se basó el diseño y cálculo.
2. Para la ubicación del equipo *chiller* enfriado por aire no se necesita que se encuentre techado directamente, sino un punto que permita un fácil acceso para las conexiones eléctricas, toma de agua para suplir la demanda del volumen de agua necesaria en el sistema y de un espacio libre para la buena circulación del aire ambiente que enfriarán los condensadores; ya que ese flujo de aire no deberá recircular hacia los condensadores.

3. La instalación de los *fancoil* deberá de realizarse lo más cercano posible a la pared trasera del edificio A y la pared frontal del edificio B, para hacer un sistema de ductos de aire propicios a los recintos que se acondicionarán y lograr una distribución adecuada del aire acondicionado en cada espacio. Asimismo, para ayudar a reducir la cantidad de tubería necesaria para la conducción del agua helada hacia cada unidad *fancoil*, preferiblemente, que se coloque aislante de una pulgada de espesor, para evitar pérdidas de calor por conducción en las líneas de alimentación y las líneas de retorno hacia el tanque de expansión ubicado en la terraza del edificio A.

4. La fabricación de los ductos de aire se realiza con lámina lisa galvanizada, ya que esta presta la propiedad de maleabilidad y con la cual se puede obtener la forma deseada para el ducto redondo, codos y transiciones que se requieren en el sistema. Para disminuir los costos, el calibre adecuado a usar será el 28, ya que se presta para el servicio y por no ser un equipo el cual deberá soportar cargas, más que el propio flujo de aire. Las 39 láminas de calibre 28, con dimensiones de tres pies de ancho por diez pies de longitud que se obtuvieron es el total del área superficial del sistema de ductos, sin tomar en cuenta que se necesitará material debido a los cortes, curvaturas y dobleces que se requieran para la fabricación de ellos.

5. Las guías para mantenimiento y operación de un equipo *chiller* se detallaron en general; ya que se desconoce la marca del equipo que se empleará de acuerdo al tipo de inversión que estén dispuestos a llevar a cabo, entre las cuales están York y Carrier, siendo estas las marcas de mayor aplicación y compra en Guatemala, de acuerdo al factor marca dependerá el modo de operación y el tiempo de mantenimiento. Para lograr tener en óptimas condiciones de trabajo y prolongar la vida de un equipo *chiller*, ya que es un equipo delicado y que no cualquier persona la trabaja o brinda servicio.

RECOMENDACIONES

1. Para la futura persona que realice un proyecto o diseño con equipo *chiller*, independientemente si es enfriado por agua o aire; deberá encontrar una manera o algún documento fiable que le garantice la información sobre estos equipos, ya que la disponibilidad de conseguirla en nuestros medios es demasiado escasa; debido a que las empresas que distribuyen estos equipos en Guatemala no brindan información al respecto, mirando al estudiante como una competencia en su mercado y no para el desarrollo de su proyecto y conocimiento de estos equipos, existiendo muy pocas empresas que se dedican a trabajar ciertas marcas y capacidades, a menos que conozca una persona que pueda facilitarle el acceso a este tipo de información.
2. De adquirir el equipo *chiller* enfriado por aire, será de beneficio; tanto para los propietarios y fabricantes/proveedores, trabajar en equipo para el respaldo de la garantía, mantenimiento y un correcto funcionamiento del equipo.
3. Las personas encargadas de las instalaciones correspondientes de un equipo *chiller* enfriado por aire, tales como: cimentaciones, montaje, conexiones de agua, electricidad y mantenimiento del mismo, deberán velar para prevenir posibles accidentes y mal funcionamiento, las personas deberán ser capacitadas en el manejo y montaje, mejor si pueden ser supervisadas por profesionales en sus respectivas áreas.

4. En la instalación de los ductos de aire, entradas y retornos de las líneas de agua sobre el techo del recinto, tener ciertas precauciones y conocer las rutas de las conexiones eléctricas, agua potable, drenajes con las que ya disponen la Compañía y evitar accidentes; dejando un espacio considerable para el futuro manejo de herramientas en el montaje y/o reparación de los mismos.

5. Al realizar un proyecto en donde el diámetro de las tuberías sea mayor a dos pulgadas y menor a seis pies, realizar el cálculo de las pérdidas por fricción por medio de los métodos de Darcy-Weissbach y Hazen-Williams, para conocer que tanto difieren los valores entre ambos métodos; ya que en este diseño no se realizaron cálculos con tuberías de diámetros mayores a dos pulgadas, debido a la baja capacidad que se requiere en toneladas de refrigeración del equipo *chiller*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aires acondicionado. *Mantenimiento de equipos de aire acondicionado* [en línea]. http://airesacondicionado.com/mantenimientodeaireacondicionado_split_central_surey_carrier.htm. [Consulta: noviembre de 2013].
2. Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. Madrid: Prentice-Hall Internacional, 1979. 873 p.
3. BURGESS, Jennings; LEWIS, Samuel. *Air Conditioning and Refrigeration*. 4a ed. Scranton, Pennsylvania: International Textbook Company, 1965. 694 p.
4. Carly. *Condensador enfriado por agua* [en línea]. <http://www.carly-sa.es/-Nueva-gama-de-condensadores-.html>. [Consulta: julio de 2013].
5. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill. 2009. 1 011 p.
6. Comercializadora Manval. *Refrigerante R22* [en línea]. <http://www.manval.cl>. [Consulta: octubre de 2013].
7. Coolmate. *Refrigerante R134a* [en línea]. <http://www.lyrefrigerant.es>. [Consulta: octubre de 2013].

8. DORREGARAY PORTILLA, Gustavo. *Diseño del sistema de aire acondicionado de una oficina zonal pública en Pucallpa*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2008. 66 p.
9. Dyrect Industry. *Condensadores enfriados por aire* [en línea]. <http://www.directindustry.es/prod/alfa-laval/condensadores-refrigerados-por-aire-16602-426740.html>. [Consulta: septiembre de 2013].
10. ELÍAS GRAMAJO, Elwin Ildelfonso. *Rediseño del sistema de aire acondicionado y ventilación forzada para el bloque operatorio e intensivo del Centro Médico Militar*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 77 p.
11. Equipos Industriales. *Guía práctica para reparación y mantenimiento*. Tomo 1. México: McGraw-Hill. 1988. 246 p.
12. HERNÁNDEZ GORIBAR, Eduardo. *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. México: Limusa. 2009. 464 p.
13. KARASSIK, Igor; CARTER, Roy. *Bombas centrífugas, selección, operación y mantenimiento*. México: CECOSA. 1980. 555 p.
14. LEÓN SUÁREZ, José. *Chiller* [en línea]. <http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>. [Consulta: octubre de 2013].

15. LÓPEZ MAZARIEGOS, Edwin Steward. *Diseño e instalación del sistema de ductería para la distribución de aire acondicionado dado por cuatro manejadoras en almacenes Carrión*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 97 p.
16. MARTIN CHOC, Williams Giuviny. *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 de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 155 p.
17. MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. México: Limusa Wiley. 2007. 622 p.
18. Mitchell Information Services, Inc. *Manual de reparación de sistemas de aire acondicionado automotrices*. Tomo 1. México: Prentice-Hall Hispanoamericana. 1991. 138 p.
19. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*, 2a ed. México: CECSA. 1994. 548 p.
20. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Albert. *Cómo funciona un equipo chiller* [en línea]. <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-chiller-17260.htm>. [Consulta: septiembre de 2013].

21. STOECKER, Wilbert. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. Madrid: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1965. 406 p.
22. Thermoaislantes de Chihuahua. *Materiales aislantes* [en línea]. http://www.termochisa.com/inicio.php?seccion=termicos/elasto_tuberia.htm. [Consulta: junio de 2013].
- VILLALOBOS TORRES, José Alberto. *Condensador evaporativo* [en línea]. http://www.albertovillalobos.webpin.com/blog_55295_condensador-evaporativo---evaporative-condenser.html. [Consulta: septiembre de 2013].
23. _____. *Intercambiadores de calor tipo placa* [en línea]. <http://todoproduktividad.blogspot.com/2009/03/errores-de-diseno-en-los.html>. [Consulta: agosto de 2013].
24. _____. *Tipos de intercambiadores de calor* [en línea]. http://web.usal.es/~tonidm/DEI_07_comp.pdf. [Consulta: agosto de 2013].

ANEXOS

Anexo 1. **Peso de lámina galvanizada lisa**

Calibre	MEDIDA						
	6'	7'	8'	9'	10'	12'	14'
20	26-07	30-14	35-04	39-11	44-01	52-15	61-12
22	22-11	26-07	30-04	34-00	37-13	45-06	52-15
24	18-05	21-06	24-07	27-07	30-08	36-10	45-11
26	11-07	13-05	15-04	17-02	19-00	22-13	26-10
28	09-12	11-05	13-00	14-09	16-03	19-07	22-11
28MM	7-12	9-01	10-05	11-10	12-15	15-08	18-01

NOTA: El peso esta dado en libras y onzas

Ejemplo:

1 Lamina Acanalada Calibre 28 de 8' pesa 12 Libras y 14 onzas.

ANCHO TOTAL		ANCHO UTIL	
MTS	PIES	MTS	PIES
0.813	2.667	0.70	2.297

Fuente: Galcasa. *Lámina lisa*. <http://www.galcasa.com.gt/galvanizacion.html>.

Consulta: septiembre de 2013.

Anexo 2. **Peso estándar de lámina galvanizada G55**

Espesor base	Espesor final	Ancho	LARGO EN PIES							
			1	6	7	8	9	10	12	14
Dura										
0.16	0.18	904	0.39232	2.354	2.746	3.139	3.531	3.923	4.708	5.493
0.18	0.20	904	0.43558	2.614	3.049	3.485	3.920	4.356	5.227	6.098
0.20	0.22	904	0.47884	2.873	3.352	3.831	4.310	4.788	5.746	6.704
0.21	0.23	904	0.50047	3.003	3.503	4.004	4.504	5.005	6.006	7.007
0.27	0.30	904	0.63025	3.782	4.412	5.042	5.672	6.303	7.563	8.824
0.29	0.32	904	0.67350	4.041	4.715	5.388	6.062	6.735	8.082	9.429
0.30	0.33	904	0.69513	4.171	4.866	5.561	6.256	6.951	8.342	9.732
0.31	0.34	904	0.71676	4.301	5.017	5.734	6.451	7.168	8.601	10.035
0.32	0.35	904	0.73839	4.430	5.169	5.907	6.646	7.384	8.861	10.338
0.36	0.39	904	0.82491	4.949	5.774	6.599	7.424	8.249	9.899	11.549
0.37	0.40	904	0.84654	5.079	5.926	6.772	7.619	8.465	10.159	11.852
0.38	0.41	904	0.86817	5.209	6.077	6.945	7.814	8.682	10.418	12.154
0.39	0.42	904	0.88980	5.339	6.229	7.118	8.008	8.898	10.678	12.457
0.43	0.46	904	0.97632	5.858	6.834	7.811	8.787	9.763	11.716	13.669
Suave										
0.20	0.22	914	0.48414	2.905	3.389	3.873	4.357	4.841	5.810	6.778
0.22	0.24	914	0.52788	3.167	3.695	4.223	4.751	5.279	6.335	7.390
0.24	0.26	914	0.57162	3.430	4.001	4.573	5.145	5.716	6.859	8.003
0.30	0.33	914	0.70283	4.217	4.920	5.623	6.325	7.028	8.434	9.840
0.36	0.39	914	0.83405	5.004	5.838	6.672	7.506	8.340	10.009	11.677
0.38	0.41	914	0.87779	5.267	6.145	7.022	7.900	8.778	10.533	12.289
0.45	0.48	914	1.03087	6.185	7.216	8.247	9.278	10.309	12.370	14.432
0.48	0.51	914	1.09648	6.579	7.675	8.772	9.868	10.965	13.158	15.351
0.53	0.56	914	1.20582	7.235	8.441	9.647	10.852	12.058	14.470	16.881
0.70	0.74	914	1.57760	9.466	11.043	12.621	14.198	15.776	18.931	22.086
0.85	0.89	914	1.90563	11.434	13.339	15.245	17.151	19.056	22.868	26.679

Fuente: Galcasa. *Lámina lisa.*

http://www.galcasa.com.gt/files/tabla_de_pesos_de_lamina_galvanizada.pdf.

Consulta: septiembre de 2013.

Anexo 3. Capacidades de fancoil

MODEL		TW002	TW003	TW004	TW005	TW006	TW008	TW010	
CAPACITY	Nominal (BTUH)	6,000	9,000	12,000	15,000	18,000	24,000	30,000	
ELECTRICAL	Voltage-Ph.-Hz.	115-1-60, 115/230-1-60, 220/240-1-50/60 (3)							
ELECTRIC HEATER	Kw Max(Optional)	1.5			2.0		3.0		
WATER FLOW	GPM	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8	6.0	
WATER CONN.	Threaded/Sweat	Sweat (4)							
	Diameter (in)	1/2			3/4				
DRAIN CONN.	Diameter (in)	3/4							
	Rows	4 (4)							
COIL	Fins/in	11 (5)							
	Pipe Diameter(in)	3/8							
MOTOR	HP	1/30	1/30	1/20	1/20	1/15	1/10	1/8	
	Amps	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	
	Speeds	3 or 4 speeds (2)							
FAN	CFM	200	300	400	500	600	800	1000	
	Type	Centrifugal Blowers							
	Material	Aluminum - Optional:ABS Fiberglass Reinforced Plastic (1)							
	Qty	1	1	1	1	1	2	2	
	Blower Dims. (in)	6x6	6x7	6x8	6x9	6x10	6x9	6x10	
CONTROL	Optional	Digital Display, LCD Display, Humidity Sensor controls are available							
FILTER	Type	Field Supplied							
NET DIMENSIONS	Height(in)	9 ³ / ₄							
	Width(in)	25 ¹ / ₄			34 ¹ / ₄		43 ¹ / ₄		49 ¹ / ₄
	Depth(in)	19 ³ / ₄							
NET WEIGHT	(Lbs)	39	41	43	48	49	52	58	

MODEL		TW012	TW013	TW015	TW016	TW017	TW020	TW021	
CAPACITY	Nominal (BTUH)	36,000	39,000	44,000	48,000	48,000	60,000	56,000	
ELECTRICAL	Voltage-Ph.-Hz.	115-1-60, 115/230-1-60, 220/240-1-50/60 (3)							
ELECTRIC HEATER	Kw Max(Optional)	3.0			5.0				
WATER FLOW	GPM	7.2	7.8	8.8	9.6	9.6	12.0	11.2	
WATER CONN.	Threaded/Sweat	Sweat (4)							
	Diameter (in)	3/4							
DRAIN CONN.	Diameter (in)	3/4							
COIL	Rows	4 (4)							
	Fins/in	11 (5)							
	Pipe Diameter(in)	3/8							
MOTOR	HP	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	
	Amps	1.6	1.8	2.2	2.6	2.6	3.2	3.2	
	Speeds	3 or 4 speeds (2)							
FAN	CFM	1200	1300	1500	1600	1600	2000	2000	
	Type	Centrifugal Blowers							
	Material	Aluminum - Optional:ABS Fiberglass Reinforced Plastic (1)							
	Qty	2	3	2	2	2	2	2	
	Blower Dims. (in)	6x10	6x9	7x7	7x9	7x9	7x9	7x9	
CONTROL	Optional	Digital Display, LCD Display, Humidity Sensor controls are available							
FILTER	Type	Field Supplied							
NET DIMENSIONS	Height(in)	9 ³ / ₄							
	Width(in)	49 ¹ / ₄	55 ¹ / ₂	49 ¹ / ₄	55 ¹ / ₂	59 ¹ / ₂	59 ¹ / ₂	59 ¹ / ₂	
	Depth(in)	19 ³ / ₄							
NET WEIGHT	(Lbs)	59	68	74	81	78	89	85	

Fuente: HERRERA GÓMEZ, Bernal. UNIREFRI zona 12, Guatemala.

Anexo 4. Notas de fabricante para chillers

NOTES:

1. Si el flujo de agua gpm aumenta para la misma medida y especificaciones en serpentín y mismo número de circuitos, la capacidad de enfriamiento también aumentará en conjunto con la caída de presión. Lo máximo que se debe aceptar en la caída de presión es mantenerse por debajo de 20 Ft.
2. El flujo de aire en gpm usualmente es diseñada para 10F de temp. de diferencia entre el agua entrante y saliente
3. Por cada 12000 BTU de enfriamiento, el flujo de agua estándar es 2.4 gpm para una diferencia de 10F de temp.
4. Cuando el flujo de aire está más arriba que el estándar, los circuitos de la serpentín deben de ser rediseñados al momento de manufacturación del equipo
5. Los serpentines son testeadas a 350psi, de esta manera ningún daño puede ocurrir si se aumenta el flujo de agua
6. El flujo de agua es usualmente controlado por el circuito configurador, las válvulas de balanceo (si se usan) y las válvulas motorizadas de esta manera se puede restringir flujos excesivos de agua y presión si existen.
7. La velocidad del agua es directamente proporcional con el número de circuitos, flujo de agua gpm y lo largo de la tubería. Si se restringe la caída de presión a 15 o menos, la velocidad del agua también será menos.
8. Con el aumento de la velocidad del agua, se puede obtener un aumento en la capacidad de enfriamiento pero al mismo tiempo un aumento en la caída de presión del agua.

Fuente: HERRERA GÓMEZ, Bernal. UNIREFRI zona 12, Guatemala.

Se presenta una amplia lista de precios para tuberías y accesorios AMANCO para agua potable, con lista de precios vigente a partir del 2012, por lo cual hay que tomar consideración de actualizar los precios, para la fecha en que se realice una cotización de los productos necesarios.

Anexo 5. Tubería agua potable ASTM D2241

DIÁMETRO NOMINAL Tubo 6 m. con campana	315 PSI, SDR 13.5	250 PSI, SDR 17	160 PSI, SDR 26	125 PSI, SDR 32.5	100 PSI, SDR 41	80 PSI, SDR 51
1/2"	915076 Q. 28.00					
3/4"		915098 Q. 34.00				
1"		915105 Q. 54.00	915176 Q. 47.00			
1 1/4"		915116 Q. 85.00	915189 Q. 57.00	915248 Q. 54.00		
1 1/2"		915119 Q.111.00	915194 Q. 85.00	915253 Q. 62.00	915313 Q. 48.00	
2"		915121 Q.173.00	915198 Q. 116.00	915258 Q. 94.00	915321 Q. 75.00	915354 Q. 66.00

DIÁMETRO NOMINAL Tubo 6 m. con campana	315 PSI, SDR 13.5	250 PSI, SDR 17	160 PSI, SDR 26	125 PSI, SDR 32.5	100 PSI, SDR 41	80 PSI, SDR 51
2 1/2"		915126 Q. 256.00	915205 Q. 171.00	915261 Q. 138.00	915326 Q. 111.00	915355 Q. 104.00
3"		915131 Q. 381.00	915210 Q. 254.00	915266 Q. 206.00	915331 Q. 164.00	915356 Q. 132.00
4"		916472 Q. 629.00	915155 Q. 420.00	915218 Q. 337.00	915276 Q. 271.00	915337 Q. 218.00
5"		915089 Q. 959.00	915161 Q. 641.00	915223 Q. 517.00	915283 Q. 413.00	915339 Q. 334.00
6"		915091 Q. 1,361.00	915163 Q. 909.00	915225 Q. 734.00	915286 Q. 586.00	915340 Q. 472.00
8"		915099 Q. 2,308.00	915170 Q. 1,540.00	915231 Q. 1,240.00	915294 Q. 989.00	915344 Q. 801.00

Fuente: AMANCO. *Tubería de PVC*. [http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20\(ALTA\).pdf](http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20(ALTA).pdf). Consulta: octubre de 2013.

Anexo 6. **Accesorios agua potable, cédula 40 ASTM D2466, parte 1**

X	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"
	913110 908840 913120 913126 913134 913144										
1/2"	Q.1.80	Q.2.90	Q.4.80	Q.4.90	Q.8.30	Q.24.50					
	908841 913122 913128 913136 913145 913156										
3/4"		Q.2.90	Q.4.80	Q.4.90	Q.8.30	Q.24.50	Q.38.60				
	913124 913130 913138 913147 913157										
1"			Q.4.80	Q.4.90	Q.8.30	Q.24.50	Q.38.60				
	913132 913140 913149 913159										
1 1/4"				Q.4.90	Q.8.30	Q.24.50	Q.38.60				
	913142 913151 913160										
1 1/2"					Q.8.30	Q.24.50	Q.38.60				
	913153 913162 913098										
2"						Q.24.50	Q.38.60	Q.61.50			
	913164 913099										
2 1/2"							Q.38.60	Q.61.50			
	913101 913104 913109 913114										
3"							Q.61.50	Q.142.00	Q.209.80	Q.736.80	
	913103 913107 913112										
4"								Q.142.00	Q.209.80	Q.736.80	
	913188										
5"									Q.209.80		
	913113										
6"											Q.736.80

X	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
	913111 916301 913121 913127 913135							
1/2"	Q.5.10	Q.9.10	Q.13.90	Q.20.60	Q.29.10			
	916446 913123 913129 913137 913146							
3/4"		Q.9.10	Q.13.90	Q.20.60	Q.29.10	Q.36.70		
	913125 913131 913139 913148 913158							
1"			Q.13.90	Q.20.60	Q.29.10	Q.36.70	Q.42.30	
	913133 913141 913150							
1 1/4"				Q.20.60	Q.29.10	Q.36.70		
	913143 913152 913161							
1 1/2"					Q.29.10	Q.36.70	Q.42.30	
	913154 913163							
2"						Q.36.70	Q.42.30	
	913165 913100							
2 1/2"							Q.42.30	Q.61.70

Fuente: AMANCO. *Tubería de PVC*. [http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20\(ALTA\).pdf](http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20(ALTA).pdf). Consulta: octubre de 2013.

Anexo 7. Accesorios agua potable, cédula 40 ASTM D2466, parte 2

CODO 90° PVC Campana cementada		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	TEE PVC con rosca		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		908582	1/2"	Q. 1.30			914356	1/2"	Q. 3.20
		908585	3/4"	Q. 2.20			914361	3/4"	Q. 9.80
		908579	1"	Q. 5.10			914364	1"	Q. 13.30
		908581	1 1/4"	Q. 6.50			914368	1 1/4"	Q. 22.20
		908580	1 1/2"	Q. 7.20			914370	1 1/2"	Q. 29.90
		909889	2"	Q. 11.10			914372	2"	Q. 36.00
		908583	2 1/2"	Q. 53.90			914374	2 1/2"	Q.103.80
		908584	3"	Q. 58.20					
		908586	4"	Q. 68.40					
		909881	5"	Q. 286.40					
	909882	6"	Q. 346.60						
	909884	8"	Q.1,119.40						
CODO 90° PVC con rosca		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	TAPÓN MACHO PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		909880	1/2"	Q. 2.20			914184	1/2"	Q. 6.30
		909883	3/4"	Q. 5.80			914185	3/4"	Q. 5.50
		909885	1"	Q. 7.30			914186	1"	Q. 6.30
		909887	1 1/4"	Q. 13.40			914196	1 1/4"	Q. 13.70
		909888	1 1/2"	Q. 15.20			914197	1 1/2"	Q. 15.80
		909890	2"	Q. 38.20			914198	2"	Q. 20.20
		909891	2 1/2"	Q. 82.30			914199	2 1/2"	Q. 37.00
		909892	3"	Q.106.70			914187	3"	Q. 48.60
		909827	4"	Q.200.40			914183	4"	Q. 69.90
	CODO 45° PVC Campana cementada		CÓDIGO	DIÁMETRO		PRECIO	TAPÓN HEMBRA PVC		CÓDIGO
		909708	1/2"	Q. 3.50			914135	1/2"	Q. 1.70
		908577	3/4"	Q. 4.70			914137	3/4"	Q. 1.80
		908571	1"	Q. 6.10			914138	1"	Q. 2.90
		908573	1 1/4"	Q. 8.00			914139	1 1/4"	Q. 4.10
		908572	1 1/2"	Q. 10.20			914140	1 1/2"	Q. 4.90
		908574	2"	Q. 13.00			914141	2"	Q. 5.70
		908575	2 1/2"	Q. 51.60			914142	2 1/2"	Q. 28.60
		908576	3"	Q. 57.70			914144	3"	Q. 35.70
		908578	4"	Q. 87.60			914134	4"	Q. 37.30
		909759	5"	Q. 288.30			914147	5"	Q.117.60
	909760	6"	Q. 437.80		914148	6"	Q.200.40		
	909761	8"	Q.1,105.60		914151	8"	Q.525.30		
TEE PVC Campana cementada		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	TAPÓN HEMBRA PVC con rosca		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		914355	1/2"	Q. 1.70			914136	1/2"	Q. 5.40
		914360	3/4"	Q. 2.50			914150	3/4"	Q. 6.40
		914363	1"	Q. 4.80			914152	1"	Q. 9.70
		914367	1 1/4"	Q. 7.70			914154	1 1/4"	Q. 15.00
		914369	1 1/2"	Q. 13.60			914155	1 1/2"	Q. 20.00
		914371	2"	Q. 14.90			914156	2"	Q. 21.40
		914373	2 1/2"	Q. 50.00			914157	2 1/2"	Q. 40.20
		914376	3"	Q. 63.60			914158	3"	Q. 53.00
		914352	4"	Q. 105.80			914145	4"	Q. 72.90
		914357	5"	Q. 398.30			914149	6"	Q. 117.50
	914359	6"	Q. 682.10						
	914362	8"	Q.1,300.20						

Fuente: AMANCO. *Tubería de PVC*. [http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20\(ALTA\).pdf](http://gruposml.com/rocio/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20(ALTA).pdf). Consulta: octubre de 2013.

Anexo 8. **Accesorios agua potable, cédula 40 ASTM D2466, parte 3**

COPLA PVC Campana cementada		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	UNIÓN DE REPARACIÓN PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		915602	1/2"	Q. 0.90			915697	1/2"	Q. 19.90
		908643	3/4"	Q. 1.70			915658	3/4"	Q. 38.20
		908637	1"	Q. 2.80			915659	1"	Q. 50.10
		908639	1 1/4"	Q. 3.90			915660	1 1/4"	Q. 75.20
		908638	1 1/2"	Q. 4.80			915661	1 1/2"	Q. 106.50
		908640	2"	Q. 6.60			915662	2"	Q. 109.20
		908641	2 1/2"	Q. 37.20			915663	2 1/2"	Q. 205.00
		908642	3"	Q. 38.00			915664	3"	Q. 279.10
		915601	4"	Q. 45.10			915656	4"	Q. 439.30
		915603	5"	Q. 93.10			915657	6"	Q.1.070.30
		915604	6"	Q.202.40					
	915605	8"	Q.401.90						
ADAPTADOR MACHO PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	CRUZ PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		909159	1/2"	Q. 1.10			910033	1/2"	Q. 15.20
		909163	3/4"	Q. 1.90			910034	3/4"	Q. 22.30
		909165	1"	Q. 3.90			910037	1"	Q. 27.70
		909166	1 1/4"	Q. 3.90			910038	1 1/4"	Q. 29.30
		909167	1 1/2"	Q. 5.30			910049	1 1/2"	Q. 33.60
		909168	2"	Q. 7.60			910039	2"	Q. 48.80
		909169	2 1/2"	Q. 20.00			910040	2 1/2"	Q.137.30
		909170	3"	Q. 28.60			910041	3"	Q.181.10
		909158	4"	Q. 40.70			910050	4"	Q.267.70
		909161	5"	Q.130.50					
	909162	6"	Q.235.60						
	909164	8"	Q.936.50						
FLANGE PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO	ADAPTADOR HEMBRA PVC		CÓDIGO	DIÁMETRO	PRECIO
		909482	2"	Q.133.40			909106	1/2"	Q. 1.90
		909483	2 1/2"	Q.255.80			909109	3/4"	Q. 2.40
		909484	3"	Q.274.30			909111	1"	Q. 3.20
		916338	4"	Q.376.00			909112	1 1/4"	Q. 4.60
		909473	5"	Q.473.40			909113	1 1/2"	Q. 5.20
		909474	6"	Q.477.50			909114	2"	Q. 7.10
	909476	8"	Q.611.40		909115	2 1/2"	Q. 20.00		
					909116	3"	Q. 36.80		
					909105	4"	Q. 40.00		
					909107	5"	Q.229.40		
					909108	6"	Q.261.00		
					909110	8"	Q.449.20		

Fuente: AMANCO. *Tubería de PVC*. [http://gruposml.com/roci/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20\(ALTA\).pdf](http://gruposml.com/roci/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20(ALTA).pdf). Consulta: octubre de 2013.

Anexo 9. Accesorios agua potable, cédula 40 ASTM D2466, parte 4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
914483	Tee Red PVC S40 3/4x1/2" B C/C	Q. 4.50
908620	Tee Red PVC S40 1x1/2" B C/C	Q. 8.10
914493	Tee Red PVC S40 1x3/4" B C/C	Q. 8.10
914499	Tee Red PVC S40 1 1/4x3/4" B C/C	Q. 12.70
914500	Tee Red PVC S40 1 1/4x1" B C/C	Q. 12.70
914501	Tee Red PVC S40 1 1/2x1/2" B C/C	Q. 16.80
914503	Tee Red PVC S40 1 1/2x3/4" B C/C	Q. 16.80
914504	Tee Red PVC S40 1 1/2x1" B C/C	Q. 16.80
914508	Tee Red PVC S40 2x1/2" B C/C	Q. 22.10
914510	Tee Red PVC S40 2x3/4" B C/C	Q. 22.10
914512	Tee Red PVC S40 2x1 " B C/C	Q. 22.10
914514	Tee Red PVC S40 2x1 1/4" B C/C	Q. 22.10
914515	Tee Red PVC S40 2x1 1/2" B C/C	Q. 22.10
914517	Tee Red PVC S40 2 1/2x1/2" B C/C	Q. 60.10
914518	Tee Red PVC S40 2 1/2x3/4" B C/C	Q. 60.10
914520	Tee Red PVC S40 2 1/2x1 1/2" B C/C	Q. 60.10
914472	Tee Red PVC S40 3x3/4" B C/C	Q. 74.10
914523	Tee Red PVC S40 3x1" B C/C	Q. 74.10
914525	Tee Red PVC S40 3x1 1/4" B C/C	Q. 74.10
914526	Tee Red PVC S40 3x1 1/2" B C/C	Q. 74.10
914474	Tee Red PVC S40 4x1/2" B C/C	Q. 131.80
914475	Tee Red PVC S40 4x3/4" B C/C	Q. 131.80
914476	Tee Red PVC S40 4x1" B C/C	Q. 131.80
914478	Tee Red PVC S40 4x2" B C/C	Q. 131.80
914479	Tee Red PVC S40 4x3" B C/C	Q. 131.80
914481	Tee Red PVC S40 6x2" B C/C	Q. 550.50
914482	Tee Red PVC S40 6x3" B C/C	Q. 550.50
914480	Tee Red PVC S40 6x4" B C/C	Q. 550.50
914485	Tee Red PVC S40 8x4" B C/C	Q. 556.80
914486	Tee Red PVC S40 8x6" B C/C	Q. 556.80

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
914511	Tee Red PVC S40 2x3/4" B C/ROS	Q. 23.60
914469	Tee Red PVC S40 2x1" B C/ROS	Q. 23.60
914470	Tee Red PVC S40 2x1 1/2" B C/ROS	Q. 23.60
914471	Tee Red PVC S40 2 1/2x11/2" B C/ROS	Q. 64.60
914473	Tee Red PVC S40 3x3/4" B C/ROS	Q. 79.60
914524	Tee Red PVC S40 3x1" B C/ROS	Q. 79.60
914463	Tee Red PVC S40 4x1/2" B C/ROS	Q. 141.70
914464	Tee Red PVC S40 4x3/4" B C/ROS	Q. 141.70
914465	Tee Red PVC S40 4x2" B C/ROS	Q. 141.70
914467	Tee Red PVC S40 6x3/4" B C/ROS	Q. 591.50

Fuente: AMANCO. *Tubería de PVC*. [http://gruposml.com/roci/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20\(ALTA\).pdf](http://gruposml.com/roci/amanco/pdfs/0-Lista%20de%20Precios/Lista%20Precios%20(ALTA).pdf). Consulta: octubre de 2013.