



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

**IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE
REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

André Eduardo Colón Serrano

Asesorado por el Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga

Guatemala, marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE
REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDRÉ EDUARDO COLÓN SERRANO

ASESORADO POR EL ING. LUIS ALFREDO ASTURIAS ZÚÑIGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 25 de julio de 2016.

André Eduardo Colón Serrano

Guatemala, 21 de febrero de 2017

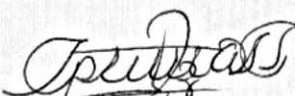
Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Ingeniero Guzmán:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante **ANDRÉ EDUARDO COLÓN SERRANO**, con carné **201213436** y DPI **2401309440101**, el cual lleva como título: **"IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC"**.

En base a lo anterior, hago de su conocimiento esta información a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

atentamente,


Luis Alfredo Asturias Zúñiga
Ingeniero Mecánico
Colegiado 2787
ASESOR


Ing. Luis A. Asturias Zúñiga
INGENIERO MECANICO
COL. 2787



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

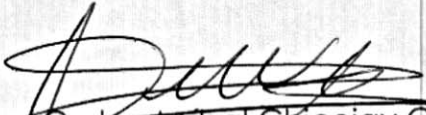
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.085.2017

El Coordinador del Área de Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC** desarrollado por el estudiante **André Eduardo Colón Serrano**, CUI **2401-30944-0101**, Registro Académico **201213436** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Coordinador de Laboratorios
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero 2017





USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala


Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.119.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Laboratorios del trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC** del estudiante **André Eduardo Colón Serrano, CUI 2401-30944-0101, Registro Académico No. 201213436** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo de 2017

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

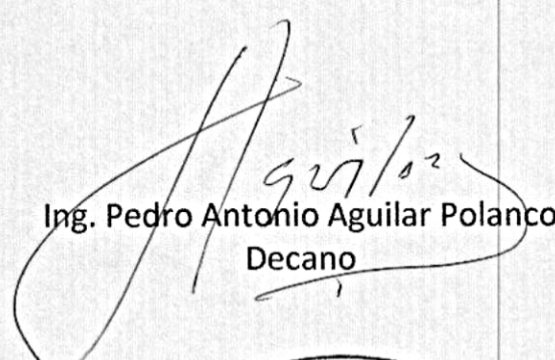


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 144.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA SIMULAR CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario: **André Eduardo Colón Serrano**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, marzo de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la fuerza para luchar en esta vida y haberme permitido culminar esta carrera profesional.
- A la Virgen María** Por ser luz en mi vida personal, estudiantil y profesional.
- A San Judas Tadeo** Por ser mi roca espiritual, en quien me apoyo en los momentos difíciles.
- A mis padres** Gladys Lubia Serrano Gálvez y Mauro Eduardo Colón Gil, por creer en mí y darme todo su apoyo para terminar esta carrera.
- A mis sobrinos** A todos y, en especial, a Austin Leroy Sights Colón, para que nunca se rindan por alcanzar sus sueños y metas de vida.
- A mis amigos** Vivian Irene Morales Corado, Sigrid Jussela Aquino Oliva, Vivian Loraine Calderón Sánchez, Ana Lucrecia Cortéz Estrada, Diancarlo Javier Rodríguez; por su infalible amistad y apoyo en mi vida profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por ser la facultad que me permitió desarrollar y culminar mi carrera profesional.

**Ing. Luis Alfredo
Asturias Zúñiga**

Por todo su apoyo y ayuda, para el desarrollo de este trabajo de graduación.

**Catedráticos de la
Escuela de Ingeniería
Mecánica**

Ing. Roberto Guzmán Ortiz, Ing. José Ismael Véliz Padilla, Ing. Julio César Campos Paiz, Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera, Ing. Byron Palacios Colindres, Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez y demás ingenieros, por su apoyo y aporte académico profesional durante estos últimos años en mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Escuela de Ingeniería Mecánica USAC	1
1.1.1. Estructura organizacional	3
1.1.2. Plan estratégico	4
1.1.2.1. Misión	4
1.1.2.2. Visión	4
1.2. Importancia del aprendizaje de la refrigeración y el aire acondicionado para el ingeniero mecánico.....	4
1.3. Desarrollo y enseñanza de la refrigeración y aire acondicionado.....	7
1.3.1. Programa actual del contenido del curso magistral	7
1.3.2. Prácticas de laboratorio	9
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Refrigeración	13
2.1.1. Principios generales de la refrigeración.....	13
2.1.1.1. Tipos de refrigeración	14

2.1.1.2.	El sistema de refrigeración por compresión de vapor	17
2.1.2.	Descripción de los componentes básicos en un circuito eléctrico de refrigeración.....	21
2.1.2.1.	El reloj de deshielo	23
2.1.2.2.	Resistencias eléctricas	25
2.1.2.3.	Motores eléctricos monofásicos y trifásicos	26
2.1.2.4.	Elementos de protección	31
2.1.2.5.	Fusibles	34
2.1.2.6.	Relevadores térmicos de sobrecarga...	35
2.1.2.7.	Iluminación	37
2.1.2.8.	<i>Relé</i> potencial.....	39
2.1.2.9.	Capacitor de arranque.....	40
2.1.2.10.	Capacitor de marcha	42
2.1.2.11.	Protector térmico	44
2.1.3.	Sistemas de servicio y control eléctrico aplicados en la refrigeración.....	45
2.1.3.1.	Tipos de sistemas de control	45
2.1.3.2.	Símbolos del circuito de control.....	49
2.1.3.3.	Diagramas de alambrado	52
2.1.4.	Diagramas y esquemas de instalaciones de circuitos frigoríficos.....	53
2.1.4.1.	Refrigerador básico	54
2.1.4.2.	Refrigerador con válvula solenoide	57
2.1.4.3.	Unidad de refrigerador de aire con deshielo por resistencias	59
2.1.4.4.	Unidad de refrigerador de aire con deshielo por ventilación	60

	2.1.4.5.	Refrigerador con sistema de deshielo automático por resistencia calefactora	61
	2.1.4.6.	Bodega frigorífica industrial	62
2.2.		Aire acondicionado	63
	2.2.1.	Principios generales del aire acondicionado.....	63
	2.2.1.1.	Campo del acondicionamiento de aire.....	63
	2.2.1.2.	Componentes del aire acondicionado..	65
	2.2.1.3.	<i>Confort</i> humano	66
	2.2.2.	Descripción de los componentes básicos en un circuito eléctrico de aire acondicionado	67
	2.2.2.1.	Interruptor selector.....	68
	2.2.2.2.	Termostato.....	69
	2.2.2.3.	Presostato.....	73
	2.2.2.4.	Protector térmico	75
	2.2.2.5.	<i>Relé</i> de potencial y capacitores	75
	2.2.2.6.	Contactores magnéticos de 24 V	77
	2.2.2.7.	Transformador eléctrico de 120 V a 24 V	80
	2.2.2.8.	<i>Relé</i> de Ventilador	82
	2.2.2.9.	Regleta de conexiones	83
	2.2.3.	Sistemas de servicio y control eléctrico aplicados en el aire acondicionado.....	83
	2.2.3.1.	Dispositivos controlados	84
	2.2.3.2.	Sistemas de control total.....	84
	2.2.3.3.	Fuente de alimentación.....	86
	2.2.3.4.	Circuitos del mando a distancia	87

2.2.4.	Diagramas y esquemas de instalaciones de circuitos de acondicionamiento de aire.....	88
2.2.4.1.	Unidad de ventana simple	89
2.2.4.2.	Unidad de <i>Split</i> con ducto.....	90
2.2.4.3.	Unidad <i>Mini Split</i>	91
2.2.4.4.	Unidad de aire acondicionado tipo torre	92
3.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	95
3.1.	Condiciones físicas del laboratorio.....	97
3.2.	Material de apoyo en la clase.....	100
3.3.	Herramientas e instrumentos	101
3.4.	Paneles didácticos	103
3.5.	Equipo para impartir las prácticas de electricidad, orientadas en la refrigeración y aire acondicionado	106
4.	DISEÑO DE PANEL DIDÁCTICO	111
4.1.	Diseño	112
4.1.1.	Condiciones del panel didáctico	112
4.1.1.1.	Longitud, altura y ancho	112
4.1.1.2.	Material de construcción.....	113
4.1.1.3.	Modelo y planos del panel.....	114
4.1.2.	Diseño de los circuitos eléctricos	117
4.1.3.	Diseño del sistema de conexiones eléctricas del panel.....	125
4.1.4.	Selección del equipo eléctrico	128
4.1.5.	Ubicación de los equipos, elementos y accesorios en el panel.....	132

4.1.6.	Características, funcionamiento y aplicación de los equipos seleccionados.....	134
4.2.	Construcción del panel	139
4.2.1.	Ensamble de componentes	139
4.2.2.	Instalaciones eléctricas.....	144
4.3.	Costo de la propuesta del diseño	152
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL DIDÁCTICO.....	157
5.1.	Instalación y pruebas de funcionamiento del panel en el laboratorio.....	157
5.2.	Manual de prácticas a realizar en el panel didáctico	159
5.3.	Guía de mantenimiento del panel didáctico.....	167
5.4.	Capacitación sobre la manipulación y cuidado del panel	169
	CONCLUSIONES	171
	RECOMENDACIONES	175
	BIBLIOGRAFÍA.....	179
	APÉNDICES	181
	ANEXOS	183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama general de la Escuela de Ingeniería Mecánica	3
2.	Principales tipos de sistemas de refrigeración y sus usos	16
3.	Sistema básico de refrigeración por compresión de vapor	17
4.	Equipo y tubería de un sistema de compresión de vapor	20
5.	Componentes eléctricos de un refrigerador comercial	22
6.	Reloj de deshielo para un refrigerador comercial	24
7.	Reloj de deshielo para un cuarto frío	24
8.	Resistencia eléctrica blindada	26
9.	Componentes básicos de un motor de corriente alterna	28
10.	Tipos de motores monofásicos	29
11.	Arreglos de los embobinados en los motores trifásicos	30
12.	Interruptor magnetotérmico	32
13.	Interruptor diferencial monofásico	33
14.	Tipos de fusibles	35
15.	Relevador térmico de sobrecarga bimetálico	36
16.	Circuito de iluminación en un refrigerador común	38
17.	<i>Relé</i> potencial	40
18.	Capacitor de arranque	42
19.	Capacitor de marcha	43
20.	Protector térmico de disco bimetálico	45
21.	Nomenclatura de cualquier control automático	46
22.	Tipos de termostatos utilizados en refrigeración	48
23.	Presostato utilizado en refrigeración	49

24.	Símbolos de un circuito de control eléctrico.....	50
25.	Diagrama de conexión de un sistema de refrigeración	52
26.	Diagrama esquemático de un compresor de refrigeración.....	53
27.	Diagrama de conexión mecánica del refrigerador común	55
28.	Diagrama de conexión eléctrica del refrigerador común	56
29.	Refrigerador con válvula solenoide de tres vías	58
30.	Refrigerador con deshielo por resistencias	59
31.	Refrigerador con deshielo por ventilación.....	60
32.	Refrigerador con deshielo por gas caliente.....	61
33.	Conexión eléctrica para un cuarto frío	62
34.	Posiciones del interruptor selector	69
35.	Termostato manual análogo de aire acondicionado	71
36.	Posición de la palanca del termostato	72
37.	Nomenclatura de conexión de un termostato.....	73
38.	Presostatos	74
39.	Instalación de un <i>relé</i> de potencial.....	76
40.	Partes importantes del contactor magnético	79
41.	Contactor <i>relé</i>	80
42.	Transformador reductor	81
43.	<i>Relé</i> de ventilador	82
44.	Sistema de control de aire acondicionado unizonas	86
45.	Control a distancia	88
46.	Unidad de ventana simple.....	89
47.	<i>Split</i> con ductos.....	90
48.	Unidad exterior del <i>Mini Split</i>	91
49.	Unidad interior del <i>Mini Split</i>	92
50.	Unidad de aire acondicionado tipo torre	93
51.	Edificio T-7, Facultad de Ingeniería USAC.....	95
52.	Ubicación del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado.....	96

53.	Carteles de seguridad en los laboratorios	97
54.	Diferentes vistas del laboratorio	99
55.	Herramientas, instrumentos y equipos del laboratorio	102
56.	Primer panel didáctico del laboratorio	104
57.	Segundo panel didáctico del laboratorio	105
58.	Primer equipo, práctica de electricidad	107
59.	Segundo equipo, práctica de electricidad.....	109
60.	Tipos de madera del panel didáctico.....	113
61.	Isométrico de panel didáctico.....	114
62.	Distintas vistas del panel didáctico.....	115
63.	Panel didáctico.....	116
64.	Primer circuito de refrigeración.....	118
65.	Segundo circuito de refrigeración.....	119
66.	Tercer circuito de refrigeración.....	120
67.	Primer circuito de aire acondicionado	121
68.	Segundo circuito de aire acondicionado.....	122
69.	Acometida eléctrica del panel didáctico	126
70.	Esquematación de conexión entre equipos	127
71.	Conectores tipo <i>jack</i> y <i>plug</i>	128
72.	Diseño final panel didáctico.....	133
73.	Trazo para distribución de los componentes	140
74.	Corte y taladrado para montaje de los equipos	140
75.	Construcción del cajón secundario del panel	141
76.	Color final del panel didáctico.....	142
77.	Calcomanías de seguridad en el panel	143
78.	Cobertor del panel didáctico.....	143
79.	Materiales y herramientas para realizar instalaciones eléctricas.....	145
80.	Acometida eléctrica principal.....	146
81.	Terminal de conexiones	147

82.	Soldadura de las terminales eléctricas de los equipos	148
83.	Conexiones secundarias a terminales de equipos	149
84.	Cable conector	150
85.	Clasificación de colores para cableado eléctrico	151
86.	Implementación del panel didáctico en el laboratorio	158

TABLAS

I.	Componentes eléctricos de un refrigerador comercial	21
II.	Componentes mecánicos.....	54
III.	Accesorios electromecánicos.....	54
IV.	Posición del interruptor selector.....	68
V.	Medidas del laboratorio.....	98
VI.	Dimensiones del panel didáctico.....	112
VII.	Selección de equipos eléctricos de refrigeración	129
VIII.	Selección de equipos eléctricos de aire acondicionado	130
IX.	Código de colores para cableado eléctrico del panel didáctico.....	151
X.	Costo de equipos del panel didáctico	153
XI.	Costo de componentes eléctricos del panel didáctico	154
XII.	Costo de herramientas y accesorios del panel didáctico	155
XIII.	Costo de diseño y construcción del panel didáctico.....	156
XIV.	Costo total del panel didáctico, resumen	156

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A/C	Aire acondicionado
A	Amperio
ft	<i>Feet</i> (Pie)
F	Fuerza
gal	Galón
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
Hz	Hercio
Hp	<i>Horse Power</i> (Caballos de Potencia)
kW	<i>Kilowatt</i> (Kilovatio); 0,746 kW = 1 Hp
m	Metro, unidad de longitud
μF	Microfaradio
Pa	Pascal, 100 000 Pa = 1 bar
psi	<i>Pound square inch</i> (Libra por pulgada cuadrada)
P	Presión
in	Pulgada
T	Temperatura

TRF	Tonelada de refrigeración
VA	Voltiamperio
V	Voltiamperio
W	<i>Watt</i> (Vatio)

GLOSARIO

Acondicionador de aire	Dispositivo utilizado para controlar la temperatura, humedad, limpieza y movimiento del aire en el espacio acondicionado.
Actuador	Parte de un equipo mecánico o eléctrico, que convierte alguna señal mecánica, eléctrica o neumática en movimiento mecánico; para permitir el paso de algún fluido.
Aislamiento	Cobertor que protege al alambre, contra el calentamiento por la corriente, corrosión y falsos contactos con otros equipos.
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), asociación de profesionales que regulan normas referentes a ingeniería mecánica.
AWG	<i>American Wire Gauge</i> (Calibre de Alambre Estadunidense), norma americana para cableado eléctrico.
Bar	Unidad de presión absoluta.

BTU	<i>British Thermal Unit</i> (Unidad Térmica Británica), unidad utilizada para expresar transferencia de energía térmica.
CA	Corriente alterna.
Calor	Forma de energía que actúa sobre un cuerpo o sustancia, para elevar su temperatura.
Carga Térmica	Cantidad de calor medida en <i>watts</i> , kcal o BTU; la cual es removida durante un periodo de 24 horas.
CD	Corriente directa.
<i>Chiller</i>	Enfriador. Es un equipo empleado en sistemas de aire acondicionado, para enfriar algún tipo de fluido utilizado como refrigerante en una segunda aplicación.
Circuito eléctrico	Instalación de tubería o de alambre eléctrico, que permite el flujo desde y hacia la fuente de energía.
Corriente alterna	Corriente eléctrica en la cual se invierte o se alterna el sentido del flujo.
Corriente directa	Flujo de electrones, el cual se mueve continuamente en un sentido del circuito.

Deshielo	Proceso de remover la acumulación de hielo en los evaporadores.
Fusible (<i>Breaker</i>)	Dispositivo de seguridad eléctrico que consiste de una tira de metal fusible (protección magnética), la cual se funde en sobrecarga del equipo.
IFM	<i>Inside Fan Motor</i> (Motor Ventilador Interno).
Motor eléctrico	Máquina rotatoria que transforma energía eléctrica en movimiento mecánico.
NA	Normalmente abierto.
NC	Normalmente cerrado.
NEC	<i>National Electrical Code</i> (Código Nacional de Electricidad), normas americanas que regulan las instalaciones eléctricas.
OFM	<i>Outside Fan Motor</i> (Motor Ventilador Externo).
Sobrecarga	Carga mayor a aquella para la cual el equipo fue diseñado.
<i>Split</i>	Separación. Es un equipo de aire acondicionado, que está dividido en dos partes y es de carácter industrial. Por lo general se le conecta tubería o ducto, para transportar el aire a grandes distancias.

RESUMEN

El trabajo de tesis final, que se presenta a continuación, se divide en cinco capítulos, los cuales incluyen: fundamento teórico, diagnóstico y cálculos realizados con base en la actividad técnica que se presenta en este trabajo de graduación.

Los antecedentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC, se describen en el Capítulo 1.

El marco teórico se describe en el Capítulo 2, se hace énfasis en dar a conocer el comportamiento de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor como de aire acondicionado; se describe además los componentes eléctricos involucrados en la mayor parte de instalaciones eléctricas.

El diagnóstico realizado en el laboratorio se describe en el Capítulo 3, el método en que se recabó la información fue mediante la inspección visual, entre el diagnóstico se tomó en cuenta las condiciones físicas del laboratorio, los equipos y las herramientas utilizadas, teniendo como resultado del diagnóstico el pilar que permita desarrollar un panel didáctico, para ser de ayuda a los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

En los Capítulos 4 y 5, se describe el diseño, la construcción y la implementación del panel didáctico. Los planos del panel, la selección de los equipos, características de funcionamiento, diagramas eléctricos, junto con su construcción e implementación final en el laboratorio.

OBJETIVOS

General

Implementar un panel didáctico para simulación de circuitos eléctricos de refrigeración y aire acondicionado para el laboratorio de Ingeniería Mecánica, en la USAC.

Específicos

1. Recopilar información sobre las ventajas y desventajas por su falta, que presenta la implementación de paneles didácticos, como recurso didáctico en los laboratorios, para los estudiantes universitarios de carreras técnicas.
2. Presentar las características básicas de la refrigeración y el acondicionamiento de aire.
3. Realizar un diagnóstico estratégico interno, que permita obtener información de la situación actual del laboratorio, como análisis previo al diseño del panel didáctico.
4. Construir un panel didáctico para simular circuitos eléctricos de conexiones reales de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
5. Seleccionar los elementos y dispositivos requeridos para la implementación de un panel didáctico de circuitos eléctricos de

refrigeración y aire acondicionado, considerando la aplicación real de los mismos en las instalaciones comerciales e industriales.

6. Diseñar los circuitos eléctricos para el funcionamiento adecuado del panel didáctico, que simulen conexiones reales de los equipos de refrigeración y aire acondicionado.
7. Implementar el panel didáctico, con su respectivo manual de prácticas y pruebas de funcionamiento en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración y el aire acondicionado son dos ramas de la Ingeniería Mecánica que son de mucha aplicación en la industria; actualmente, junto con la creciente tecnología, demanda que el ingeniero a cargo tenga dominio en conocimientos termodinámicos, eléctricos y también de mantenimiento a los equipos mecánicos. De estos mencionados, el ingeniero mecánico se prepara en el conocimiento termodinámico y de mantenimiento a equipos, pero no en lo eléctrico, por lo que su habilidad y destreza suele verse afectada en el área del trabajo profesional.

La enseñanza y el aprendizaje por medio de la práctica, al utilizar paneles didácticos que simulan procesos reales, son de gran ayuda, sobre todo, en el seno del conocimiento del estudiante de ingeniería; la práctica de simular circuitos eléctricos de procesos reales en un panel, permite que el estudiante pueda familiarizarse con la electricidad, aprendiendo a realizar conexiones eléctricas, utilizar instrumentos eléctricos y realizar mediciones, evitando así una mala preparación académica; y lo que se aprenda en el campo profesional, sea refutado bajo los principios teóricos y las buenas prácticas que conlleva la refrigeración y el aire acondicionado.

1. ANTECEDENTES

1.1. Escuela de Ingeniería Mecánica USAC

La ingeniería mecánica forma parte de las ramas de carreras universitarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Fue en el año 1967 en que se fundó la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial que tenía a su cargo las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica y la combinada que es Ingeniería Mecánica Industrial.

Con el fin de la mejora continua en la estructura curricular del pensum de la carrera de Ingeniería Mecánica, junto a la mejora de su administración docente, fue en 1986, cuando se separó de la Escuela de Mecánica Industrial para formar la Escuela de Ingeniería Mecánica.

La carrera de Ingeniería Mecánica está subdividida en 5 áreas, la primera corresponde al área común, tales como las ciencias básicas necesarias para el desarrollo de conocimientos en el ingeniero; las otras cuatro áreas competen al área profesional. Estas cuatro áreas son: Térmica, Materiales de Ingeniería, Diseño de Máquinas y Complementaria. De estas áreas de la carrera mencionadas anteriormente, parte de los cursos del pensum que tienen a su control las mismas, se fundamenta el conocimiento teórico junto con el práctico, siendo necesario el desarrollo de laboratorios para ejercer la práctica.

Los laboratorios de ingeniería mecánica estaban ubicados, conjuntamente con la bodega de la Facultad de Ingeniería, en el edificio T7; estos laboratorios, al principio, eran compartidos con las otras carreras de la Escuela de Mecánica

Industrial. No fue hasta que se separó, que se inició un ordenamiento del espacio del edificio T7, para la adecuación de los laboratorios, dando lugar al surgimiento de los laboratorios de refrigeración y aire acondicionado, neumática y el de máquinas hidráulicas.

Para el 2006, ya se había adquirido un torno de control numérico computarizado CNC, correspondiente al uso del curso de Procesos de Manufactura 1. Años anteriores, en 1996, se habían adquirido paneles didácticos de refrigeración y aire acondicionado contruidos localmente, siendo utilizados hasta el 2015, y que meses más tarde serían sustituidos por equipo más sofisticado. Sin embargo, a la fecha aún no hay paneles que simulen los circuitos eléctricos de procesos de refrigeración y aire acondicionado.

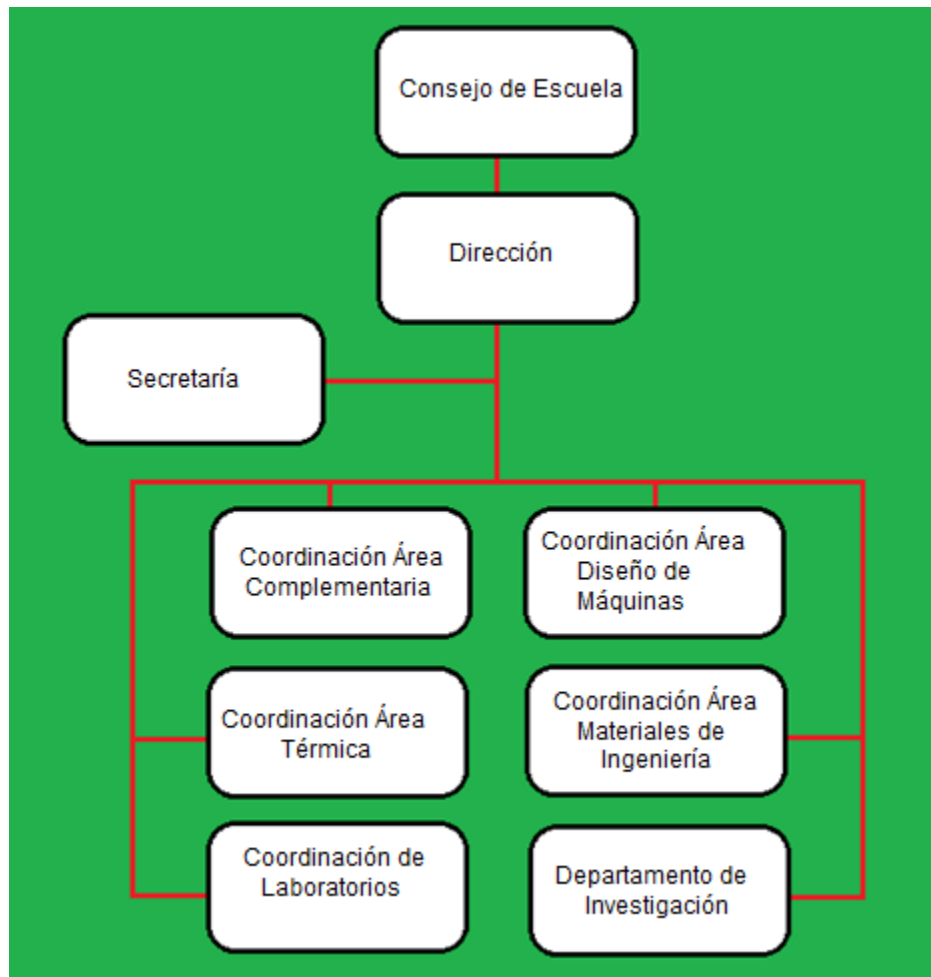
En 2014, por parte de la administración central de la Facultad de Ingeniería, con el apoyo del Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos, siendo decano en ese periodo y el Ing. Julio César Campos Paiz, que ocupaba el cargo de director de Escuela de Ingeniería Mecánica para ese periodo también; es remodelado el área de los laboratorios y se adquiere equipo nuevo para los laboratorios de Neumática y Refrigeración y Aire Acondicionado.

Durante un largo periodo, casi 40 años, desde que la Escuela de Ingeniería Mecánica se formó como tal, se ha ido perfilando en cambios hacia lo tecnológico, lo fundamental y aplicable en lo técnico y científico, para que la carrera pueda tener auge en el seno del conocimiento de todo estudiante, profesional y catedrático involucrado en la excelencia académica.

Para junio de 2016, la Escuela de Ingeniería Mecánica fue acreditada por la Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería (ACAAI).

1.1.1. Estructura organizacional

Figura 1. Organigrama general de la Escuela de Ingeniería Mecánica



Fuente: elaboración propia, con base en: *Organigrama*.
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: abril de 2016.

1.1.2. Plan estratégico

1.1.2.1. Misión

Formamos profesionales de la Ingeniería Mecánica, con valores éticos y morales, capaces de generar y adaptarse a los cambios del entorno, conscientes de la realidad nacional y el avance tecnológico, comprometidos con su sociedad, para que a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología apropiada contribuyan al bien común y desarrollo económico y sostenible del país y la región.¹

1.1.2.2. Visión

Ser una de las mejores Escuelas de Ingeniería Mecánica en Educación Superior, de reconocimiento nacional e internacional por la calidad de profesionales que forma, por sus resultados dentro de la competitividad del mercado laboral cambiante tomando en cuenta el impacto de las nuevas tecnologías, de las necesidades y expectativas de sus estudiantes.²

1.2. Importancia del aprendizaje de la refrigeración y el aire acondicionado para el ingeniero mecánico

El desarrollo del ingeniero mecánico se ve afianzado bajo los conocimientos técnicos y prácticos que durante el periodo del área profesional de la carrera, se ve involucrado en temas como la termodinámica, la metalurgia, procesos de manufactura, eficiencia energética y cabe mencionar también que el tema de electricidad como electrónica son parte del conocimiento necesario para el desarrollo de un buen ingeniero mecánico.

¹ Escuela de Mecánica. <http://www.emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: Abril 2016.

² *Ibíd.*

Parte de la labor como ingeniero mecánico es el análisis de sistemas termodinámicos, tales como: calderas, motores de combustión interna, turbinas, equipos de refrigeración y aire acondicionado.

La refrigeración no es un tema nuevo o una investigación que recientemente se ha descubierto, desde hace mucho tiempo, incluso antes de la creación de la primera máquina térmica, el arte de la refrigeración mediante el uso de hielo natural, se remonta a los antiguos romanos, en el que realizaban ceremonias donde hacían traer a los esclavos enormes bloques de hielo de lo alto de las montañas para almacenarlos en sótanos, y ser usados durante el verano. Existen escritos tales como el de Peclet, donde describe la práctica de comprimir la nieve para formar enormes bloques de hielo, que eran protegidos con paja, pasto y ramas de árboles, almacenados en pozos oscuros y profundos.

La práctica que describió Peclet, se utilizó hasta mediados del siglo XX en ciertas zonas españolas y catalanas, donde existían los llamados *pous de glaç*, que literalmente traducido del catalán al español, significa nevera; este tipo de pozos simplemente era la acumulación de grandes cantidades de nieve, donde se dejaba caer agua fría y la misma cambiaba a estado de solidificación, formando instantáneamente bloques de hielo. Lo que desconocían los españoles, es que este principio termodinámico radica en que si se introduce agua subenfriada y entra en contacto con un ambiente de menor temperatura, aún cuando esta sea leve, el agua tiende a congelarse, por una pérdida de calor súbita.

No fue hasta en el año de 1850 en que empezaron los primeros desarrollos de la refrigeración con la utilización de maquinaria, llamada

refrigeración mecánica. En 1866 se patentó el primer sistema de refrigeración mecánica de Edmond Carré.

La tecnología en la refrigeración ha ido avanzando tanto que hoy en día es posible la instalaciones de sistemas de refrigeración mecánica industrial colosal, la creación de nuevos refrigerantes trabajando a temperaturas de -40°C , llamada refrigeración criogénica; y de la instalación de sistemas integrados como refrigeradoras y neveras. En gran parte de todo este desarrollo han intervenido científicos y grandes mentes, pero también la labor del ingeniero mecánico para el desarrollo de las máquinas, la instalación de los mismos, como también el entendimiento de su funcionamiento que es parte de la labor de campo profesional.

El desarrollo efectivo de la ventilación, calefacción y acondicionamiento de aire (HVAC), por sus siglas en inglés (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), tuvo un impactante inicio apenas hace 100 años. La empresa pionera en esta área corresponde a CARRIER. Hace 51 años, en 1985 en que las ventas por sistemas HVAC en Estados Unidos alcanzaron los 25 000 millones de dólares anuales.

El ingeniero como tal, en su preparación, debe discernir del manejo adecuado de los sistemas HVCA. En la mayoría de casos, equipos de calefacción (bombas de calor) no son distribuidos en zonas de América Latina donde no se alcanzan fríos extremos, y por ende no suele tratarse algunas veces en las instituciones que brindan cursos de aire acondicionado, dejando al usuario sin acceso a la misma. La mayor parte de los equipos utilizados suele ser los de acondicionamiento de aire, sus aplicaciones trascienden desde la instalación en casas, hasta hotelería, en aviones y barcos, cuya instalación y mantenimiento debe ser atendida por un experto en el tema.

1.3. Desarrollo y enseñanza de la refrigeración y aire acondicionado

El curso de Refrigeración y Aire Acondicionado, corresponde al Área Térmica de la parte profesional de la carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería en la Universidad San Carlos de Guatemala. El curso tiene como prerrequisito, Termodinámica 2 y, junto a los otros cursos de Motores de Combustión Interna y Plantas de Vapor, representan la culminación del Área Térmica. El objetivo del trabajo de graduación solamente se enfoca al curso de Refrigeración y Aire Acondicionado, específicamente al laboratorio.

1.3.1. Programa actual del contenido del curso magistral

El curso de Refrigeración y Aire Acondicionado, al igual que los demás cursos de la facultad de ingeniería, presenta un programa bien estructurado en el que se tratan y exponen aspectos importantes del curso, como la descripción del mismo, la metodología, los objetivos, el contenido programático, la evaluación del rendimiento académico, calendarización de las actividades y la bibliografía utilizada para su desarrollo.

En esta sección solamente se trata el desglose del contenido programático del curso, los otros temas, para fines de este trabajo de graduación, no son trascendentales.

- Unidad 1. Principios de refrigeración mecánica
 - Refrigerantes: medidas de seguridad, protección ambiental
 - El ciclo real e ideal de refrigeración
 - El diagrama presión-entalpía de los refrigerantes
 - Eficiencia de los compresores

- Unidad 2. Preservación de los alimentos
 - Componentes de la carga de refrigeración
 - Cálculo de la carga de refrigeración
 - Selección de equipos para cámaras de refrigeración

- Unidad 3. Psicrometría
 - Líneas de proceso en la carta psicrométrica
 - Cálculo de procesos de variación de carga sensible
 - Cálculo de procesos de variación de carga latente
 - Cálculo de procesos sensibles y latentes combinados
 - Proceso de mezclado de aire
 - Determinación de las condiciones del aire de suministro
 - La relación de calor sensible
 - Temperatura superficial efectiva
 - Análisis psicrométrico completo

- Unidad 4. Cálculo de la carga de enfriamiento
 - *Comfort*, consideraciones fisiológicas
 - Componentes de la ganancia de calor en recintos
 - Radiación solar a través de vidrios
 - Conducción a través de la estructura
 - Condiciones de diseño
 - Ganancia de calor internas
 - Ganancia de calor por infiltración o ventilación

- Unidad 5. Distribución de aire
 - Definiciones y conceptos básicos
 - Cambios de presión en un sistema
 - Gráfica de fricción para ducto redondo
 - Tablas de conversión ducto redondo a rectangular
 - Determinación de longitud efectiva del ducto
 - Método de diseño de igual fricción
 - Método de diseño recuperación de presión estática

1.3.2. Prácticas de laboratorio

El laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado fundamenta con la parte práctica la teórica del curso magistral; el laboratorio está dividido en 10 prácticas con sus reportes respectivos, las cuales comprenden los equipos y sistemas de refrigeración y de aire acondicionado; se fundamentan con instrumentación mecánica aplicada al curso, como también de conceptos de electricidad y buenas prácticas en refrigeración. Además la modalidad del laboratorio, es de evaluar, mediante un examen final, el conocimiento del estudiante adquirido en el laboratorio.

El análisis de este trabajo de graduación está enfocado al laboratorio del curso de Refrigeración y Aire Acondicionado, al tema de la electricidad aplicada a estos equipos y sistemas, respectivamente.

El contenido programático de las prácticas se describe a continuación:

- Práctica 1. Principios básicos de la refrigeración mecánica
 - Medidas de seguridad y protección ambiental.
 - Partes básicas: el compresor, evaporador, condensador y dispositivo de expansión.
 - Funcionamiento: presión/temperatura.
 - Diagrama p-h (Mollier) del ciclo de refrigeración.
 - Trabajo de investigación 1: tipos de compresores.

- Práctica 2. Fallas en sistemas de refrigeración
 - El condensador: causas y soluciones
 - El evaporador: causas y soluciones
 - Trabajo de Investigación 2: la gráfica de Mollier

- Práctica 3. Dispositivos de expansión
 - La válvula de expansión termostática.
 - Estructura interna.
 - Aplicaciones.
 - Trabajo de investigación 3: tipos de VET para distintos tipos de refrigerante.

- Práctica 4. El reloj de deshielo
 - Estructura interna.
 - Aplicaciones.
 - Trabajo de investigación 4: diagrama de control con reloj de deshielo.

- Práctica 5. Elementos de arranque de compresores
 - *Relé* de corriente.
 - Protector térmico.
 - Verificación de estado de los compresores.
 - Trabajo de investigación 5: diagrama de alambrado de un refrigerador doméstico.

- Práctica 6. Buenas prácticas en refrigeración
 - Etapa de vacío.
 - Carga de refrigerante.
 - Pruebas de funcionamiento.
 - Trabajo de investigación 6: método de recuperación de refrigerantes.

- Práctica 7. Diagramación eléctrica
 - Simbología.
 - Tipos de diagramas.
 - Lectura de diagramas.
 - Trabajo de Investigación 7: diagrama de alambrado de un A/C de ventana.

- Práctica 8. Diagnóstico de fallas eléctricas
 - Simulación de fallas eléctricas.
 - *Relé* potencial, capacitores de marcha y arranque, presostatos.

- Trabajo de investigación 8: cuadro de equivalencias de capacitores y relé potencial.
- Práctica 9. El sistema de aire acondicionado tipo *Mini Split*
 - Instalación
 - Partes y funcionamiento
 - Trabajo de investigación 9: video mantenimiento básico
- Práctica 10. Sistema de Arranque de 24 V AC
 - Partes y funcionamiento
 - Conexión de elementos eléctricos
 - Trabajo de investigación 10: diagrama eléctrico de A/C tipo *Split*

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Refrigeración

2.1.1. Principios generales de la refrigeración

La refrigeración es una rama de la ciencia, comúnmente es definida como un proceso de enfriamiento; sin embargo la refrigeración se puede definir como el proceso de la remoción de calor de una sustancia para llevarla a condiciones de temperatura más bajas o igual, a la temperatura ambiente. Dado que por el enunciado de la primera ley de la termodinámica, el calor fluye de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor, la refrigeración es totalmente opuesta a la calefacción.

Existen diferentes métodos de poder obtener el proceso de la refrigeración, tales como la refrigeración mecánica, la refrigeración por absorción, la termoeléctrica, la de chorro de vapor y por ciclo de aire. El método más usado para producir la refrigeración mecánica, se le conoce como el sistema de compresión de vapor. En este sistema un agente refrigerante o simplemente refrigerante líquido del tipo volátil se evapora en un evaporador, dando el proceso de remoción de calor (enfriamiento) de la sustancia o fluido que se debe enfriar. Se necesita también de un compresor y condensador para recuperar el refrigerante y que circule nuevamente para completar el ciclo.

La explicación detallada de los tipos de refrigeración, como el funcionamiento del sistema por compresión de vapor, se describen en los apartados siguientes.

2.1.1.1. Tipos de refrigeración

Las aplicaciones de la refrigeración se pueden clasificar en las siguientes categorías: doméstica, comercial, industrial y de aire acondicionado. Se considera a veces la refrigeración aplicada al transporte como una categoría aparte.

La refrigeración doméstica se emplea en la preparación y conservación de los alimentos, fabricación de hielo y como enfriadora de bebidas en el hogar. La refrigeración comercial se utiliza en las tiendas de despacho, restaurantes e instituciones con los mismos fines que la doméstica. La refrigeración industrial es utilizada en industrias farmacéuticas, de alimentos, químicas, cámaras frigoríficas, e incluso para fabricación de hielo con el fin de procesamiento, manipulación, preparación y preservación de productos perecederos a gran escala. La refrigeración se utiliza extensamente en el aire acondicionado, tanto para comodidad de un recinto, como de uso industrial. El aire acondicionado industrial se utiliza para climatización y limpieza del aire, necesarias para los procesos industriales.

Entre los sistemas más utilizados para la refrigeración, se encuentran los siguientes:

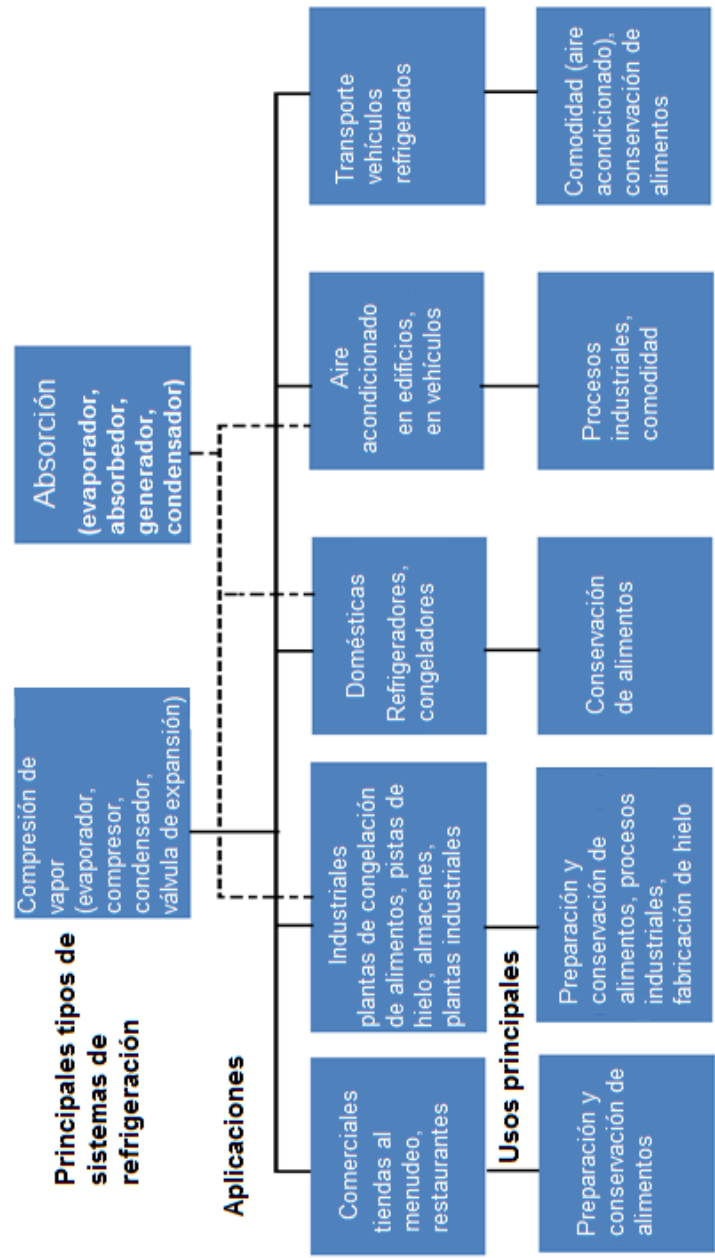
- Sistema de compresión de vapor: es el más utilizado para la obtención de refrigeración mecánica, se compone de un compresor, evaporador, condensador y una válvula de expansión entre lo más importante. El efecto de refrigeración se obtiene al hacer circular un agente refrigerante de característica volátil, para ser evaporado en el evaporador removiendo el calor de la sustancia a refrigerar, y mediante el compresor y condensador ser recuperado.

- Sistema de refrigeración por absorción: en este proceso el refrigerante se evapora tal cual en el de compresión de vapor, pero la evaporación se mantiene absorbiendo el refrigerante en otro fluido. Generalmente se utiliza amoníaco (NH_3) con agua, formando el agua amoniacal.
- Termoeléctrico: es un método de refrigeración muy costoso, utiliza un método eléctrico el denominado efecto Peltier, por lo que por un lado del circuito de refrigeración se mantendrá muy caliente. Algunos refrigeradores pequeños emplean este método, sin embargo el consumo energético es el doble, comparado con el convencional.
- Por chorro de vapor: es ineficiente, era utilizada antiguamente en los barcos a vapor. Utiliza como refrigerante agua a presión a fin de formar vapor; el vapor a alta presión es direccionado a una tobera-difusora para que parte de la energía de presión se convierta en entalpía; el chorro de vapor es conducido al condensador para enfriar la mezcla a un estado de saturación pero donde no ocurre condensación.
- Ciclo de aire: es utilizada usualmente en los sistemas de aire acondicionado de las cabinas en los aviones. Funciona con el aire que se extrae del turborreactor, donde se hace circular a sistemas de calefacción o de refrigeración.

Existe otro método de refrigeración que está en nivel de investigación, y es la refrigeración criogénica, en la que se utilizan métodos especiales para llegar a temperaturas de $-130\text{ }^\circ\text{C}$; el mayor uso es químico, para la licuefacción del oxígeno y del nitrógeno del aire.

En la Figura 2, se ilustran las aplicaciones de la refrigeración y se ejemplifican los dos tipos de refrigeración mayormente usados en la industria.

Figura 2. Principales tipos de sistemas de refrigeración y sus usos



Fuente: elaboración propia, con base en: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*.

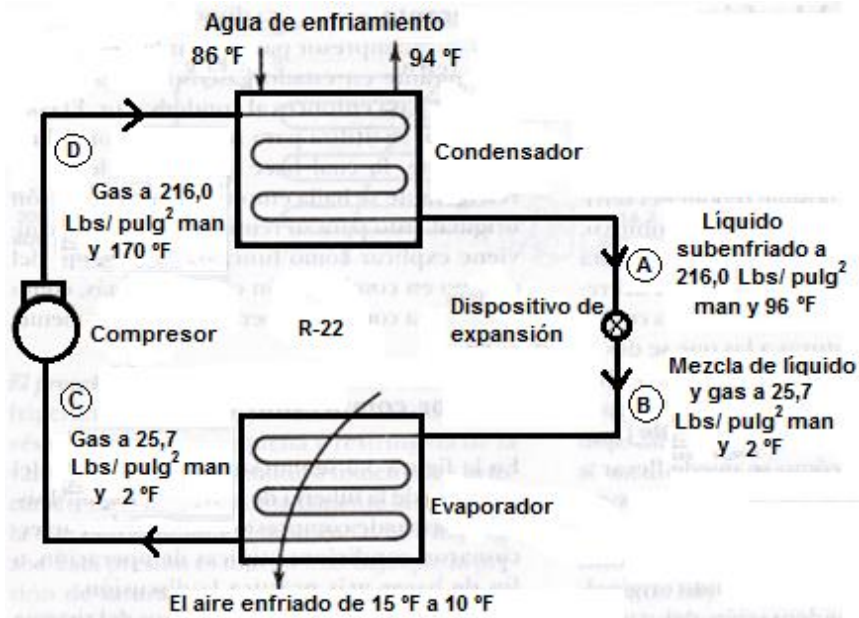
p 14.

2.1.1.2. El sistema de refrigeración por compresión de vapor

Este es el método más utilizado para producir refrigeración mecánica, dado por su simplicidad y sencillez, permite el uso en varias aplicaciones domésticas como industriales. El análisis de este método es uno de los principales objetivos del tema de graduación, y del cual se parte para realizar los diseños de los circuitos eléctricos para el panel didáctico.

Los cuatro componentes básicos del sistema de compresión de vapor son: el dispositivo de expansión (llamado dispositivo de control de flujo), evaporador, compresor y condensador. En la Figura 3, se ilustra un sistema de compresión de vapor y se describe cada proceso a continuación.

Figura 3. Sistema básico de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*. p 56.

El proceso A-B, a través del dispositivo de control de flujo. Para explicación se utilizará el refrigerante R-22. El refrigerante líquido R22 en el estado A, se encuentra a una presión de 216 psig (manométrica) y 96 °F, se hace circular hacia el dispositivo de control de flujo que puede ser una válvula de expansión termostática o de tubo capilar, en cualquiera de los casos el dispositivo de control tiene una abertura estrecha y muy pequeña, lo que provoca una gran caída de presión al fluir el refrigerante por sí mismo. A la salida del dispositivo el refrigerante se encuentra a una presión de 25,7 psig y en una condición de mezcla (líquido y vapor) saturada, en B. Dado que la presión final es menor a la presión de saturación a 96 °F, una parte del refrigerante se evapora súbitamente, tomando el calor latente necesario de la propia mezcla que a su vez la enfría, por ello a 25,4 psig la mezcla saturada se encuentra a 2 °F.

El proceso B-C, a través del evaporador. El refrigerante fluye en la tubería del evaporador, de B-C. La sustancia que se debe enfriar, generalmente aire u otro líquido, fluye por el exterior de los tubos. La sustancia se encuentra a una temperatura elevada a la del refrigerante dentro del evaporador, por consiguiente cede su calor al refrigerante consiguiendo enfriar la sustancia. Como el líquido de refrigerante que está dentro del evaporado, ya se encuentra en condiciones de saturación (punto de ebullición), el calor ganado permite que se evapore dentro del evaporador. Generalmente el refrigerante a la salida del evaporador se encuentra en condición de vapor saturado o sobrecalentado.

El proceso C-D, a través del compresor. El compresor hace entrar al refrigerante por el lado de succión comprimiéndolo, a una presión elevada para poder condensarlo; usualmente esta presión descarga suele ser igual a la que entró en el dispositivo de control. Como el compresor necesita de un motor para accionar el mecanismo de compresión, para de ese calor generado por el motor

eléctrico se transfiere al refrigerante, como consecuencia elevando su temperatura a la salida del mismo.

El proceso D-A, a través del condensador. El compresor descarga el gas refrigerante a alta presión y temperatura, el mismo fluye a través de las tuberías del evaporador, de D a A. Por los tubos exteriores del condensador se hace circular aire o agua, generalmente a temperatura menor que la del gas refrigerante. Como consecuencia, el calor fluirá por las paredes del tubo del refrigerante a la sustancia que en este ejemplo es el agua. Elevando la temperatura de la misma y disminuyendo la del refrigerante. El refrigerante dado, que cuando entra se encuentra en estado sobrecalentado, primero se enfría hasta su temperatura de saturación. La remoción de calor adicional resulta en la condensación gradual del refrigerante. Usualmente sale del condensador como líquido saturado líquido subenfriado.

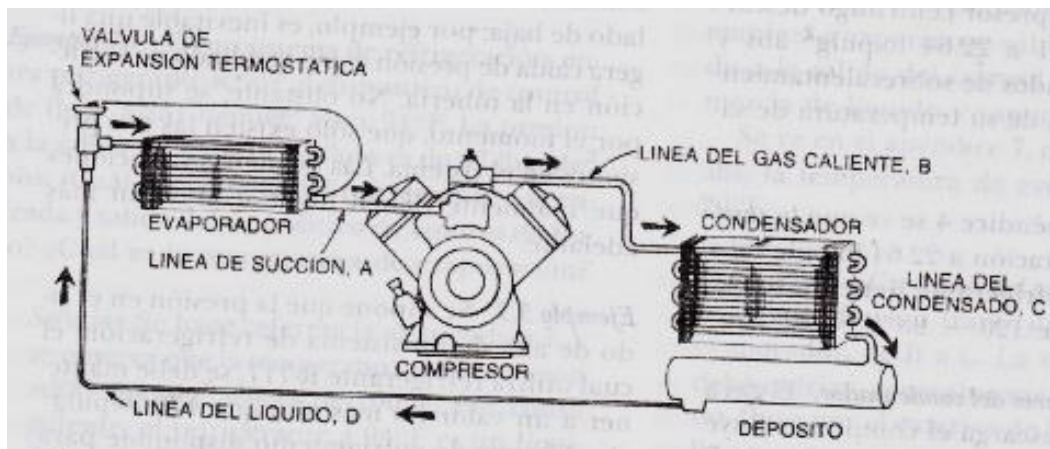
La presión existente entre la descarga del compresor y la entrada del dispositivo de control de flujo se le conoce como la presión del lado de alta o presión de condensación. La presión entre la salida del control del flujo y la succión del compresor se le conoce como la presión del lado de baja o presión de condensador.

- La tubería y el receptor del sistema

Las tuberías principales de un sistema de refrigeración por compresión de vapor se describen junto con el equipo receptor, y se muestran en la Figura 4. El receptor es un tanque utilizado para almacenar el exceso de carga de refrigerante que no está en circulación en el sistema. También es utilizado para concentrar todo el refrigerante dentro de él, y poder reparar o remover algún elemento del sistema sin tener que extraer todo el refrigerante del sistema.

La tubería que va del evaporador a la entrada del compresor, se llama Línea de Succión; la tubería entre el compresor y el condensador, se llama Línea de Gas Caliente o Descarga; la tubería que va del condensador al recipiente, se llama Línea de Condensado; y la tubería entre el recipiente (o condensador, si no se usa este) y el dispositivo de control de flujo, se llama Línea de Líquido.

Figura 4. **Equipo y tubería de un sistema de compresión de vapor**



Fuente: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*. p 58.

El sistema de compresión de vapor, es el de mayor uso en la industria, por su amplia gama de aplicación a varios procesos como en el enfriamiento del agua que intervienen en los moldes de plásticos, tratamientos térmicos del acero y otros metales no ferrosos; los otros sistemas de refrigeración por lo general tiene poca aplicación; sin embargo, por la creciente contaminación provocada por el cloro de los refrigerantes, quizás tomen a consideración los otros tipos, aunque eso signifique un incremento de costo operacional e inversión de equipos.

2.1.2. Descripción de los componentes básicos en un circuito eléctrico de refrigeración

En un sistema de refrigeración, específicamente, por compresión de vapor, del cual se hablará también en el resto de capítulos y que es la base para este proyecto de graduación, está conformado por la parte termodinámica, mecánica y eléctrica. Los primeros dos, se han descrito en el apartado anterior; el sistema eléctrico para este sistema y los demás, es fundamental para que sus componentes mecánicos puedan funcionar correctamente.

Se puede entender que el sistema eléctrico es el pilar para un sistema de refrigeración, pues representa la fuente de poder que permite convertir una entrada de energía eléctrica a un tipo de energía calorífica (enfriamiento). Los componentes eléctricos y de protección para un refrigerador doméstico, se describen en la Tabla I y estos son:

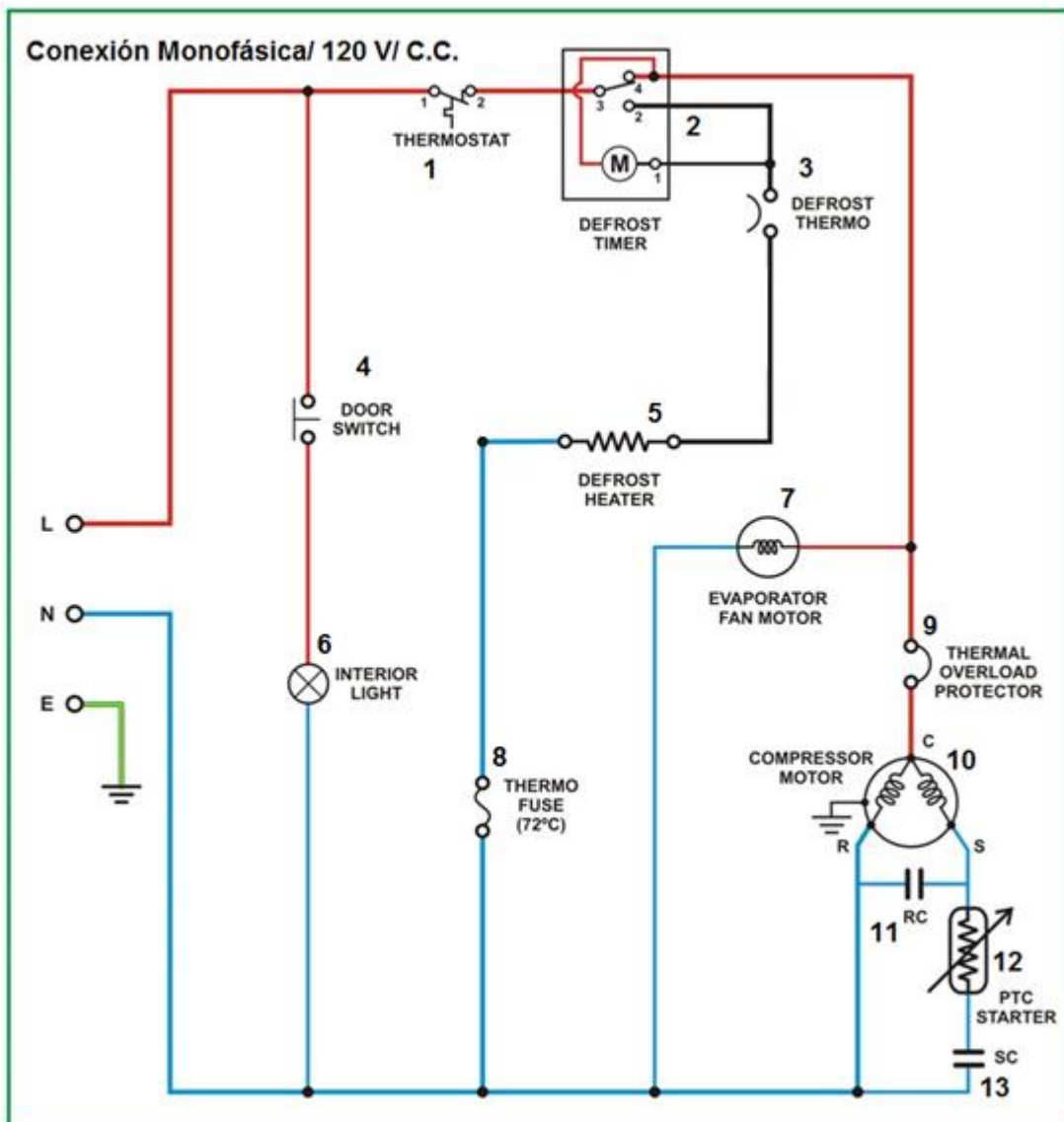
Tabla I. Componentes eléctricos de un refrigerador comercial

IDENTIFICACIÓN	COMPONENTE
1	Control de temperatura (Termostato)
2	Reloj de deshielo
3	Termodisco
4	Interruptor de luz interna
5	Resistencia de descongelación
6	Luz interna del refrigerador
7	Motor eléctrico del ventilador del evaporador
8	Fusible térmico
9	Protector térmico de sobrecarga
10	Motor eléctrico del compresor
11,13	Capacitor de Marcha y de Arranque
12	Relé PTC

Fuente: elaboración propia, con base en la Figura 5.

Los componentes eléctricos de un refrigerador comercial descritos en la Tabla I, se ilustran en el diagrama eléctrico mostrado en la Figura 5.

Figura 5. **Componentes eléctricos de un refrigerador comercial**



Fuente: HVAC Tutorial. <https://hvactutorial.wordpress.com/refrigeration-system/domestic-refrigeratorfreezer-system/domestic-refrigerator-wiring/>. Consulta: 13 de noviembre de 2016.

2.1.2.1. El reloj de deshielo

Es uno de los componentes principales eléctricos del sistema de refrigeración por compresión de vapor; es utilizado, tanto a nivel doméstico para refrigeradores comunes o con aplicación industrial, como para cuartos fríos.

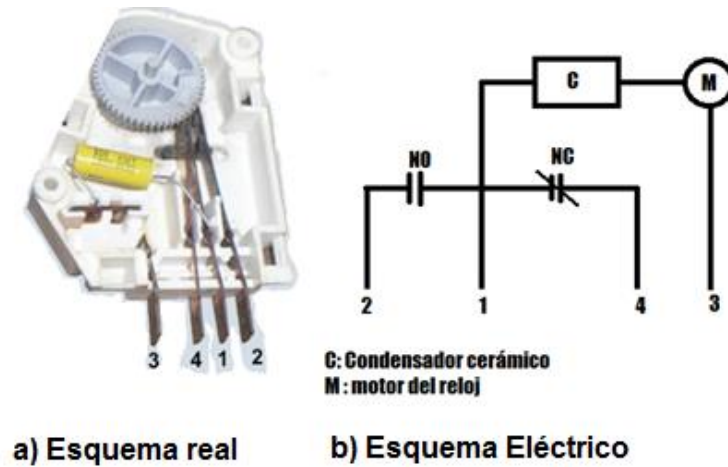
El reloj de deshielo es un contador de tiempo que es utilizado para determinar y controlar los ciclos automáticos de descongelación. El equipo como tal, es un dispositivo electromecánico, básicamente no es un reloj, pero se considera como tal, por marcar unos periodos o ciclos de trabajo que pueden variar entre cada 6, 8 y 12 horas, dependiendo del diseño y con una duración estimada entre 20 y 30 minutos; la alimentación eléctrica puede ser 110/220 V y utilizarse para control del motor del compresor, de pocos o varios HP.

- **Funcionamiento**

El reloj de deshielo está equipado con un pequeño motor eléctrico, que hace funcionar un sistema de discos y piñones, que en su accionamiento determinan el ciclo de descongelación, en el cual abren y/o cierran dos contactos, uno normalmente cerrado (NC) el cual se utiliza para energizar el compresor y el otro normalmente abierto (NO) que se encarga de energizar la resistencia de descongelación.

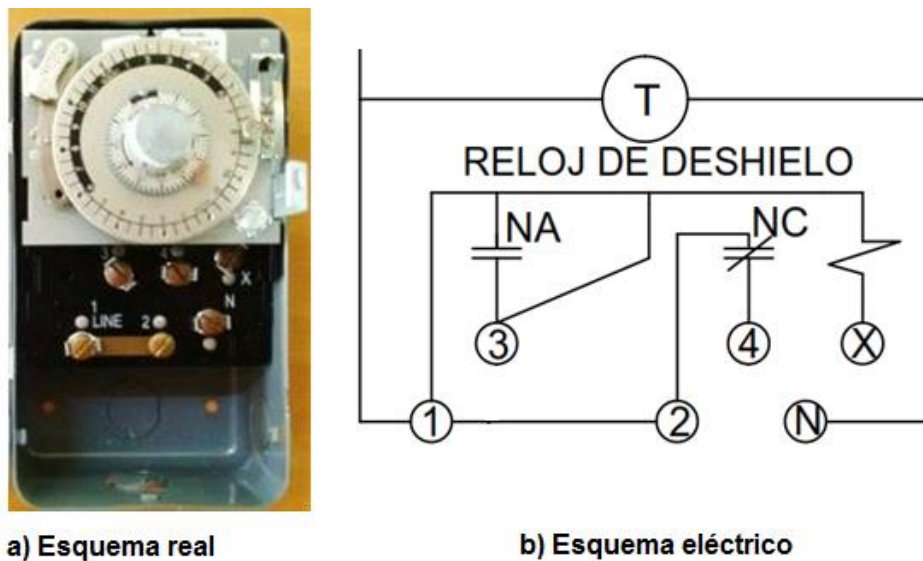
La identificación de estos contactos, usualmente es por medio de una numeración, que en ciertos modelos puede traer hasta un diagrama eléctrico que es de ayuda para su conexión. En la Figura 6, se ilustra un reloj de deshielo utilizado en una aplicación de bajo nivel como un refrigerador común, y en la Figura 7 para un cuarto frío; si bien el dispositivo para cada uno es diferente, el principio eléctrico es el mismo para ambos.

Figura 6. **Reloj de deshielo para un refrigerador comercial**



Fuente: *Reloj de deshielo*. <http://2jjrefrigeracion.blogspot.com/2010/12/revision-del-timer-o-reloj-en-un.html>. Consulta: 13 de noviembre de 2016.

Figura 7. **Reloj de deshielo para un cuarto frío**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

2.1.2.2. Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas forman parte del funcionamiento ideal de un equipo de refrigeración básico o industrial, las mismas se conectan al reloj de deshielo, para que activen los ciclos de trabajo y puedan prever el mejor funcionamiento al condensador para evitar daños por congelación.

Dado que en las máquinas de refrigeración existe un porcentaje alto de humedad, debido al aire que utilizan como fluido secundario caloportador de trabajo para completar el ciclo de enfriamiento; este aire no es seco, es decir, su humedad relativa no es del 0 %. La humedad tiende a concentrarse en el evaporador y se cristaliza debido a las bajas temperaturas y presiones de trabajo.

Esto provoca que se forme escarcha en la superficie de transferencia de calor entre el evaporador y el fluido caloportador, el aire; lo que se entiende como una oposición al flujo de transferencia de calor. Bajo estas condiciones, el equipo pierde confiabilidad de operación y su eficiencia llega hasta niveles inservibles. Es entonces donde el uso de resistencias eléctricas se vuelve tan importante para permitir que se lleven a cabo los ciclos de deshielo o desescarche.

- Tipo de resistencia eléctrica usada

Las resistencias eléctricas que se emplean para la descongelación o deshielo en el sector industrial y de mayor uso en la gama alimenticia (refrigeradores), son resistencias del tipo blindadas y las mismas están distribuidas en el serpentín y en la bandeja de drenaje. Se debe asegurar que el agua que se obtiene de la condensación, debe ser eliminada inmediatamente

del equipo para evitar daños por corrosión o herrumbre. En la Figura 8, se muestra una resistencia eléctrica del tipo blindada.

Figura 8. **Resistencia eléctrica blindada**



Fuente: *Resistencias eléctricas presis.*

http://www.resistenciaselectricaspresis.com//images/portafolio/imagen_id_3083.jpg. Consulta:
16 de noviembre de 2016.

2.1.2.3. Motores eléctricos monofásicos y trifásicos

Los compresores de refrigeración y la mayor parte de los demás equipos del circuito, como bombas y ventiladores, son movidos por motores de corriente alterna (CA). Los motores de corriente directa (CD), se usan ocasionalmente en lugares apartados donde se dispone solamente de corriente directa. Para los motores de corriente directa, su principal aplicación tiene lugar en los dispositivos de control de operación, en donde se utilizan modelos pequeños especiales.

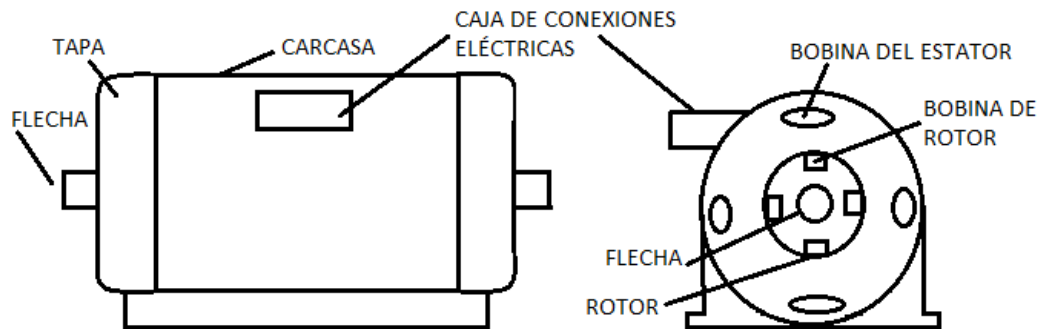
La ventaja de los motores de corriente directa, es que se puede ajustar la velocidad de trabajo solamente con ajustar la tensión eléctrica. Sin embargo, estos motores tienen un diseño más complejo, pues requieren de partes fijas como cepillos para transferir la energía a sus partes móviles, y de un conmutador para invertir la corriente constantemente, los cuales se desgastan constantemente por acción de la fricción. A diferencia de un motor de corriente directa, los motores de corriente alterna son más baratos de fabricar, funcionan a velocidades fijas y son compatibles con la mayor parte de equipos que cuentan con una fuente de alimentación de corriente alterna. En este capítulo, sólo se describirá los motores de corriente alterna, por su mayor uso en la refrigeración industrial.

- Tipos de motores

Los motores de corriente alterna se clasifican como monofásicos o polifásicos (de fase múltiple), también como herméticos o no herméticos. Los motores monofásicos se construyen para utilizar una fuente de corriente monofásica; la mayor parte de los motores polifásicos son trifásicos, y se diseñan para utilizar corriente trifásica.

Los motores herméticos, por lo general, tienen su carcasa sellada y una vez culmina su vida útil se desechan; por lo general se utilizan en refrigeradores. Los del tipo no hermético, son los de mayor uso en la refrigeración industrial, su carcasa no está sellada y puede repararse en dado caso lo amerite la ocasión. En la Figura 9, se ilustra las partes más importantes de un motor de corriente alterna.

Figura 9. **Componentes básicos de un motor de corriente alterna**



Fuente: elaboración propia, con base en: PITA, Edward. *Principios y Sistemas de Refrigeración*. p. 390.

- **Motores Monofásicos**

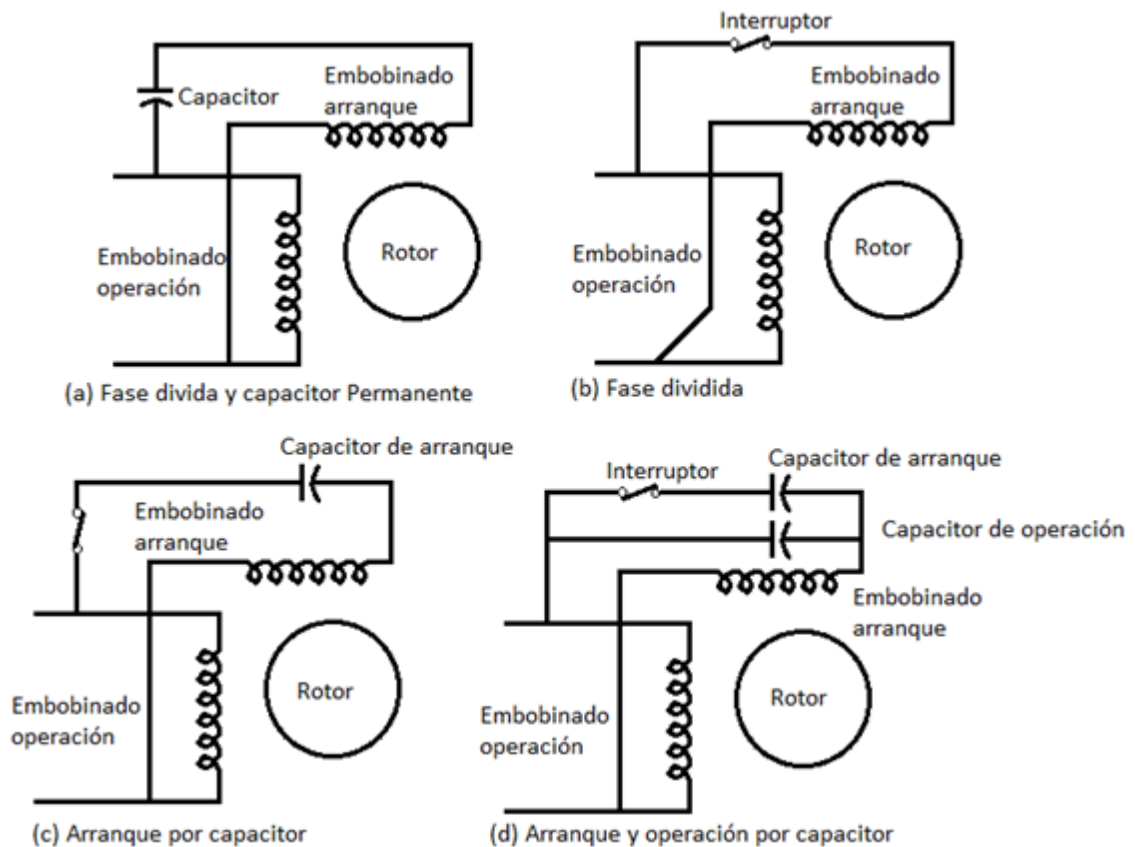
Los motores monofásicos se construyen por lo común para ser utilizados con corriente de 110 V ó 220 V, y son operados en una frecuencia de 60 Hz. Un motor eléctrico opera bajo el principio de convertir energía eléctrica en energía mecánica, producida en forma de rotación. Se construyen para ser alimentados con sólo una fase y existen varios tipos que se diferencian según el modo de arranque. Los de mayor uso son los siguientes:

- Fase dividida: tienen un bajo par de arranque y una eficiencia relativamente baja. Se utilizan en refrigeradores domésticos equipados con tubo capilar.
- Fase dividida y capacitor permanente: se utilizan en unidades pequeñas y comerciales de aire acondicionado, donde no se requiera un par de arranque alto, pero se busca una buena eficiencia.

- Arranque por capacitor: se utiliza para desconectar el circuito de arranque cuando el motor alcanza su velocidad de operación.
- Trabajo por capacitor: es utilizado para obtener un alto par de arranque y una buena eficiencia del motor.

Todos tienen dos juegos separados de embobinados de campo, enrollados alrededor del rotor. En la Figura 10, se ilustran los tipos de motores monofásicos.

Figura 10. Tipos de motores monofásicos

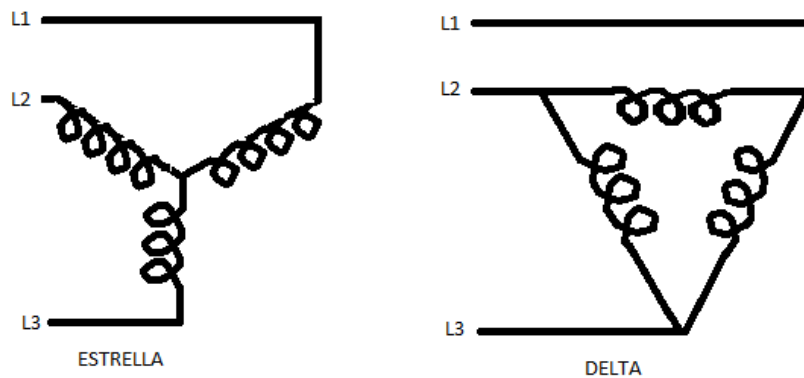


Fuente: elaboración propia, con base en: PITA, Edward. *Principios y Sistemas de Refrigeración*. p. 397.

- Motores Trifásicos

Operan con el mismo principio que el de los motores monofásicos, sin embargo como cada una de las fases está separada 120° , existe un par de arranque y no se necesitan dispositivos para el arranque. El motor trifásico puede estar embobinado ya sea en estrella o en delta, dependiendo del voltaje en servicio. Como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. **Arreglos de los embobinados en los motores trifásicos**



Fuente: elaboración propia, con base en: PITA, Edward. *Principios y Sistemas de Refrigeración*. p. 399.

Los motores de mayor uso en arreglos trifásicos, se pueden mencionar los siguientes:

- Motor de rotor devanado: se utiliza ocasionalmente para mover compresores de gran tamaño, cuando se necesita variar la capacidad de éstos mediante la variación de la velocidad.

- Motor síncrono: se utiliza ocasionalmente para mover compresores de gran tamaño, cuando se necesita variar la capacidad de estos, mediante la variación de velocidad.

2.1.2.4. Elementos de protección

Estos elementos son aquellos encargados de proteger a las instalaciones y equipos ante posibles cortocircuitos, como falsos contactos directos o indirectos, sobrecargas del sistema, además que son de protección a los operarios que manipulan los equipos.

Los más utilizados son interruptores magnetotérmicos, interruptores diferenciales y fusibles. Se describen a continuación los primeros dos. El tema de fusibles se describe en el siguiente apartado.

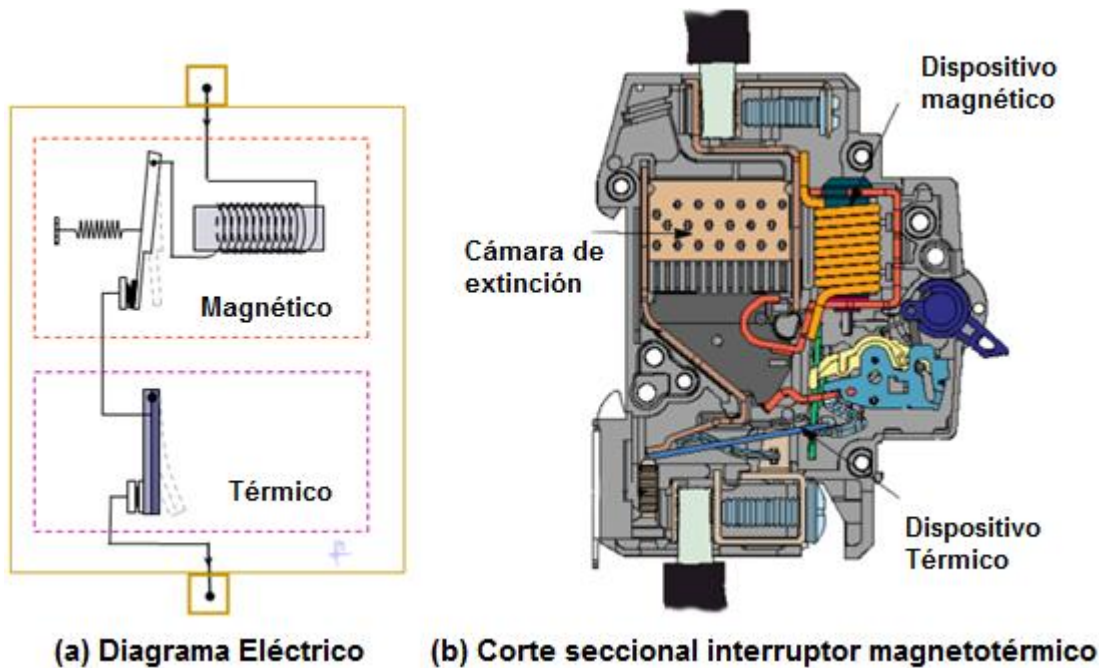
- **Interruptor magnetotérmico**

Es un aparato utilizado para protección de los circuitos eléctricos, que viene siendo una sustitución del fusible, pues proporciona protección contra cortocircuitos y sobrecargas. Se puede decir que una ventaja favorable es que no deben reponerse en caso de ser utilizados frente a una falla, pues solamente se rearman de nuevo y siguen funcionando.

El funcionamiento del aparato se basa en un elemento térmico, el cual es formado por una lámina bimetálica que presentará cierta deformación al pasar por la misma una corriente durante cierta cantidad de tiempo, para el cual está diseñado para proteger al sistema de sobrecargas. Tiene también, un elemento magnético, que está formado por una bobina, cuyo núcleo ejerce una fuerza de atracción a un elemento que abre el circuito, al pasar por la bobina una

corriente de valor definido, o un cortocircuito. En la Figura 12, se ilustra un interruptor magnetotérmico.

Figura 12. **Interruptor magnetotérmico**



Fuente: Tuvera. www.tuveras.com/aparamenta/magnetotermico.htm. Consulta: 16 de noviembre de 2016.

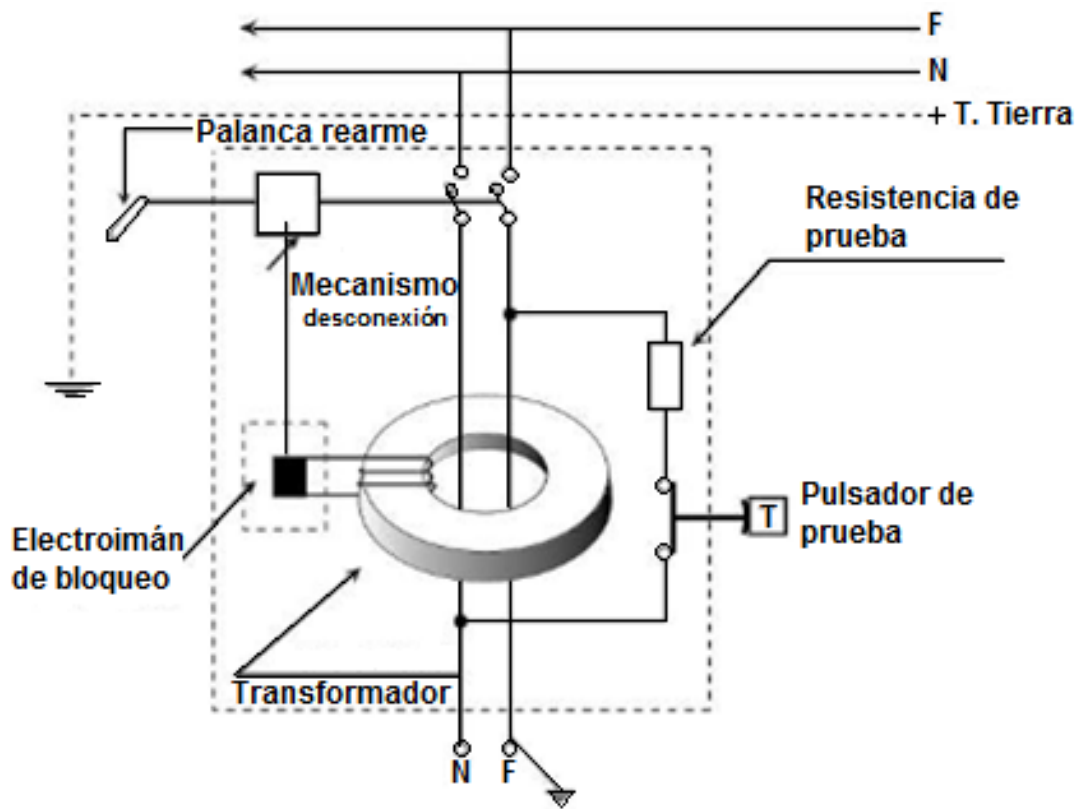
- Interruptor diferencial

Los interruptores diferenciales son dispositivos de protección que actúan contra contactos indirectos, porque su funcionamiento se basa en detectar la diferencia de corriente entre dos conductores.

Para el caso del tipo monofásico, se hacen pasar por el primario del transformador la fase y el neutro de alimentación de la línea o aparato que debe

cuidar (ver Figura 13). El secundario del transformador que es un delgado conductor, el cual está colocado sobre el núcleo de manera que cuando la corriente que circula por el conductor de fase y el neutro son diferentes, se induce una tensión que actúa sobre un electroimán de bloqueo, cuya consecuencia es la apertura de los contactos de la línea de alimentación, protegiendo al equipo.

Figura 13. **Interruptor diferencial monofásico**



Fuente: BUQUÉ, Francisc. *Manuales prácticos de refrigeración*. Tomo IV. p.75.

2.1.2.5. Fusibles

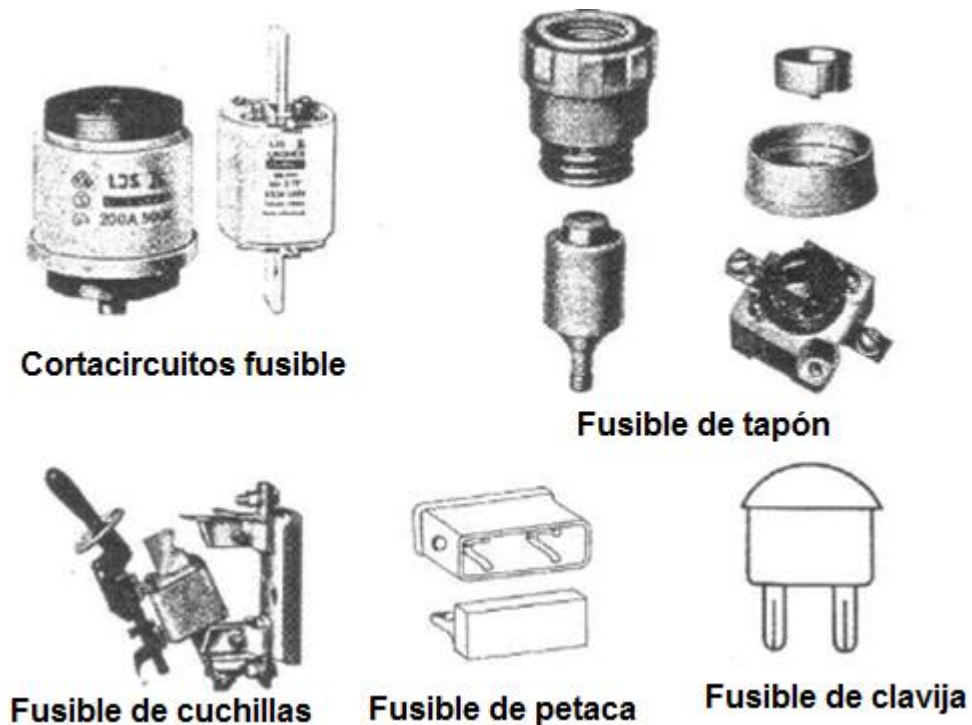
Son elementos de protección eléctrica que deben ir obligatoriamente en las líneas de alimentación antes de conectarles a un equipo o máquina. Por lo general van instalados al inicio de la línea eléctrica y representa un punto débil de la misma. Están formados por un filamento conductor que está calibrado para una específica máxima intensidad eléctrica (amperaje).

Cuando el valor del amperaje sobrepasa el máximo, el calor producido funde el filamento que provoca la interrupción del circuito eléctrico y, como consecuencia, cortando el paso a la corriente.

Según su utilización, pueden ser rápidos o lentos, en ciertas ocasiones especiales traen consigo un percutor, en uno de sus extremos, para informar de que se ha producido la fusión del filamento. El caso más práctico del percutor es en la alimentación de una máquina trifásica; si por algún imprevisto se funde el filamento de una fase, quedarían funcionando las otras dos fases que podrían provocar más fallas, sin embargo con el percutor, corta la alimentación para todas las fases, evitando que se arruine la máquina.

En la Figura 14, se ilustran los tipos de fusibles que se pueden encontrar en los equipos de refrigeración y aire acondicionado.

Figura 14. Tipos de fusibles



Fuente: BUQUÉ, Francesc. *Manuales prácticos de refrigeración*. Tomo IV. p 74.

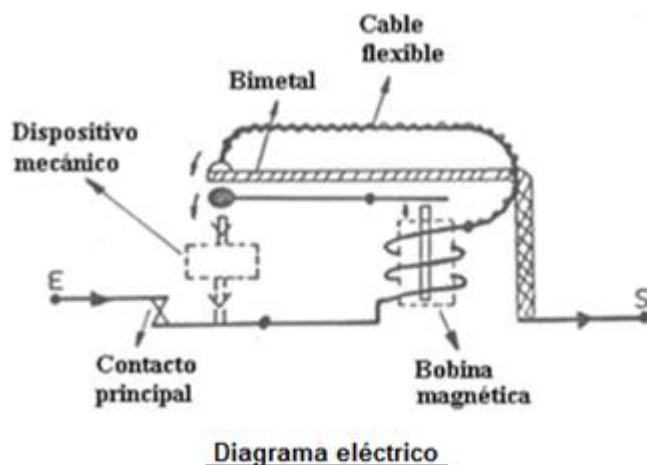
2.1.2.6. Relevadores térmicos de sobrecarga

Es un tipo de protector; por lo general es un dispositivo sensor de corriente, del tipo de servicio piloto. El elemento sensor consiste en un pequeño calentador de resistencia que está conectado en serie con el motor. Cuando se presenta un exceso de corriente, el valor de la temperatura se incrementa repentinamente. Presenta un juego de contactos y un dispositivo que reacciona al calor producido por el calentador, se sitúan en el circuito de control de la bobina de retención.

El tipo de sensor que regularmente es utilizado, es un elemento bimetálico conectado al juego de contactos. Al calentarse este elemento y, por ende hay un incremento de su temperatura, se dobla o tiende a torcerse debido a la diferente expansión que presenta por tener dos metales diferentes, lo que provoca que se abran los contactos a los cuales están conectados, desconectando el contactor del motor.

El dispositivo de sobrecarga se ha de reconectar de forma automática cuando se enfríe el elemento bimetálico, regresando a su posición de inicio y cerrando sus contactos. Una desventaja de este dispositivo, es que se presenta por un cambio considerable en la temperatura ambiente, ya que podría hacer que la sobrecarga opere con un aumento de corriente demasiado grande o demasiado pequeño; este problema se arregla al colocar un segundo elemento bimetálico sensible a los cambios de temperatura ambiente. En la Figura 15, se ilustra un revelador térmico de sobrecarga.

Figura 15. **Relevador térmico de sobrecarga bimetálico**



Fuente: *Relevador bimetálico*. www.cbtis195c15.blogspot.com/2011/10/relevador-bimetalico.html. Consulta: 16 de noviembre de 2016.

2.1.2.7. Iluminación

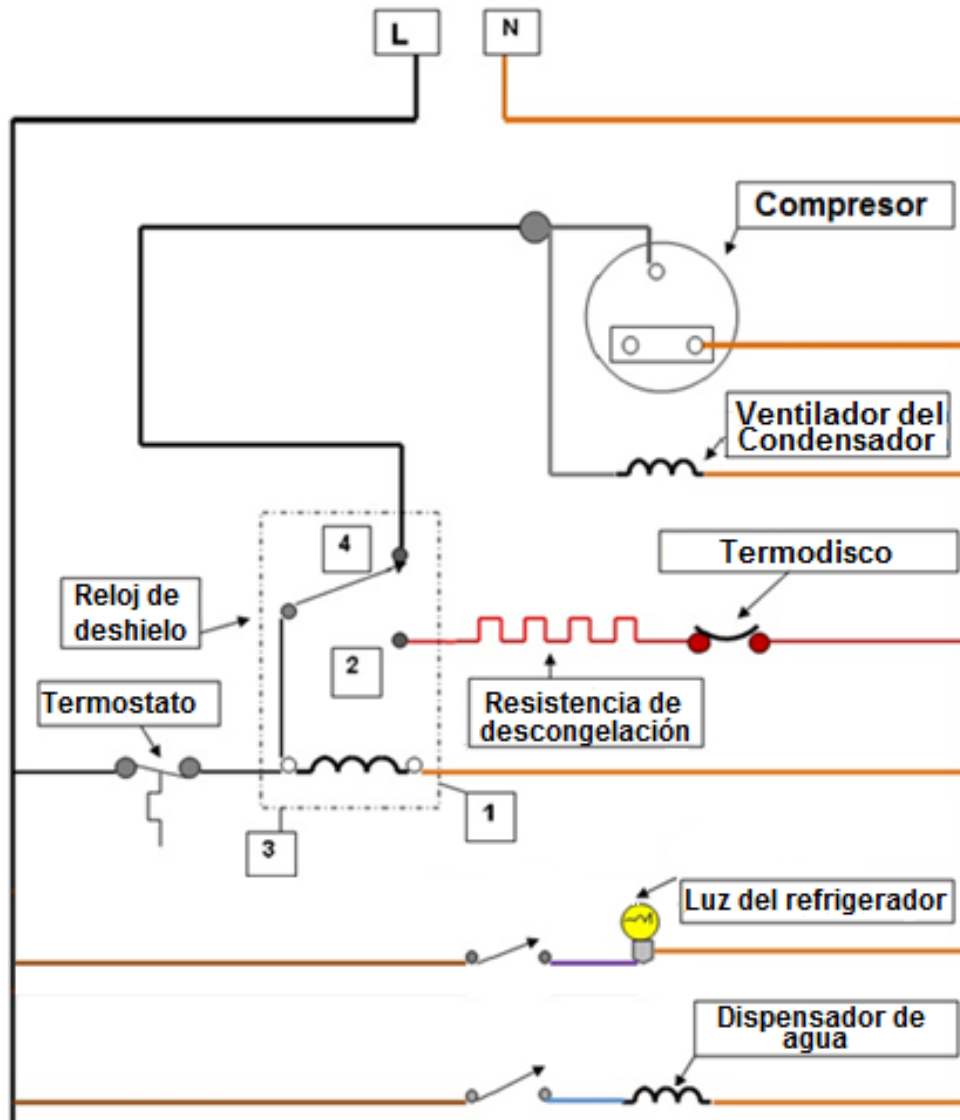
El circuito de iluminación forma parte dentro de la instalación del sistema eléctrico de los equipos y sistemas de refrigeración, generalmente comprende el uso de bombillas y un interruptor, que permite que al ser accionado cierre el circuito y permite el paso de corriente que alimenta a la bombilla y pueda encender.

El circuito de iluminación es alimentado con una fase, 120 V, el tipo de lámpara o bombilla que puede instalarse puede oscilar de 10 a 20 W, y puede ser de filamentos de tungsteno o carbono; hoy en día se prefiere sistemas de iluminación económicas y se muestra gran interés por los focos tipo LED.

Al seleccionar el tipo de bombilla es necesario hacer notar que debe escogerse la que ofrezca menor consumo de potencia, pero que satisfaga las necesidades de iluminación; pues entre menos calor irradie, la carga térmica que se agregue por calor irradiado al sistema por la bombilla, los equipos serán de menor tamaño y todo ello se podrá ver en el ahorro energético, como también en la mejoría de la eficiencia del ciclo termodinámico.

En la Figura 16, se ilustra el diagrama eléctrico de un refrigerador común con su circuito de iluminación.

Figura 16. Circuito de iluminación en un refrigerador común



Fuente: *Refrigeración y aire acondicionado.*

www.refrigeracionyaireacond.blogspot.com/2013/05/refrigerador-no-frost-doble.html. Consulta:

17 de noviembre de 2016.

2.1.2.8. **Relé potencial**

También llamado *relé* de bobina de voltaje. Este tipo de relevador es utilizado con motores que se accionan por un capacitor de arranque y operación. Este tipo de relevador difiere de los otros, como en el caso del relevador de corriente, en que la bobina del *relé* de potencial esta devanada por muchas vueltas de alambre delgado y la forma en que está conectado es en paralelo con el devanado de arranque, en lugar de en serie con el devanado de operación, como en el del tipo de corriente.

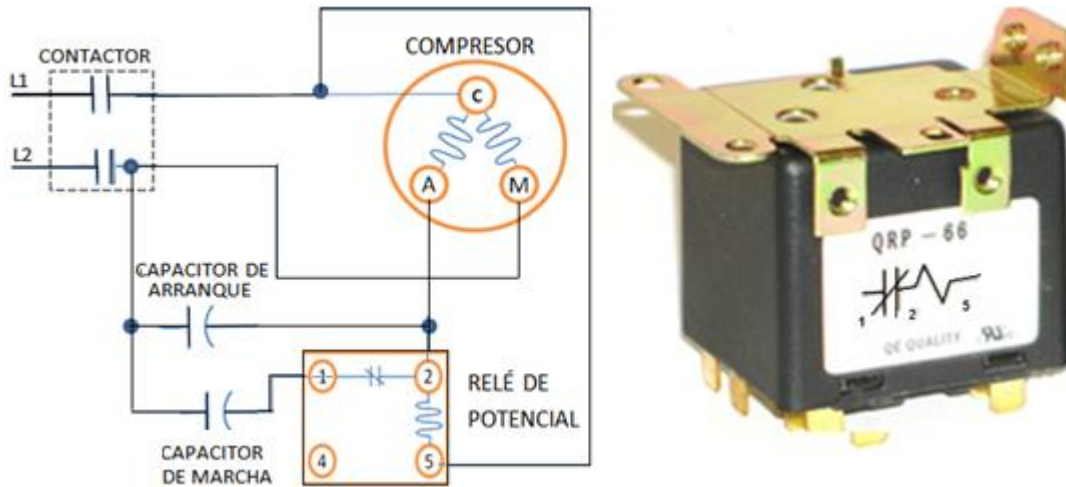
- **Funcionamiento**

Los contactos del *relé* están conectados en serie con el capacitor de arranque y cuando no opera el motor estos se cierran. En el instante en que el motocompresor se conecta, se encuentran en el circuito, tanto el devanado de arranque, como el de operación. Al activarse el motor y conforme va adquiriendo velocidad, la tensión en el devanado de arranque comienza a aumentar a un valor considerablemente arriba del voltaje de línea (aproximadamente mayor 100 %), como respuesta de la acción de los capacitores que se encuentran en serie con este devanado.

El alto voltaje que se genera en el devanado de arranque, produce una corriente lo suficientemente alta en la bobina del *relé*, provocando que la armadura se mueva y pueda abrir los contactos de arranque.

En la Figura 17, se ilustra un *relé* potencial, con su diagramación de conexión eléctrica.

Figura 17. **Relé potencial**



Fuente: Aire acondicionado jr. www.aireacondicionadojr.blogspot.com/2013/06/que-es-un-rele-de-potencial.html. Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.2.9. Capacitor de arranque

Un capacitor, se puede definir como un dispositivo que almacena y descarga electrones. Los capacitores por lo general están compuestos de dos o más placas metálicas, separadas por un material aislante llamado dieléctrico.

- Efecto del capacitor en el motor eléctrico del compresor

Los motores del tipo común de fase dividida, tienen dos juegos de bobinas, arranque y marcha. Las bobinas de arranque son utilizadas para vencer la inercia y permitir al motor arrancar bajo carga. Estas se embobinan con alambre más delgado y muchas más vueltas que las bobinas de marcha. Lo que provoca una mayor resistencia, que comparada con la bobina de marcha, hace que la corriente de marcha se quede atrás de la de arranque. Esta

condición de fuera de fase, que ocurre entre las bobinas de arranque y marcha, produce la torsión necesaria para arrancar el motor bajo carga.

El capacitor de arranque, se debe colocar en serie con la bobina de arranque. Ya que el efecto que debe producir es arrojar la corriente de la bobina de arranque más "fuera de fase" que lo que podría lograrse con la bobina de arranque.

El resultado que se obtiene, es una mayor torsión de arranque, por lo general con un incremento de 300 % a 500 %. Se reduce la corriente de arranque y aumenta el voltaje en la bobina de arranque. Cuando aumenta la velocidad en un 75 % de la velocidad total, el interruptor de arranque se abre y saca al capacitor y a la bobina de arranque del circuito.

Es importante saber que las bobinas de arranque están hechas de alambre delgado y producen alta resistencia, por lo que pueden quemarse fácilmente si se permitiera que permanecieran en el circuito más allá del tiempo correspondiente que le toma al motor llegar a la velocidad de operación.

En la Figura 18, se ilustra un capacitor de arranque.

Figura 18. **Capacitor de arranque**



Capacitor de arranque (*Motor starting capacitor*)

Fuente: Mars Delivers. www.marsdelivers.com/products?pSearch=Capacitor. Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.2.10. Capacitor de marcha

El capacitor de marcha se agrega en serie con la bobina de arranque y en paralelo al capacitor de arranque. Cuando el capacitor de arranque baja su potencial en el momento en que el motor llega a 75 % de la velocidad de operación, el capacitor de marcha permanece y actúa en el circuito, todo el tiempo con la bobina de arranque.

Una de las funciones principales del capacitor de marcha es aumentar su factor de potencia y disminuir el consumo de corriente durante la operación de trabajo. Aun cuando entre sus funciones no está el de ayudar al capacitor de arranque durante el arranque del motor, influye positivamente en el proceso.

Los capacitores de marcha generalmente tienen capacitancia baja, una construcción y presentación muy diferente, en comparación con el de arranque. En la Figura 19, se ilustra un capacitor de marcha.

Figura 19. **Capacitor de marcha**



Capacitor de marcha (*Motor running capacitor*)

Fuente: Mars Delivers. www.marsdelivers.com/products?pSearch=Capacitor. Consulta: 17 de noviembre de 2016.

Se debe tener en cuenta que los capacitores de marcha siempre deben de tener un voltaje mayor al del motor. Esto es debido a que estos capacitores permanecen en el circuito y están conectados a las bobinas, tanto de arranque como de marcha, por lo que están sujetos al voltaje de línea más los que inducen las bobinas. Por ejemplo, un motor de 250 V requiere un capacitor de marcha de 400 V o 470 V.

2.1.2.11. Protector térmico

Es un dispositivo empleado para la protección de los compresores. Los motores del tipo hermético en los compresores de refrigeración, se protegen del sobrecalentamiento por un protector térmico que está montado en su interior o algunas veces alojado por fuera en contacto con la carcasa o *cárter* del compresor.

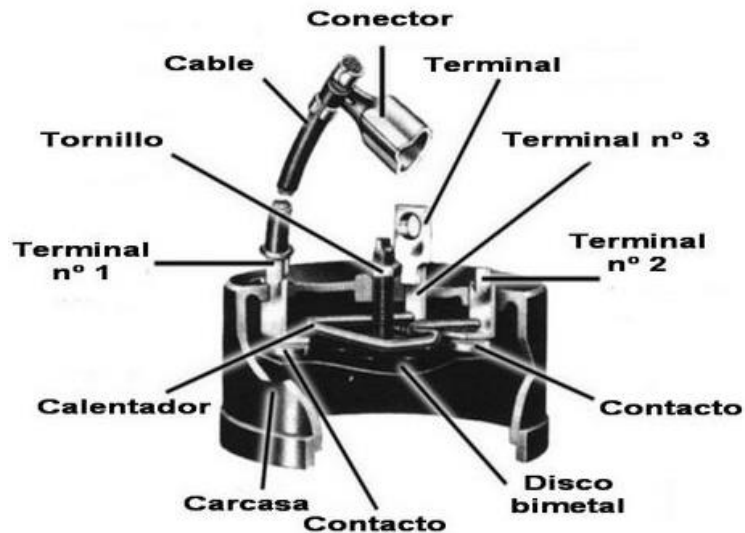
El protector térmico tiene las siguientes funciones de proteger contra:

- Sobrecarga
- Baja tensión
- Bloqueo del motor
- Corto circuito
- Falta de rendimiento

Cuando el protector térmico está conectado correctamente y el mismo está en contacto con el compresor, verifica de forma rápida cualquier siniestro en el incremento de la temperatura o exceso de corriente. El protector térmico tiene un disco bimetálico alojado dentro de su carcasa, el disco reacciona al exceso de temperatura y/o corriente curvándose hacia abajo, desconectando en esta forma la alimentación eléctrica del motor. Una vez la temperatura se nivela, el protector restablece la alimentación al motor.

Usualmente se coloca también un protector térmico interno, protege al motor de las altas temperaturas que puedan presentarse al estar sometido a periodos largos de trabajo. El protector térmico se encarga de proteger a la bobina del compresor cuando esta alcanza entre 120 °C y 130 °C. En la Figura 20, se muestra un protector térmico de disco bimetálico.

Figura 20. **Protector térmico de disco bimetal**



Fuente: Frío *line*. www.frionline.net/articulos-tecnicos/239-el-protector-termico-en-los-compresores-hermeticos.html. Consulta: 17 de noviembre de 2016.

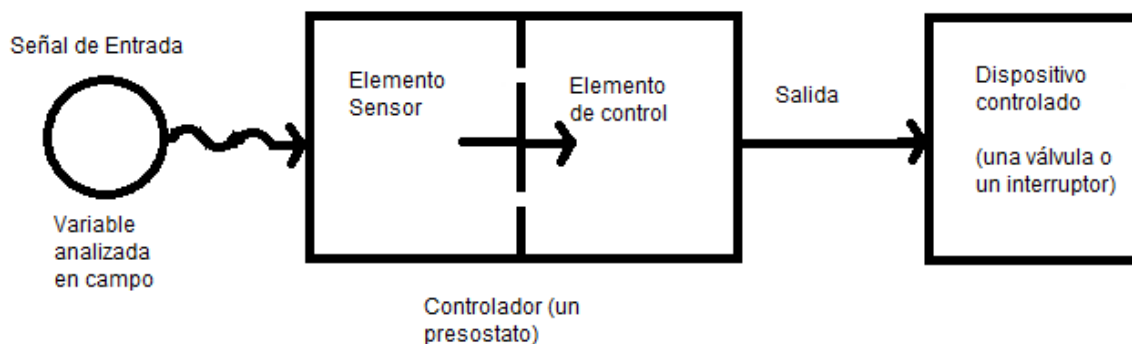
2.1.3. Sistemas de servicio y control eléctrico aplicados en la refrigeración

2.1.3.1. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control junto con sus dispositivos en refrigeración y aire acondicionado, se clasifican de acuerdo a la fuente de potencia utilizada para su operación. Existen dos tipos comunes: neumáticos (utilización del aire comprimido) y eléctricos. Algunos sistemas utilizan otro tipo de control inteligente, llamados electrónicos estos funcionan bajo señales análogas y utilizan protocolos de comunicación, como el protocolo *HART*. Los controles de mayor uso en la refrigeración, son los sistemas eléctricos.

Todos los dispositivos de control funcionan en condiciones de operación semejante. En la Figura 21, se observa los principios básicos de un controlador junto con sus principales funciones.

Figura 21. **Nomenclatura de cualquier control automático**



Fuente: elaboración propia, con base en: PITA, Edward. *Principios y Sistemas de Refrigeración*. p. 405.

El controlador consta de dos elementos importantes, de un elemento primario llamado sensor, y un elemento intermedio llamado elemento de control. El sensor recibe y reacciona a una señal externa, la variable analizada, temperatura o presión. El elemento intermedio, convierte la señal de respuesta en energía útil y la envía al elemento secundario el dispositivo controlado, que suele ser una válvula o interruptor.

Los dispositivos de control por lo general se denominan de acuerdo con el tipo de señal de entrada. En la refrigeración los dispositivos de control más comunes son: de temperatura, presión, humedad y flujo.

- Controles de temperatura:

Este tipo de control se conoce también como termostato. Funciona como un interruptor de conexión y desconexión, controlado por la temperatura dentro de los límites calibrados de fábrica. En la Figura 22, se ilustran algunos tipos de termostatos utilizados en cuartos fríos como refrigeradores comunes.

- Tipos de termostatos de refrigeración para uso comercial e industrial

El termostato es clasificado en grupos dependiendo de su aplicación y características, son los siguientes:

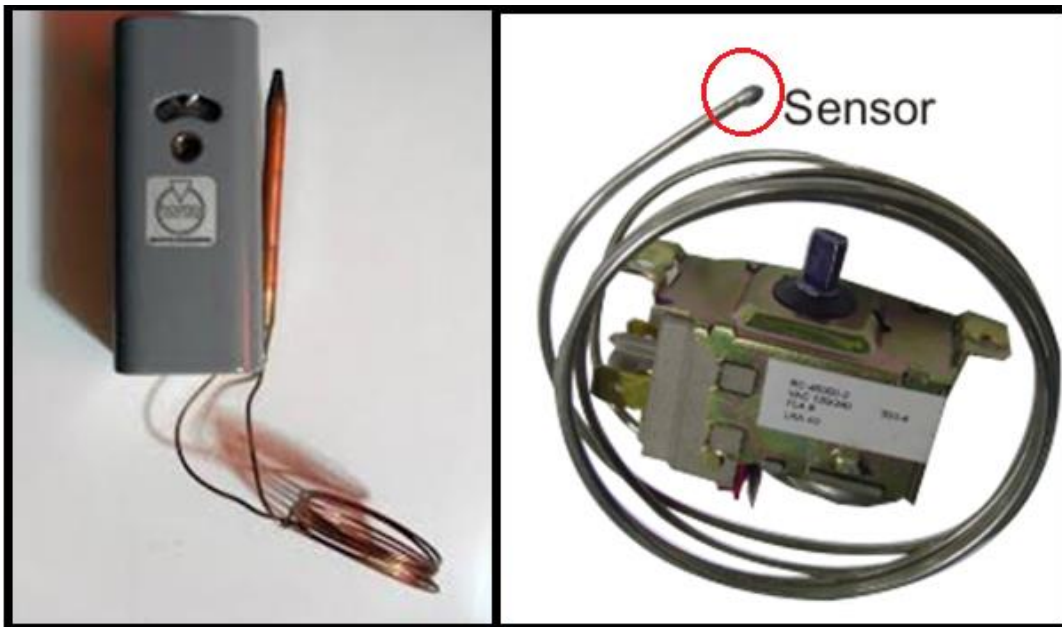
- Termostato de aplicación industrial
 - ✓ Un frío: tiene únicamente una etapa, es decir una entrada y una salida.
 - ✓ Dos fríos: tiene dos etapas, por lo general una entrada y dos salidas.
- Termostato para congeladores.
- Termostato para refrigerador común.

- Controles de presión

Este dispositivo de control se llama presostato. El sensor los hay de dos tipos según su construcción, por fuelle y por diafragma; en cualquiera de los casos está conectado directamente por medio de un tubo abierto al fluido cuya presión suministra la señal al sensor. Los cambios en la presión del fluido son los encargados de activar la señal del presostato, se activa un movimiento en que abre o cierra el circuito mediante un arreglo mecánico. Los tipos de

presostatos descritos se pueden utilizar para: controlador de baja presión y controlador de alta presión. Hay Presostatos que combinan los dos controladores llamados controlador de doble presión. En la Figura 23, se ven algunos presostatos.

Figura 22. **Tipos de termostatos utilizados en refrigeración**

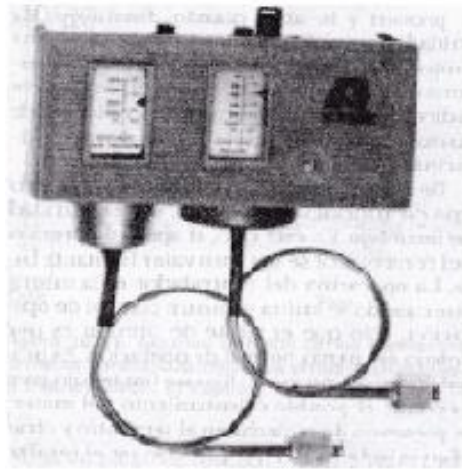


a) Termostato de un frío (2 hilos de conexión)

b) Termostato de dos fríos (3 hilos de conexión)

Fuente: *Refrigeración Colombia*. <http://2jjrefrigeración.blogspot.com>. Consulta: 8 de febrero de 2017.

Figura 23. **Presostato utilizado en refrigeración**



CONTROLADOR DE DOBLE PRESIÓN (BAJA Y ALTA PRESIÓN)

Fuente: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*. p. 418.

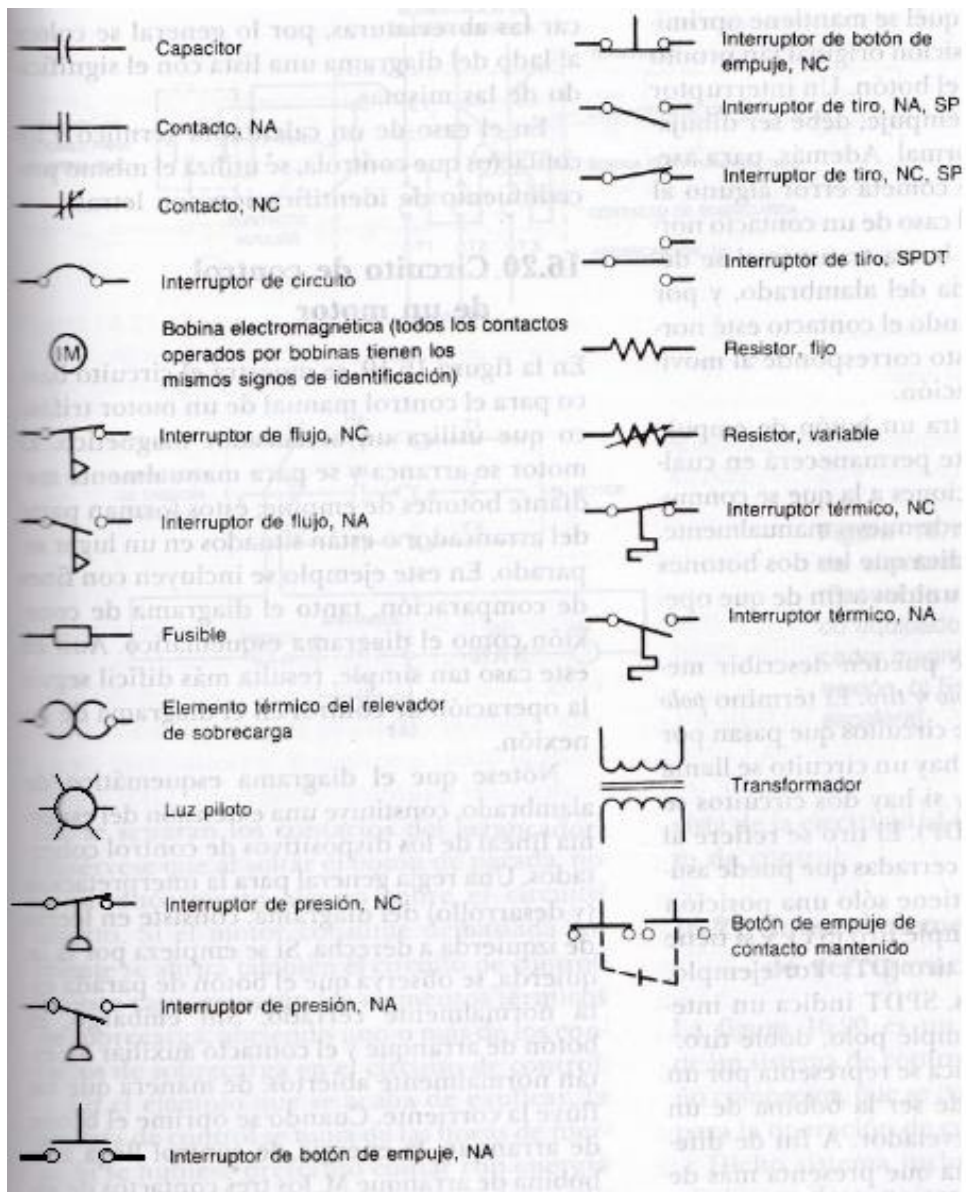
2.1.3.2. **Símbolos del circuito de control**

Para el caso de los diagramas de alambrado del circuito de control, se trazan utilizando símbolos gráficos para representar los equipos incluidos. En la Figura 24 se incluye un listado de la mayor parte de símbolos utilizados, estos mismos son utilizados en los sistemas de aire acondicionado, pero se debe esclarecer que como este procedimiento no está normalizado, es necesario contar con un listado de símbolos por aplicación (refrigeración o aire acondicionado).

Se debe explicar algunos de los símbolos proporcionados, pues el empleo de los mismos dentro del diagrama esquemático, no asegura el entendimiento correcto de la función que emplea. Haciendo referencia siempre

a la Figura 24, se puede agrupar los dispositivos presentes en cualquier circuito eléctrico como interruptores o cargas.

Figura 24. **Símbolos de un circuito de control eléctrico**



Fuente: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*. p. 421.

Los interruptores son utilizados para establecer o interrumpir un circuito, no utilizan energía. Las cargas son dispositivos que utilizan energía como bobinas, luces, resistencias, motores y cualquier otro dispositivo que consuma energía. El símbolo del interruptor siempre debe indicar su posición normal. La posición normal es aquella en la que el interruptor no se encuentra ni energizado (automático) o accionado (manual).

Los contactos son conexiones del circuito que se cierran o se abren. Hay dos tipos según su posición de reposo: normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC). Un contacto momentáneo, hace referencia a que la posición de cambio sólo se mantiene mientras el actuador externo lo mantenga presionado, es decir no conmuta automáticamente. También se tiene el del tipo botón de empuje y mantenido; el que más interesa es del tipo mantenido, ya que este permanecerá en cualquiera de sus dos posiciones de trabajo a la que se conmute, retornando manualmente.

Los interruptores se pueden describir mediante los términos polo y tiro. El término polo hace referencia al número de circuitos que pasan por el interruptor, los hay de un circuito llamado de simple polo (SP), y hay de doble polo (DP). El término tiro se refiere en cambio, al número de posiciones cerradas que tiene el interruptor; si sólo es de una posición se llama de simple tiro (ST) y si tiene dos posiciones se llama de doble tiro (DT).

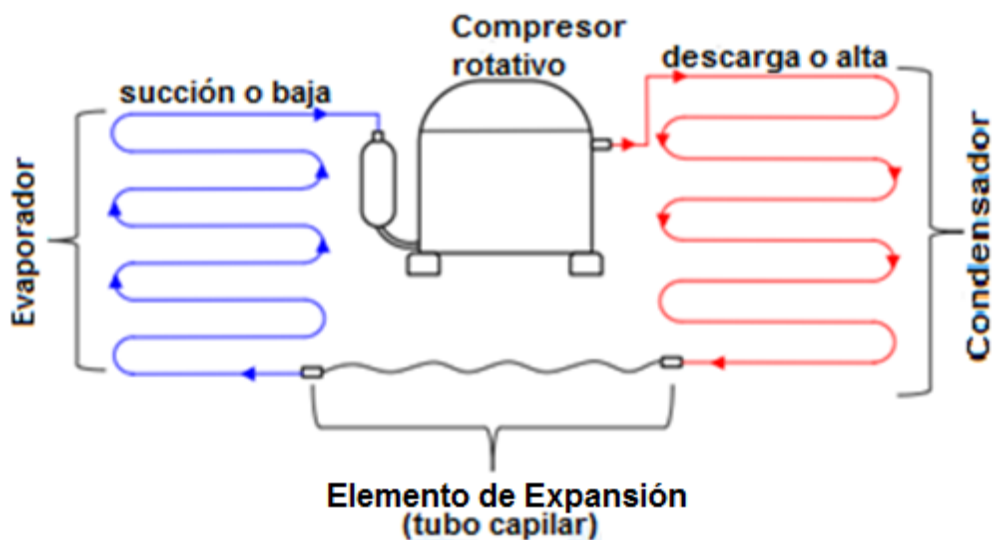
Una bobina magnética el símbolo que la representa es un círculo. La misma puede ser la representación de la bobina de un contacto o un *relé*.

2.1.3.3. Diagramas de alambrado

Se suelen utilizar dos tipos de diagramas, uno para graficar las conexiones de quipos y el otro para representar las conexiones eléctricas de los mismos. Se conocen con el nombre de diagrama gráfico o de conexión; el otro diagrama esquemático.

- Diagrama de conexión: muestra cada componente y sus partes en la posición real, a escala; como también las conexiones de alambrado entre y dentro de cada dispositivo se indican tal cual en la conexión real. Este tipo de diagrama de alambrado es muy gráfico, y resulta ser de mucha utilidad en la instalación y trazado del alambrado. En la Figura 25, se aprecia una conexión de equipos de un sistema de refrigeración industrial por compresión de vapor.

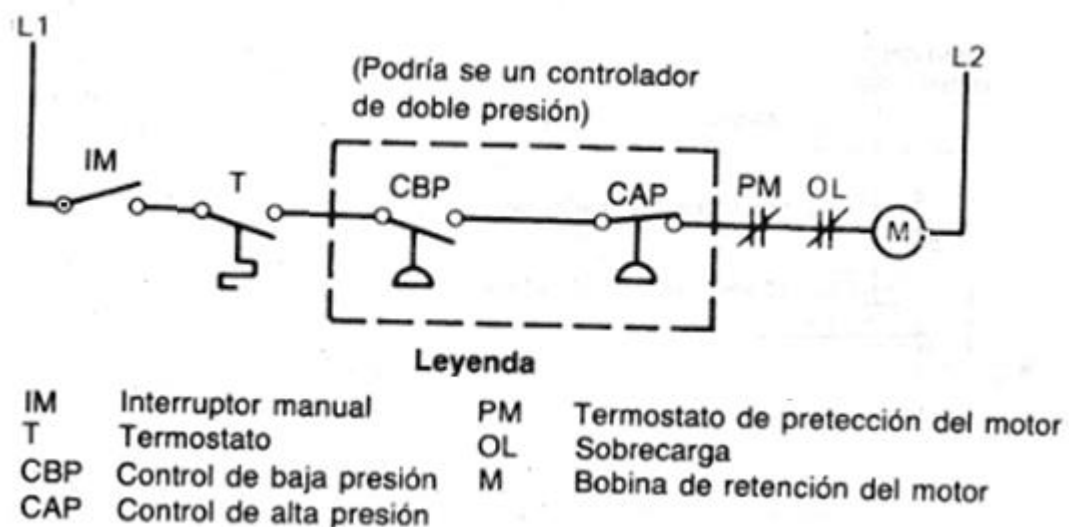
Figura 25. Diagrama de conexión de un sistema de refrigeración



Fuente: elaboración propia, con base en refrigerador SAMSUNG modelo DA68-02521A.

- Diagrama esquemático: es un esquema auxiliar para entender el funcionamiento del sistema de control. No muestra los componentes en su posición real, en vez de esto, los circuitos se trazan de forma horizontal y las líneas de energía de control (toma de corriente, líneas de voltaje). A cada circuito se representan con dos líneas (tres o cuatro, si son conexiones trifásicas). Este diagrama es muy parecido al diagrama de escalera. En la Figura 26, se ilustra un diagrama esquemático.

Figura 26. Diagrama esquemático de un compresor de refrigeración



Fuente: PITA, Edward. *Principios y sistemas de refrigeración*. p. 424.

2.1.4. Diagramas y esquemas de instalaciones de circuitos frigoríficos

Los diagramas permiten entender las conexiones eléctricas y mecánicas de los equipos; se hace un resumen de los tipos de sistemas junto con sus conexiones, más comunes en la refrigeración industrial.

2.1.4.1. Refrigerador básico

Un refrigerador básico, está compuesto de varios elementos mecánicos y eléctricos, se describen los más importantes en las Tablas II y III.

Tabla II. **Componentes mecánicos**

No.	Componentes básicos
1	Compresor
2	Condensador
3	Elemento de expansión (tubo capilar o válvula de expansión termostática)
4	Evaporador
5	Tuberías

Fuente: elaboración propia, con base en refrigerador SAMSUNG modelo DA68-02521A.

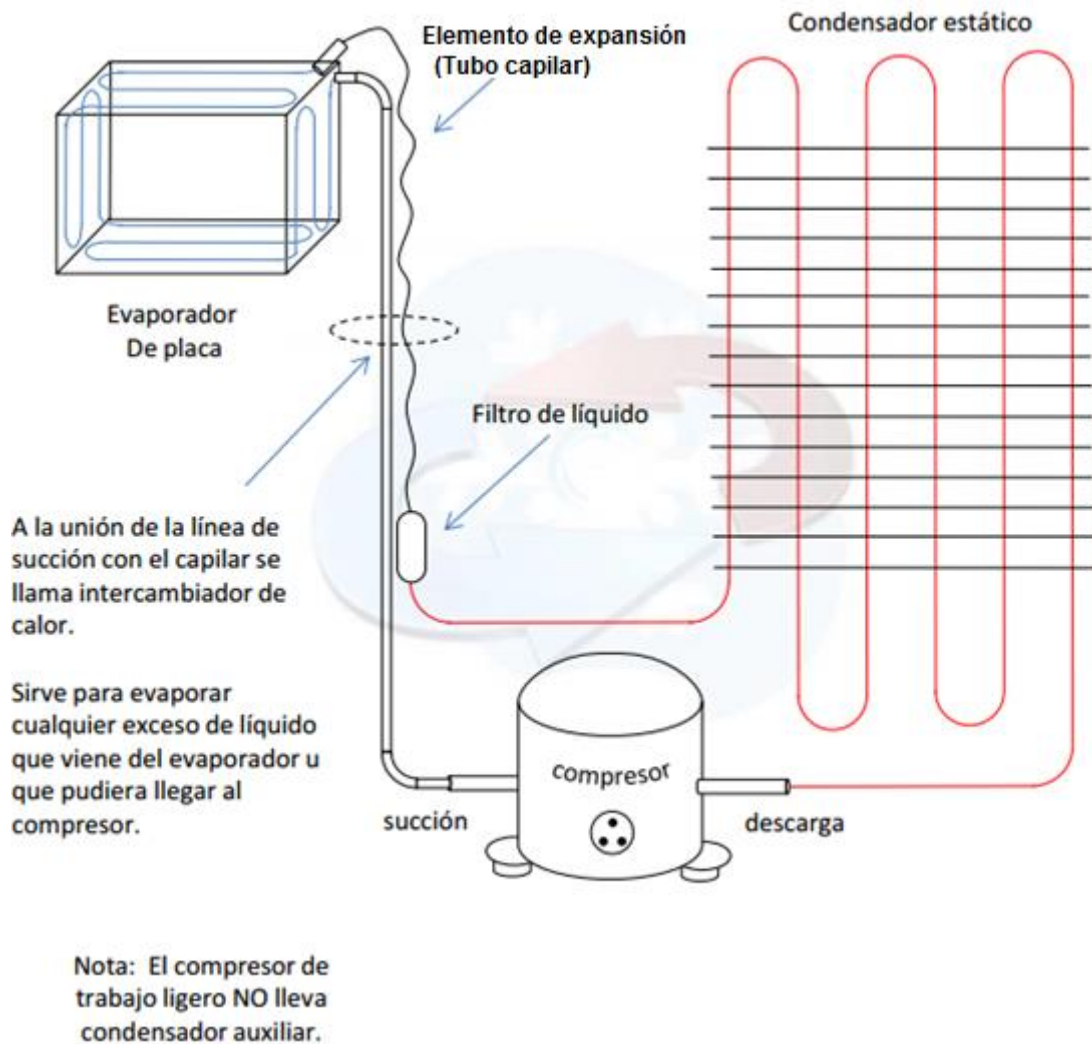
Tabla III. **Accesorios electromecánicos**

No.	Componentes
1	Termostato
2	Reloj de deshielo
3	Motor de ventilador interno y externo, (IFM y OFM)
4	Resistencia de descongelamiento
5	Relé de corriente
6	Capacitores
7	Circuito de iluminación
8	Filtro secador

Fuente: elaboración propia, con base en refrigerador SAMSUNG modelo DA68-02521A.

En las Figura 27 y 28, se ilustran los diagramas para el refrigerador básico.

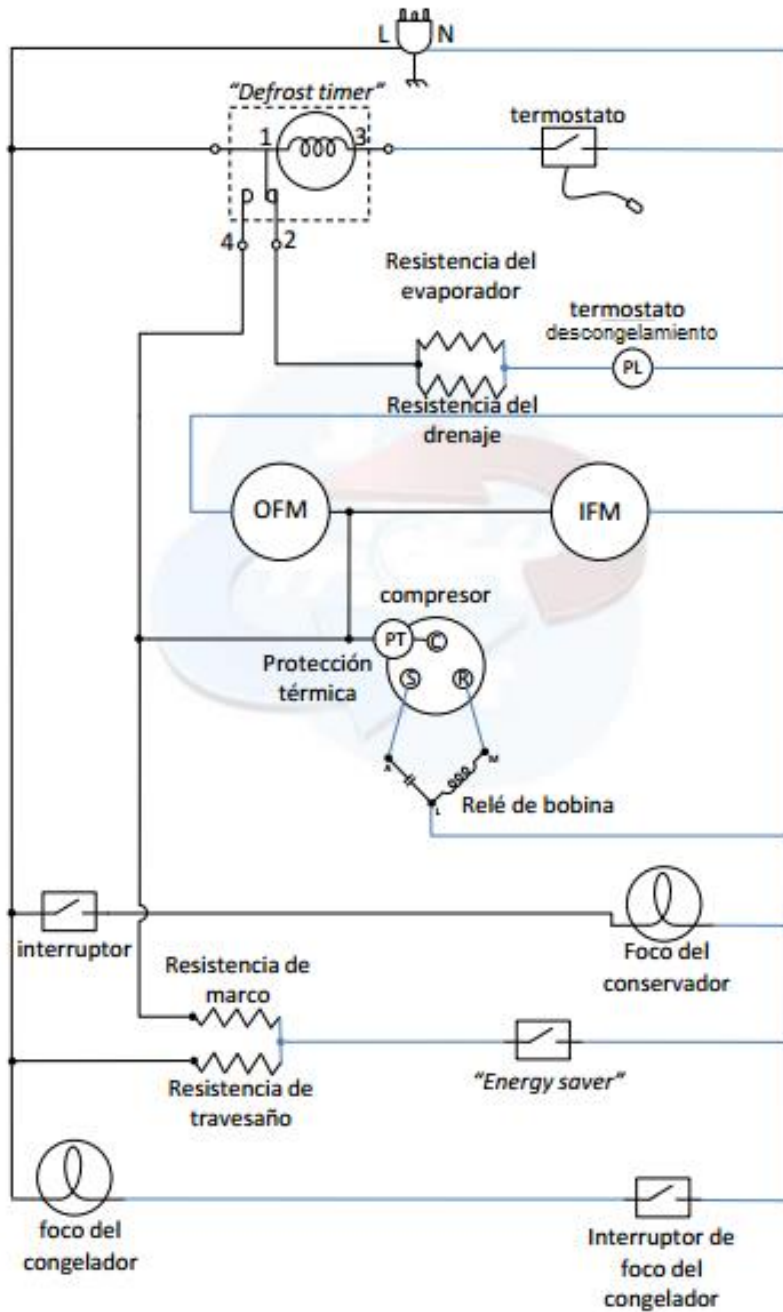
Figura 27. Diagrama de conexión mecánica del refrigerador común



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

Figura 28. Diagrama de conexión eléctrica del refrigerador común



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.4.2. Refrigerador con válvula solenoide

La válvula solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, se utiliza para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o cerrada. Este tipo de válvula se cierra por gravedad, por presión o la acción de algún resorte. Se compone de dos partes elementales, un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula.

Existe una gran variedad de varios tipos de válvulas solenoide, las cuales pueden dividirse según su aplicación, construcción y forma. La categoría de mayor aplicación en la refrigeración es por su aplicación, es decir, a la capacidad del sistema donde ha de ser instalada la válvula.

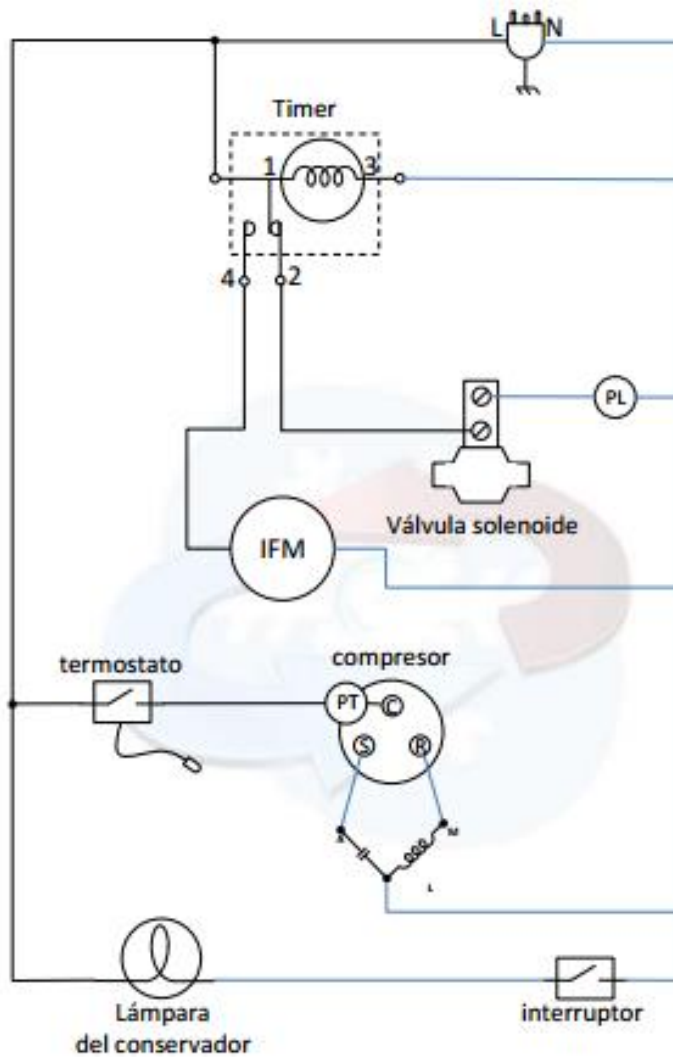
Los grupos principales de tipos de válvulas solenoide son:

- De acción directa
- Operadas por piloto
- Por su construcción
 - Normalmente cerradas
 - Normalmente abiertas
 - De acción múltiple
- Por su forma
 - De dos vías
 - De tres vías
 - De cuatro vías o reversibles

La válvula solenoide de tres vías es la de mayor utilización en equipos de refrigeración industrial, pues permiten el control de dos líneas de refrigerante al mismo tiempo. Su mayor aplicación es para los sistemas de descongelamiento por gas caliente o bien recuperación de calor al sistema. En los diagramas

siguientes, se ilustra su aplicación. En la Figura 29, se ilustra un refrigerador con válvula solenoide.

Figura 29. Refrigerador con válvula solenoide de tres vías



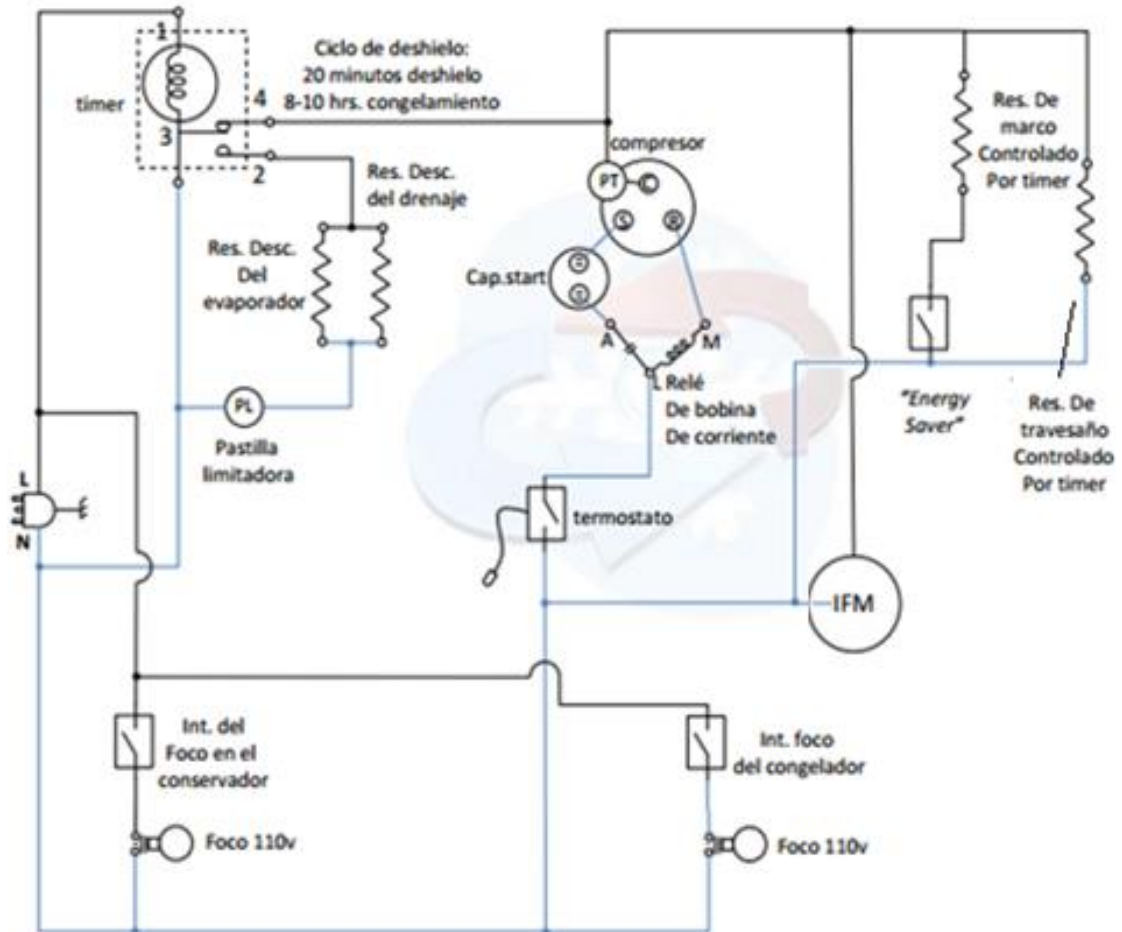
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.4.3. Unidad de refrigerador de aire con deshielo por resistencias

El ciclo de deshielo es llevado a cabo por resistencias eléctricas, que son controladas por el reloj de deshielo (*timer*). En la Figura 30, se muestra el diagrama del equipo con resistencias eléctricas.

Figura 30. Refrigerador con deshielo por resistencias



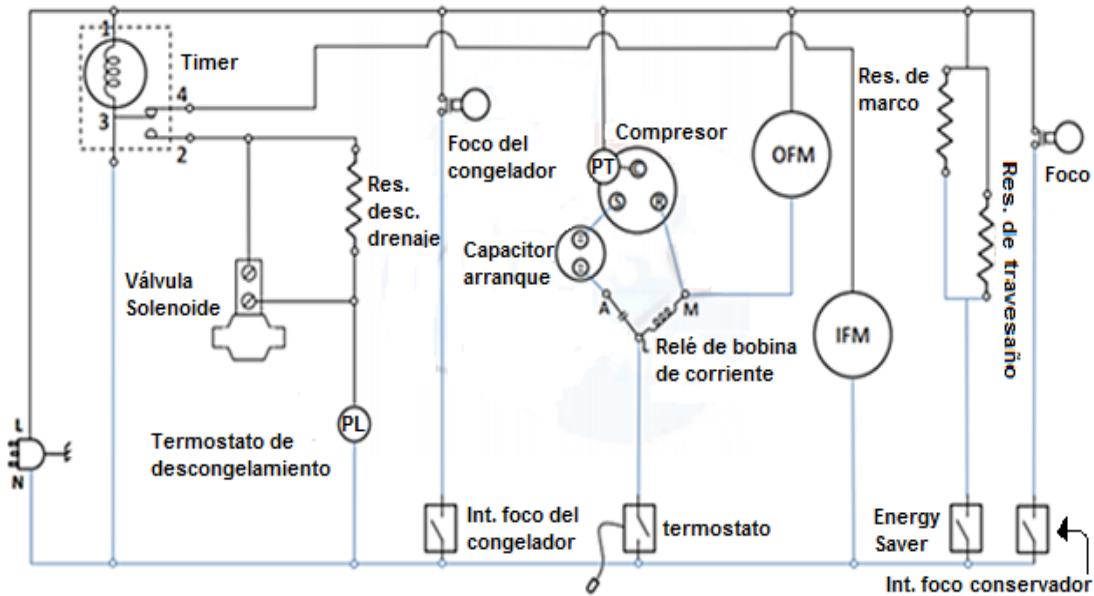
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.4.4. Unidad de refrigerador de aire con deshielo por ventilación

En la Figura 31, se ilustra un refrigerador con ciclo de deshielo por ventilación.

Figura 31. Refrigerador con deshielo por ventilación



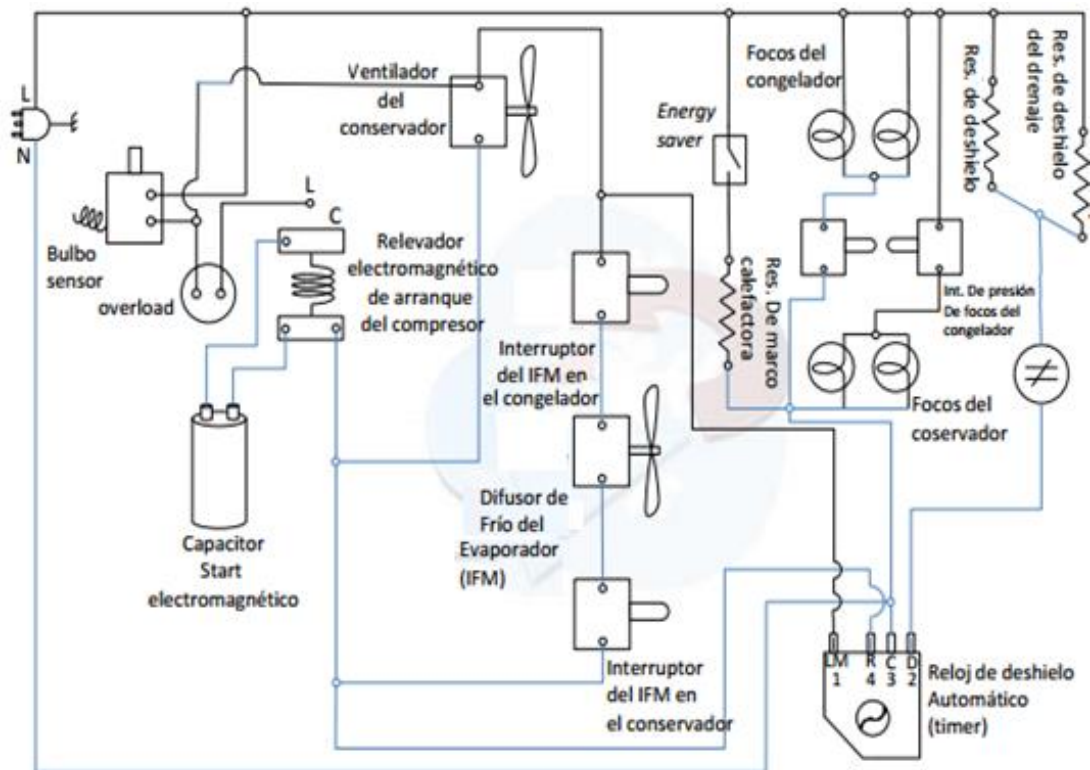
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.4.5. Refrigerador con sistema de deshielo automático por resistencia calefactora

En la Figura 32, se ilustra un refrigerador cuyo sistema de deshielo es automático y posee una resistencia calefactora, se encuentra en los modelos más modernos.

Figura 32. Refrigerador con deshielo por gas caliente



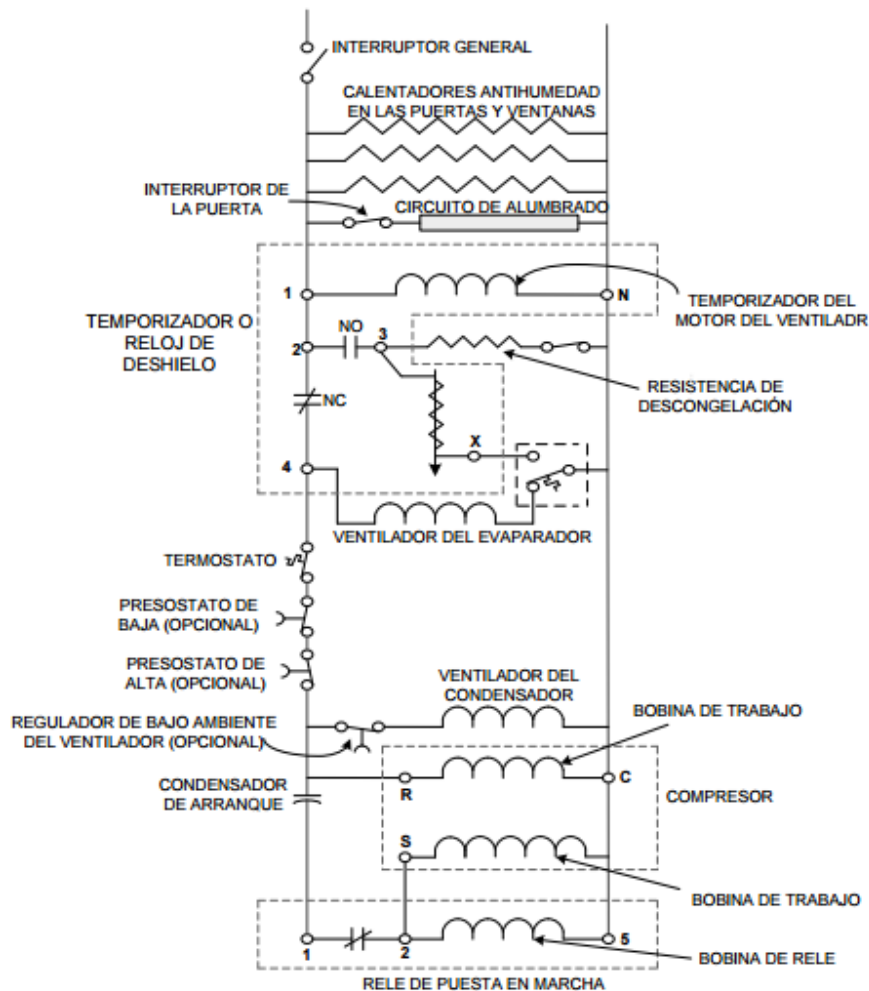
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 17 de noviembre de 2016.

2.1.4.6. Bodega frigorífica industrial

En la instalación para una bodega frigorífica industrial, los equipos son de distintos tamaños, capacidades y alimentación eléctrica. En la Figura 33, se ilustra la conexión eléctrica de los equipos para un cuarto frío.

Figura 33. Conexión eléctrica para un cuarto frío



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 18 de noviembre de 2016.

2.2. Aire acondicionado

2.2.1. Principios generales del aire acondicionado

Durante muchos años el hombre pudo adaptarse a las variables épocas climatológicas que inciden en la vida diaria, cuando la temperatura descendía el uso de las fogatas proporcionaba calor a quien estuviese cerca de la misma; cuando era la época de verano el uso de mantas mojadas a fin de que la corriente de aire pasase a través de las mismas, daba sensación de frescura. Todos estos procesos en los que el hombre se involucraba, vendrían siendo lo que hoy se conoce como acondicionamiento de aire.

Que no fue hasta principios de 1950, cuando el aire acondicionado tuvo mayor impacto.

2.2.1.1. Campo del acondicionamiento de aire

El término acondicionamiento de aire se le suele atribuir el significado de enfriamiento de aire, sin embargo este significado está muy lejano a lo que realmente significa e involucra el acondicionamiento del aire. Se puede esclarecer una definición más exacta, de mayor uso en la industria y que es:

El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento.³

Para lograr estas condiciones descritas anteriormente se debe hacer lo siguiente:

³ PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p 2.

- Temperatura: para el aire, su temperatura se controla calentándolo (adición de calor) o enfriándolo (remoción de calor).
- Humedad: esto es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, se controla agregando o eliminando vapor de agua al aire, humidificación y deshumidificación, respectivamente.
- Limpieza: se controla mediante la filtración y ventilación; para el primer caso se utilizan filtros capaces de remover impurezas, en el segundo es la introducción de aire limpio sustituyendo al aire anterior.
- Movimiento: mediante el empleo adecuado, se puede agregar y direccionar el movimiento del aire.

Ciertas residencias tienen una combinación de equipos de calefacción y enfriamiento de aire que les permite controlar la temperatura y humedad del aire en condiciones de invierno o verano. Los sistemas de acondicionamiento de aire industrial usados en las construcciones comerciales e instituciones así, como en hoteles de lujo, son capaces de controlar durante todo el año, las variables descritas anteriormente. Por tal razón a esos sistemas de acondicionamiento de aire se les suele llamar sistemas de control ambiental porque son sistemas completos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (sistemas HVAC, por sus siglas en inglés).

Las principales aplicaciones de los sistemas de acondicionamiento de aire se usan para dar *confort* a las personas o en el control de procesos. Existen industrias que el cuarto donde se colocan las computadoras debe estar climatizado a una temperatura específica y una humedad establecida para el correcto funcionamiento de las computadoras. Otras aplicaciones industriales son en instalaciones textiles, de imprenta, fotográficas e instalaciones médicas.

2.2.1.2. Componentes del aire acondicionado

Se sabe que el calor fluye de las zonas más calientes a las más frías, en la época de invierno hay una gran pérdida de calor de la parte interior de un cuarto hacia el exterior; si el aire que circula por el edificio o cuarto debe mantener el *comfort*, se ha de suministrar calor en forma continua hacia el cuarto o las habitaciones, el equipo necesario que agrega calor se llama sistema de calefacción.

En verano, el efecto termodinámico es el mismo, pero ahora el calor se filtra del exterior al interior, y de igual forma si la temperatura dentro del cuarto ha de ser confortable, conviene eliminar el exceso de calor a fin de prever una situación cómoda o de frescura. Al equipo que elimina este calor se llama sistema de enfriamiento.

Los sistemas de acondicionamiento de aire son capaces de proporcionar calefacción, enfriamiento o ambos. El tamaño de los mismos puede ser muy complejo (sistemas de aire acondicionado para edificios de más de 15 niveles) o compactos (unidad de ventana, *Mini Split*, etc.); conservando siempre los mismos principios de operación.

Todos los sistemas de calefacción y enfriamiento tienen como mínimo los siguientes componentes básicos:

- Una fuente de calefacción, que agrega calor a una sustancia, que puede ser: aire, agua o vapor.
- Una fuente de enfriamiento, que elimina calor de una sustancia.
- Un sistema de distribución, es una red de ductos o tuberías que transportan aire, agua o vapor hacia los lugares a climatizar.

- Ventiladores o bombas para mover el aire o el agua, respectivamente.
- Dispositivos para transmitir el calor entre el fluido y el recinto, como radiadores.

Junto con todos estos elementos mecánicos, se hace el hincapié que estos sistemas se complementan con otros elementos como controles automáticos, dispositivos de seguridad, válvulas, reguladores de tiro, dispositivos de aislamiento, reducción de ruido y vibraciones.

2.2.1.3. Confort humano

Para entender parte del acondicionamiento de aire, primero se debe partir del *confort* humano, que son las necesidades que afectan la comodidad.

La pérdida de calor corporal es un factor que se debe analizar para prever un *confort* adecuado. El factor que determina si uno siente calor o frío es la velocidad de pérdida de calor corporal. Cuando la velocidad queda dentro los límites correctos existe una sensación confortable, pero si esta es muy rápida se siente frío, y por el contrario cuando está bajo, se siente calor.

Los procesos mediante el cual el humano tiende a perder calor son tres: convección, radiación y evaporación. A la velocidad de pérdida la afectan cinco factores:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Temperatura de los objetos circundantes
- Ropa

La calidad del aire, es otro factor que afecta el *comfort* y la salud corporal. La calidad del aire hace referencia a la pureza del mismo, que suele empeorar con la presencia de contaminantes como polvos, gases tóxicos, humos, olores y otros gases indeseables. Para contrarrestar este problema se pueden emplear filtros para eliminar las partículas suspendidas en el aire y, para el caso de los gases no deseables o tóxicos, el uso de sustancias químicas absorbentes.

2.2.2. Descripción de los componentes básicos en un circuito eléctrico de aire acondicionado

Al igual que en un sistema de refrigeración, los equipos y sistemas de refrigeración, tanto para uso en el hogar como los del tipo industrial, tienen componentes eléctricos que permiten el funcionamiento de todo el sistema, además constan de elementos de protección y de control; la mayor parte de los equipos posee motores eléctricos y son pocos, si no es que nulos, los equipos que son alimentados con un motor de combustión interna. Es por ello que los equipos, accesorios y protectores eléctricos sean seleccionados correctamente bajo el uso al que estarán sometidos, todo ellos para no afectar la eficiencia del equipo.

En los siguientes apartados, se describen los elementos eléctricos que se han considerado los más importantes y que están presentes en la mayor parte de equipos, no importando si es para un equipo de capacidad de 1 tonelada de refrigeración (TRF) o para cientos de miles TRF.

2.2.2.1. Interruptor selector

Es utilizado como control eléctrico para encender y apagar la unidad. La función que tiene a su cargo es la elección del compresor y las velocidades del ventilador. Existen 3 tipos de selectores, éstos son:

- El rotativo
- El de teclas
- El digital

La diferencia entre los tipos de selectores radica por la forma de construcción y el tipo de control al que responden, análogo o digital. Porque la función es la misma, no importando el tipo de selector que se seleccione.

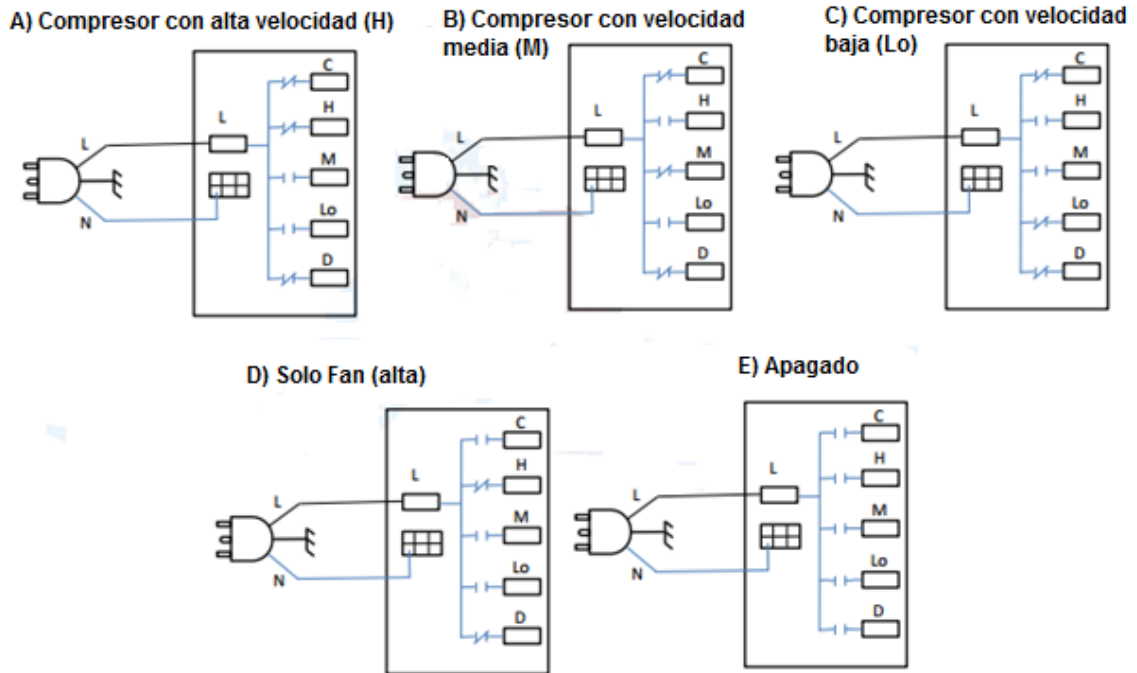
En la Tabla IV, se describe las posiciones en las que se puede colocar el interruptor selector para hacer variar la velocidad del compresor, se describe también cuando está funcionando solamente el ventilador. La Figura 34 ilustra lo descrito en la Tabla IV.

Tabla IV. **Posición del interruptor selector**

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Compresor con alta velocidad (H)
2	Compresor con velocidad media (M)
3	Compresor con velocidad baja (Lo)
4	Sólo ventilador (alta)
5	Apagado

Fuente: elaboración propia, con base en Manual de *Mini Split* Toshiba 1 TRF. p 41.

Figura 34. Posiciones del interruptor selector



Fuente: elaboración propia, con base en Tabla IV.

2.2.2.2. Termostato

Se le denomina también como dispositivo empleado para mantener la temperatura. Se colocan en un sector determinado dentro del espacio que será climatizado y está conectado al equipo que debe modular la temperatura. Son dispositivos pequeños y por lo general se les puede encontrar en forma programable, no programable y digital; los primeros dos son termostatos del tipo análogo.

Los termostatos funcionan por la detección de calor, cierran sus puntos y activan un mecanismo que enciende el equipo para que vuelva a establecer la temperatura al cual fue calibrado el equipo. Por ejemplo en el caso de un

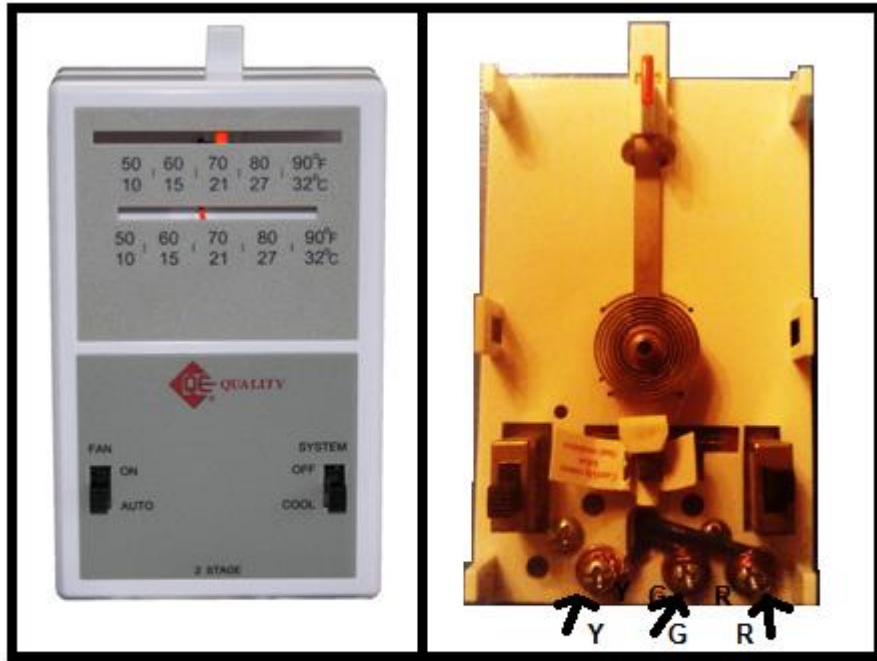
equipo del tipo *Mini Split*, cuando el termostato envía la señal se procede a encender el compresor de la unidad exterior (evaporadora) y el ventilador de la unidad interior (manejadora), por la misma sale el aire a baja temperatura, dando la sensación de frescura.

La instalación eléctrica es de suma importancia en estos equipos, la mayoría de los termostatos se conectan a una línea de 24 V, son monofásicos y operan en una frecuencia de 60 Hz; no consumen mucho amperaje lo que los hace ser ahorrativos. Para la conexión del termostato, a la línea de 120 V se le puede colocar un transformador con una relación específica para que en sus bornes de salida tenga un potencial de 24 V.

El termostato digital, funciona con dispositivos electrónicos y digitales, resulta engorroso explicar el funcionamiento cuando los manuales específicos de esos equipos lo describen detalladamente, por lo que no se discutirá en este apartado; resulta de mayor provecho explicar cómo funciona un termostato manualmente.

- Termostato manual: abre y cierra sus puntos, mediante el arreglo de un cinta bimetálica que está devanada, que se dilata con el calor del recinto y tiende a girar un poco con el fin de inclinar una ampollita de mercurio, la cual une las terminales. Cuando se equilibra nuevamente la temperatura, la cinta regresa a su lugar y el circuito se abre. En la Figura 35 se ilustra el funcionamiento del termostato manual.

Figura 35. **Termostato manual análogo de aire acondicionado**



a) Parte frontal b) Parte interna

**Termostato manual análogo / 24 V
con sensor bimetalico / aire acondicionado**

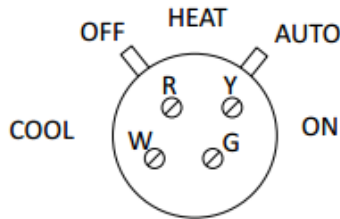
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

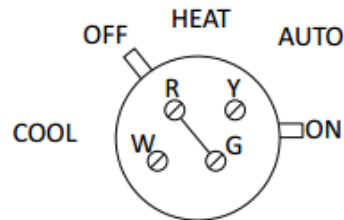
El termostato, tiene una nomenclatura y, al igual que interruptor selector, también posee una palanca que al posicionarla en distintas posiciones permite diferentes controles con el compresor, ventilador de la unidad exterior e interior y en algunos casos hasta la unidad calefactora. En las Figuras, 36 y 37 se ilustra las posiciones de la palanca del termostato manual y la nomenclatura, en esta última imagen es tanto para el termostato manual como digital.

Figura 36. Posición de la palanca del termostato

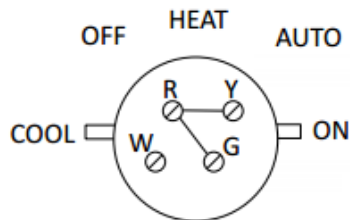
1) Apagado



2) Motor IFM encendido

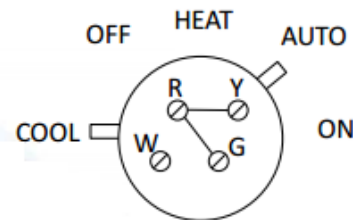


3) Compresor y IFM encendidos



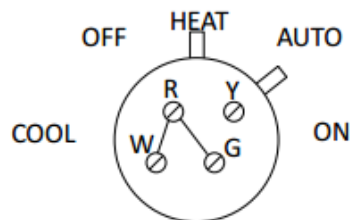
Al alcanzar la temperatura se apaga
Solo el compresor, el IFM sigue encendido

4) Compresor y IFM encendidos



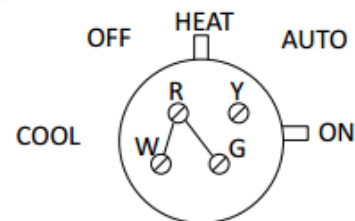
Al alcanzar la temperatura se apaga
todo el equipo (automático)

5) Prendido calefacción y el IFM



Al alcanzar la temperatura se apaga
Todo el equipo (calefacción automática)

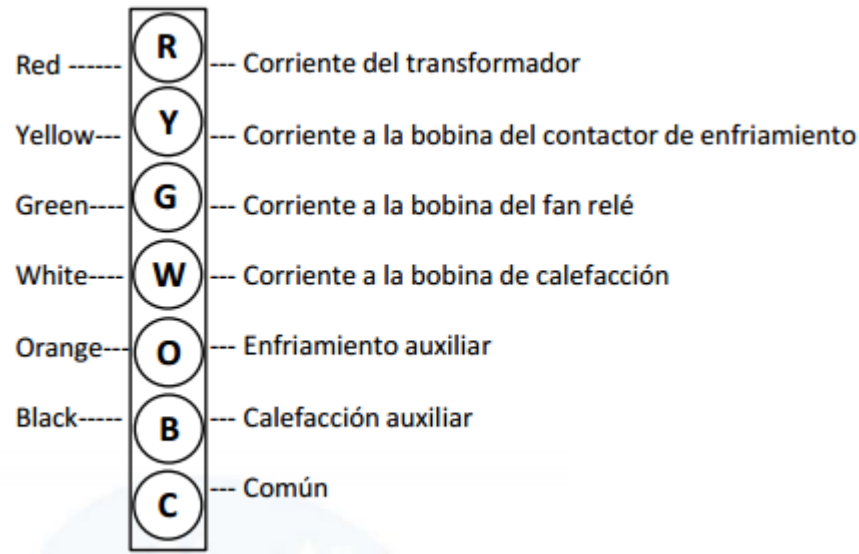
6) Prendido calefacción y el IFM



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

Figura 37. **Nomenclatura de conexión de un termostato**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

La diferencia entre un termostato utilizado para aire acondicionado y refrigeración radica en que el primero sirve como protección de la temperatura de trabajo del compresor pero también permite modular y cambiar la temperatura de trabajo de los equipos, mientras que en el segundo solo es para proteger el compresor del sobrecalentamiento.

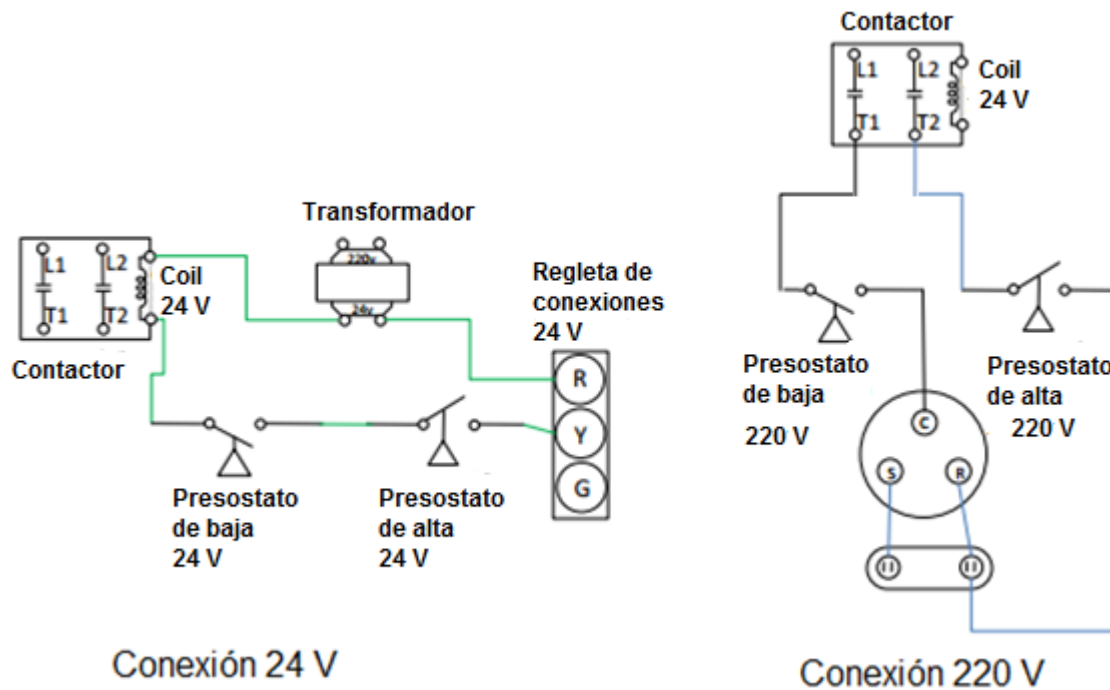
2.2.2.3. Presostato

Se utilizan para proteger al compresor en el lado de baja y alta presión. El presostato de baja presión puede colocarse en cualquier parte de lado de baja, aunque se prefiere que se coloque en la línea de succión. El presostato de lado de alta se coloca en la descarga del compresor.

La función principal de los presostatos es controlar y regular las presiones de los equipos frigoríficos; el equipo que funciona con mayor presión en un equipo de aire acondicionado es el del compresor, por eso es que los presostatos se colocan junto a este equipo.

Los presostatos pueden ser para 24 V o 220 V, se pueden instalar en el circuito de control (termostato) que es el más recomendado y en el circuito de fuerza. En la Figura 38 se ilustra la conexión de un presostato.

Figura 38. **Presostatos**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

2.2.2.4. Protector térmico

También conocido como protector de sobrecarga. Es utilizado para proteger al compresor de una sobrecarga de amperaje o bien de un sobrecalentamiento. El protector térmico se conecta a la terminal común del compresor; no es muy usual pero algunas veces va conectado a la terminal de marcha (*Run*), del compresor.

El funcionamiento se lleva a cabo mediante la respuesta al cambio de temperatura por una lámina bimetálica, que se dobla al cambio brusco de temperatura, desconectando el circuito; volviendo a la normalidad al equilibrarse la temperatura.

En aplicaciones para aire acondicionado, el protector térmico ya está integrado al compresor, internamente protegido junto con su leyenda, debidamente identificado.

2.2.2.5. Relé de potencial y capacitores

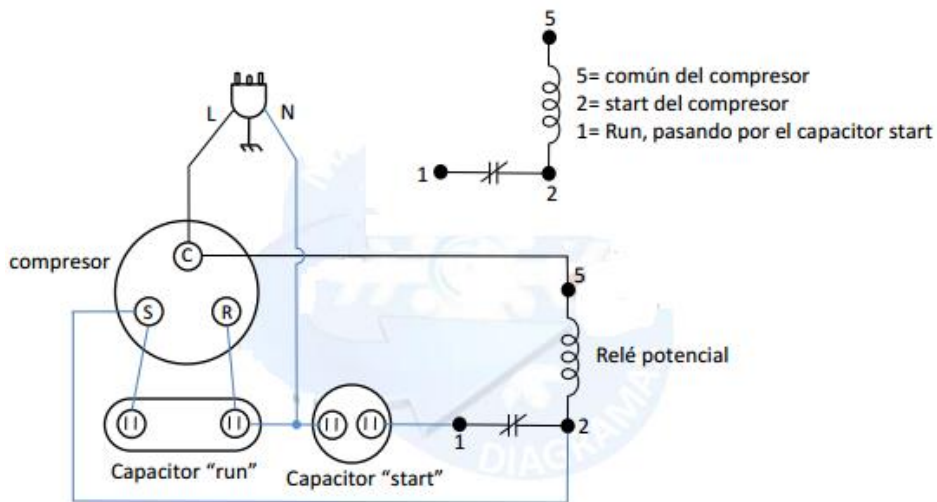
Tanto el *relé* de potencial como los capacitores son componentes eléctricos importantes que deben ir conectados junto con el compresor, para protección del mismo.

- *Relé* de potencial

Son utilizados para sacar fuera de circuito al capacitor de arranque (*start*), esa es su única función. Este relevador trabaja por medio de voltaje, por eso se llama de potencial que es lo mismo que voltaje.

El relé de potencial tiene 3 terminales, la nomenclatura y la forma de instalación se muestran en la Figura 39.

Figura 39. **Instalación de un relé de potencial**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

- **Capacitores**

Son elementos eléctricos que se utilizan para arrancar el motor. También ayudan a mejorar el factor de potencia y disminuir el elevado amperaje que se produce cuando se arranca el motor eléctrico del compresor.

Son dos tipos de capacitores los que utiliza el motor del compresor, estos son: de marcha y de arranque.

- Capacitor de marcha

Es llamado también capacitor permanente, a veces se reconoce en inglés como *Run* (marcha); este capacitor permanece en el circuito y la capacidad puede llegar hasta 50 μF .

- Capacitor de arranque

El capacitor de arranque también llamado seco o electrolítico, o a veces reconocido por la expresión en inglés como *Start* (arranque); es utilizado para arrancar el compresor pero este no permanece en el circuito una vez haya arrancado, ya que no puede permanecer mucho tiempo dentro del circuito y necesita del *relé* de potencial para que lo saque fuera de línea. La capacidad puede llegar hasta 200 μF .

En el apartado 2.1.2.9 y 2.1.2.10, se describen a detalle los capacitores de arranque y marcha, se ha incluido nuevamente para hacer alusión a la función principal del *relé* de potencial.

2.2.2.6. Contactores magnéticos de 24 V

Es un componente del tipo electromecánico, que establece o interrumpe el paso de la corriente, tanto en el circuito de potencia como de mando, al momento de energizar su bobina. Este dispositivo es similar a un *relé* por su forma de construcción, ambos permiten controlar de forma automática o manual, con accionamiento local o bien a distancia; sin embargo, se diferencian por la tarea que lleva a cabo cada uno: el *relé* es utilizado para circuito de bajo voltaje y amperaje, los contactores son utilizados como interruptores electromagnéticos para circuitos de gran amperaje y alta potencia.

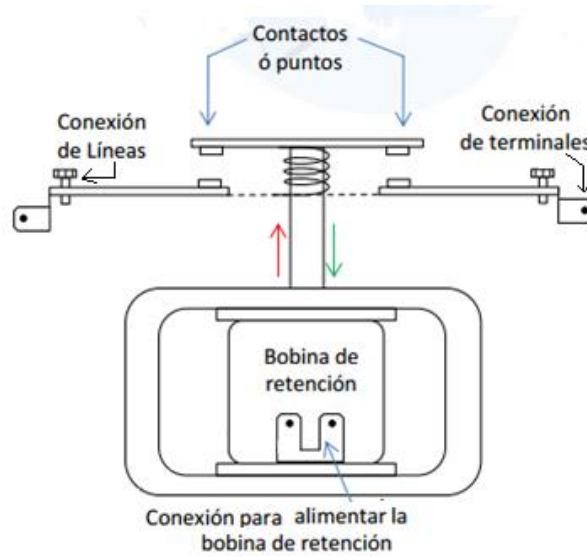
Los contactores en los equipos de aire acondicionado son utilizados para soportar la carga de amperaje de la unidad condensadora que está compuesta por el compresor y el ventilador (OFM). Puede tener 1, 2, 3 o más puntos de conexión y la bobina de control puede ser alimentada con 24 V, 110 V o 220 V. Cuando la bobina es alimentada, mueve mecánicamente por acción del magnetismo los puntos metálicos, permitiendo el paso de corriente de las líneas hacia las cargas conectadas a las terminales del contactor.

Existen algunos tipos de contactores que tienen aplicación en los equipos de aire acondicionado, algunos más que otros, éstos son:

- De un contacto normalmente abierto (NO) y bobina de 24 V.
- De dos contactos NO y bobina de 24 V.
- De tres contactos NO y bobina de 24 V.
- De tres contactos NO y bobina de 220 V.
- De dos contactos NO, dos contactos normalmente cerrados (NC) y bobina 220 V.

En la Figura 40 se ilustra las partes más importantes de un contactor magnético. Además cuando se tiene un contactor con bobina de retención de 110 V o 220 V se tiene que utilizar un contactor *relé*, para poder controlar esa bobina por medio del termostato de 24 V. En la Figura 41, se ilustra este tipo de arreglo de contactor *relé*.

Figura 40. Partes importantes del contactor magnético



a) Esquema eléctrico

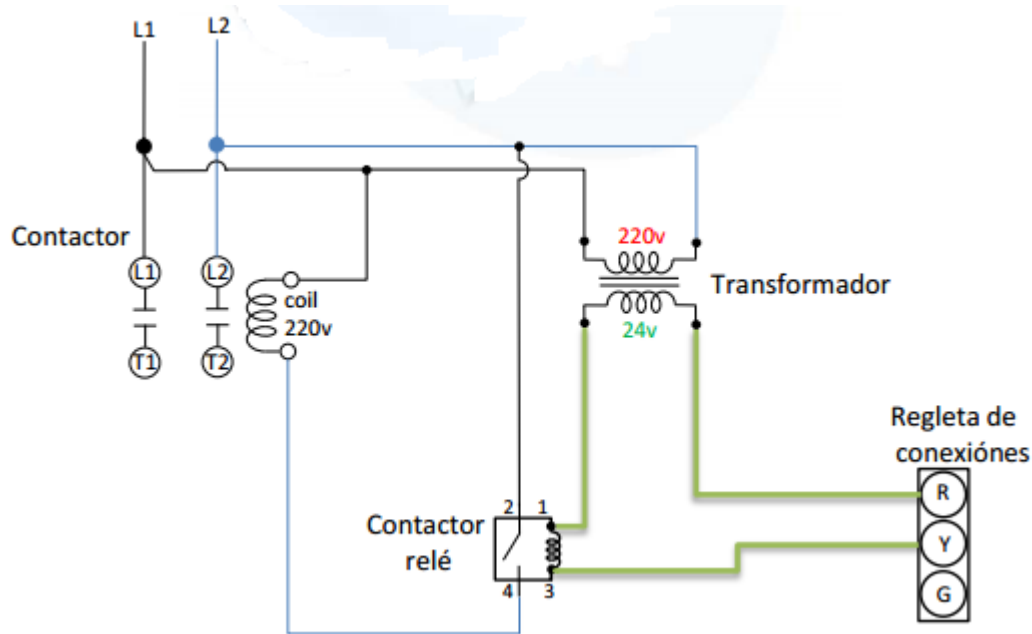


b) Esquema real / contactor para aire acondicionado con bobina 24 V

Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

Figura 41. **Contactador relé**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

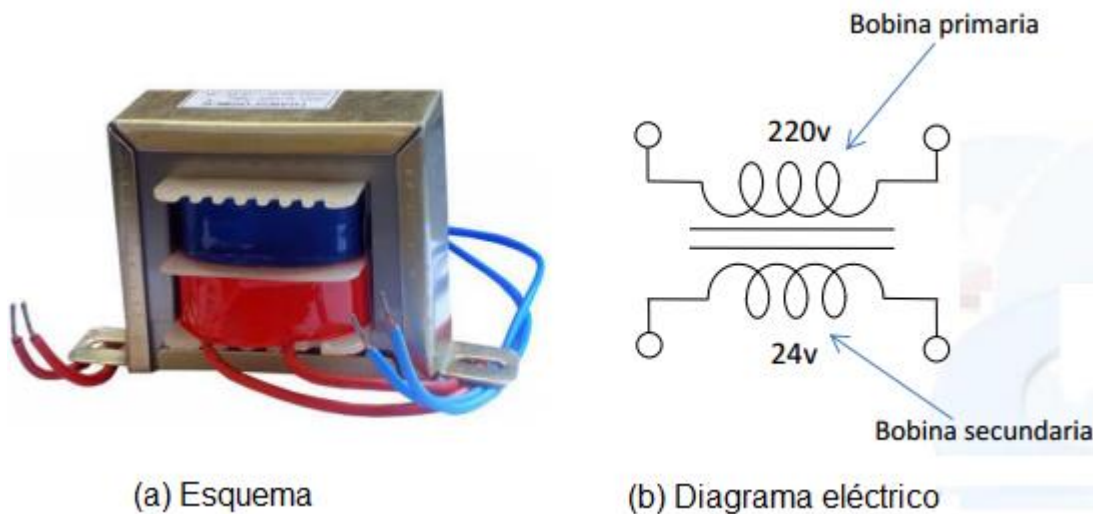
2.2.2.7. Transformador eléctrico de 120 V a 24 V

El transformador es un dispositivo eléctrico que permite elevar o reducir la tensión en un circuito de corriente alterna, manteniendo la potencia, es decir que la potencia (ideal) que entra en la primera parte es la misma a la salida del transformador.

Este dispositivo es un componente de los equipos de aire acondicionado convencionales que siempre permanece encendido. Transforma el voltaje de 110 V o 220 V, lo que se conoce como voltaje primario o de línea, a 24 V o voltaje secundario de control.

Es necesario indicar que existen dos tipos de transformadores, elevadores y reductores. Se dice que es un transformador elevador cuando tiene la capacidad de aumentar el voltaje a la salida y el número de espiras (vueltas) en la bobina secundaria es mayor al de la bobina primaria; se dice que es un transformador reductor cuando tiene la capacidad de reducir el voltaje a la salida del transformador, y en todo caso es todo lo contrario al transformador elevador. En los equipos de aire acondicionado, se utilizan por lo general transformadores reductores. En la Figura 42 se ilustra un transformador de 220 V a 24 V.

Figura 42. **Transformador reductor**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

2.2.2.8. **Relé de Ventilador**

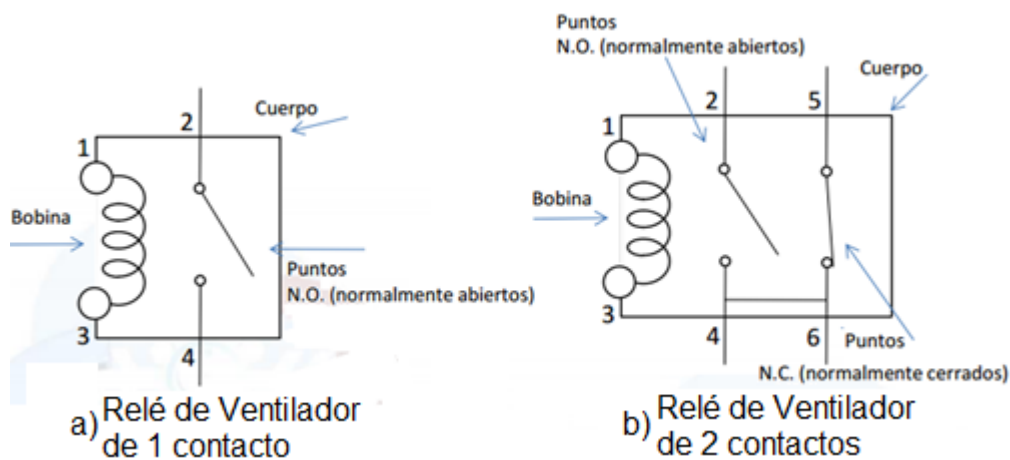
Es un dispositivo eléctrico utilizado en los equipos de aire acondicionado para controlar el motor del evaporador (IFM) de la manejadora de aire o unidad interior.

En forma de operación y construcción es igual que el contactor magnético, sólo que éste opera en capacidades pequeñas hasta 15 A. Las partes más importantes son:

- Cuerpo
- Puntos
- Bobina

En la Figura 43, se ilustra dos tipos de *relé* de ventilador.

Figura 43. **Relé de ventilador**



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 20 de noviembre de 2016.

2.2.2.9. Regleta de conexiones

La regleta de conexiones es utilizada para identificar las conexiones entre los componentes de los equipos y el sistema de control del mismo.

Es muy común verlos en los equipos tipo *Mini Split*, pues se debe conectar el cable que comunica la unidad interior (manejadora) con la exterior (condensadora). Este cable está conectado a la manejadora y en el otro extremo trae consigo el cable una identificación con números, estos deben conectarse con los números que coincidan con la regleta de conexiones de la unidad exterior.

El uso de regleta de conexiones ha maximizado el control y las buenas instalaciones eléctricas de los equipos, se utilizan también en los termostatos para identificar de forma correcta donde debe ir conectado cada equipo del sistema de aire acondicionado, con ello evitar daños al sistema.

2.2.3. Sistemas de servicio y control eléctrico aplicados en el aire acondicionado

Los controles automáticos para un sistema de ventilación, calefacción y enfriamiento no suelen ser muy diferentes a los que se describió en la sección 2.1.3 para los componentes de refrigeración. El empleo de instrumentos para su servicio y control es de mucha importancia no solo para el aire acondicionado o la refrigeración, trasciende a otras ramas de la ingeniería mecánica.

2.2.3.1. Dispositivos controlados

Las válvulas, compuertas, relevadores y motores son algunos ejemplos de dispositivos controlados en los sistemas de acondicionamiento de aire.

Las válvulas de control pueden ser de dos o tres vías. Las de tres vías pueden ser tipo mezclador y tipo divergente. La válvula mezcladora posee dos entradas y solamente una salida. La válvula divergente tiene una entrada y dos salidas. Las válvulas de dos vías se usan para hacer variar el flujo volumétrico al equipo mediante la estrangulación, en quipos de calefacción o enfriamiento. Las válvulas de tres vías se pueden utilizar también para variar la capacidad variando la temperatura y no la cantidad de agua.

La capacidad de un serpentín puede variarse ya sea por variar el flujo de agua o su temperatura. Sin embargo, la salida no cambia tanto si se varía el flujo y no la temperatura. El proceso es menos costoso, al utilizar válvulas de dos vías en vez de tres.

Las válvulas eléctricas moduladoras usan un motor como operador de válvula, que mueve gradualmente el vástago en respuesta a una señal. Los motores eléctricos son usados para modular las compuertas en los sistemas eléctricos, utilizando los pistones para sistemas neumáticos (aire comprimido).

2.2.3.2. Sistemas de control total

Con frecuencia se usan combinaciones de control del recinto, del exterior y del medio; esto se hace debido a que se requiere un control de todo el sistema, como: humedad, temperatura y ventilación.

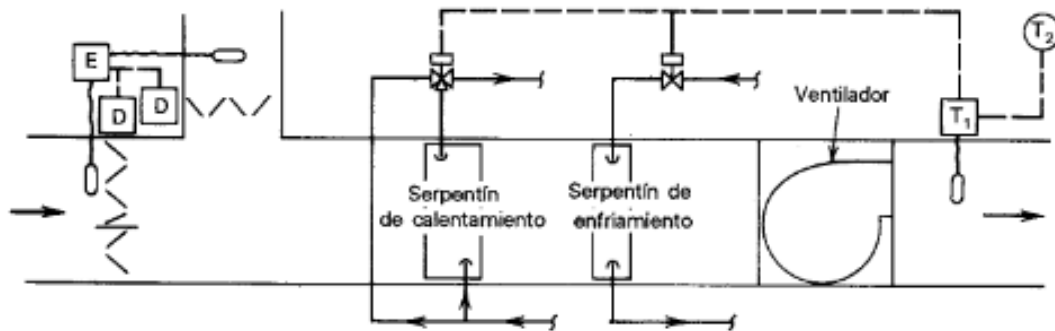
En la Figura 44 se ilustra un sistema de control para un sistema de aire acondicionado de unizonas durante todo el año. Este sistema controla la temperatura del recinto pero no la humedad. El funcionamiento del control del sistema es:

- El controlador de entalpía (estrangulador) o un control de temperatura, sitúa las compuertas de retorno de aire y máxima de aire exterior de modo que pueda tenerse mayor enfriamiento sin inferir en el costo de consumo energético.
- El termostato de descarga aire T1 controla el serpentín de enfriamiento (época de verano) o de calefacción (época invierno), cuya función es regular la temperatura de descarga del aire.
- El termostato de recinto T2 funciona como el control maestro del control secundario del recinto T1, si existe alguna variación, se emite una señal para reajustar los valores en el punto de control del termostato de descarga.

Esto quiere decir que el hecho de emplear el termostato del recinto para controlar el termostato de descarga se tiene una respuesta más rápida del sistema a los cambios de temperatura del recinto. Se debe de usar un termostato para verano y otro para invierno con el fin de controlar dos rangos de temperatura.

El control viene acompañado con la automatización, los equipos programables a distancias remotas tienen mayor interés en la instalación de sistemas de aire acondicionado del tipo industrial de gran escala, pues permite un control y regulación desde un lugar lejano a la obra o bien desde una computadora o un teléfono celular.

Figura 44. **Sistema de control de aire acondicionado unizonas**



Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 407.

2.2.3.3. Fuente de alimentación

Los sistemas de control automático pueden clasificarse según la fuente de energía que emplean:

- Eléctricos y electrónicos: se accionan mediante el empleo de energía eléctrica los dispositivos controlados. El controlador es quien regula la cantidad de energía que debe transmitir al dispositivo controlado. Si el controlador tiene transmisores y sensores que son electrónicos, al sistema se le llama electrónico. La energía siempre se transmite eléctricamente.
- Neumáticos: la fuente de energía para accionar los dispositivos controlados es el aire comprimido. El controlador es quien regula la presión de aire que debe transmitirse al dispositivo controlado. Son de acción modulante, en su instalación necesitan un compresor y tubería de cobre, plástico o hierro negro.

- Autoenergizado: son dispositivos modernos que no necesitan fuente externa de energía, pues la potencia para accionar los dispositivos controlados proviene generalmente de un fluido que cambia de presión en respuesta a un cambio de temperatura. Se utilizan solamente en ciertas tareas aplicadas, su uso para el sistema integral de control esta limitado.

2.2.3.4. Circuitos del mando a distancia

El transporte de información y por ende de control, se puede llevar a cabo mediante el espectro de las ondas electromagnéticas, con las oscilaciones de los rayos infrarrojos, son comúnmente utilizados dispositivos de este tipo para el control a distancia.

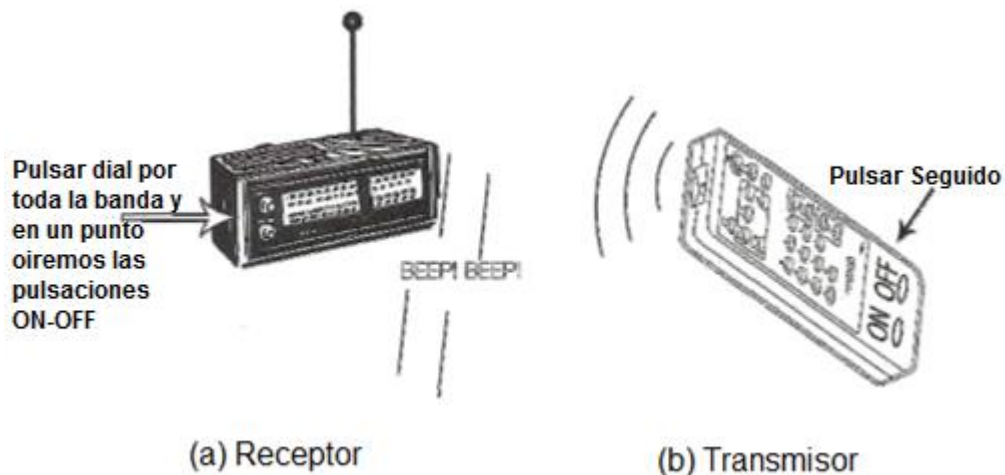
Desde un mando a distancia se envía al receptor de señales de rayos infrarrojos de la unidad interior la orden de ejecución de las siguientes tareas:

- Conexión y desconexión del aparato.
- Modo selector (automático, refrigeración, aire acondicionado o calefacción).
- Velocidad del ventilador de la unidad interior.
- Selector y modulador de temperatura.
- Selección de horario de trabajo.
- Temporizador.

Al poner en marcha el equipo accionado de forma a distancia, se debe esperar un tiempo de 3 a 5 minutos para que empiece la operación de refrigeración o aire acondicionado. En la Figura 45 se ilustra un aparato

receptor y otro transmisor que se utilizan como dispositivos en los circuitos de control a distancia.

Figura 45. **Control a distancia**



Fuente: BUQUÉ, Francesc. *Manuales prácticos de refrigeración*. Tomo IV. p 175.

2.2.4. Diagramas y esquemas de instalaciones de circuitos de acondicionamiento de aire

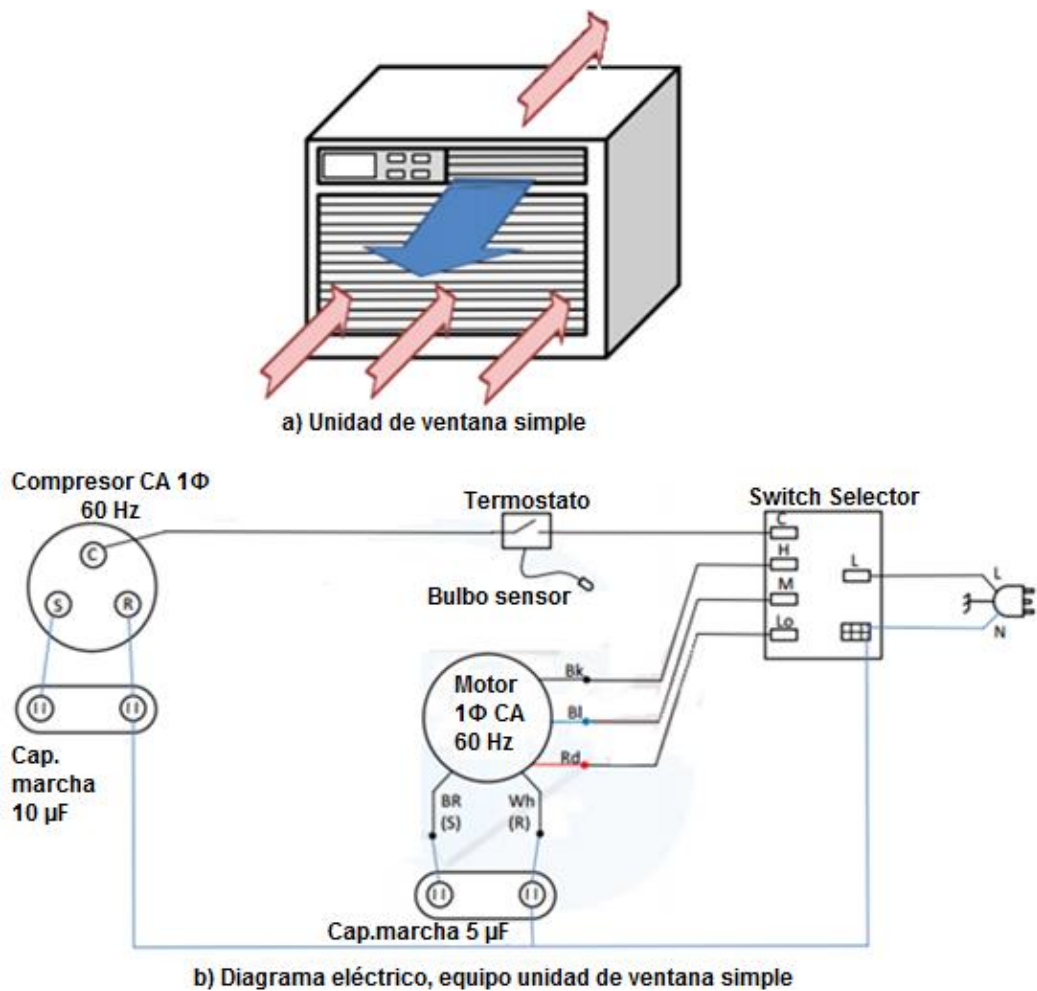
Las conexiones eléctricas de los equipos de aire acondicionado es de carácter esencial su conocimiento, pues la mayor parte de los equipos, si no es que todos, son accionados por una fuente de energía externa eléctrica.

La conexión mecánica se abarca también en las figuras que se mostraran en los siguientes apartados, sin embargo, entrar en detalle con el tipo de tubería, tipo de conexión y materiales a utilizar, no se describirá, está fuera del alcance de este trabajo de graduación; además, los manuales técnicos proporcionan esta información.

2.2.4.1. Unidad de ventana simple

La alimentación eléctrica puede ser monofásica o trifásica y puede tener una capacidad de 3 000 BTU hasta 3 TRF. La Figura 46 ilustra un equipo de unidad de ventana simple.

Figura 46. Unidad de ventana simple



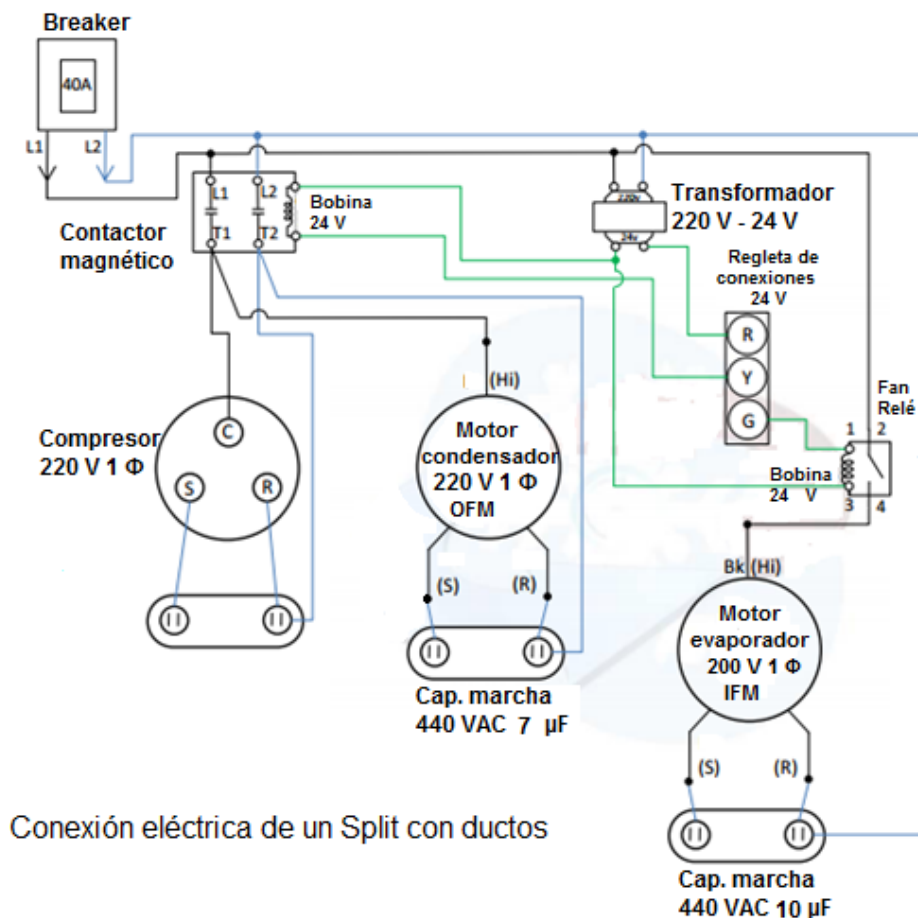
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 21 de noviembre de 2016.

2.2.4.2. Unidad de *Split* con ducto

Son máquinas a las que se le instalan ductos para suministrar el aire. La alimentación eléctrica puede ser monofásica o trifásica, responden al control del termostato, que se alimenta con 24 V. En la Figura 47 se ilustra la conexión eléctrica de un equipo *Split* con ductos.

Figura 47. ***Split*** con ductos



Conexión eléctrica de un Split con ductos

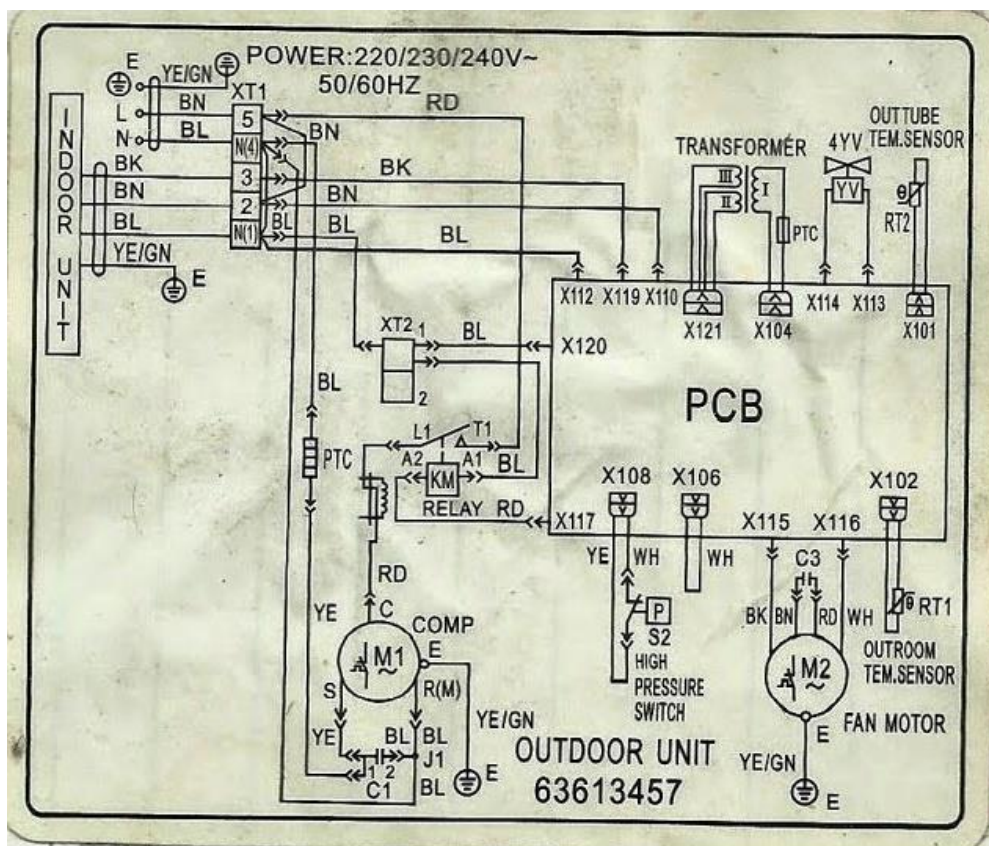
Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 21 de noviembre de 2016.

2.2.4.3. Unidad *Mini Split*

Son unidades que están separadas, al igual que el tipo *Split* con ductos, tienen la manejadora (unidad interior) dentro del recinto y la condensadora (unidad exterior) fuera del recinto. No necesita ductos, puede tener alimentación monofásica y trifásica; se controla por termostato de 24 V. En las Figuras 48 y 49, se ilustra la conexión eléctrica de un *Mini Split*.

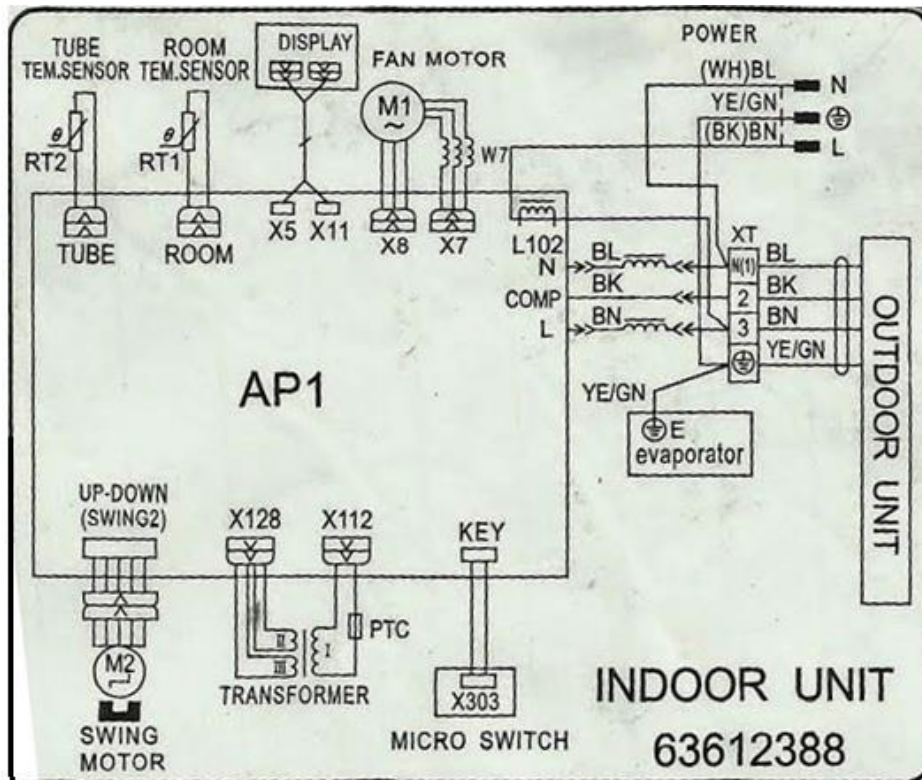
Figura 48. Unidad exterior del *Mini Split*



UNIDAD EXTERIOR (CONDENSADORA)

Fuente: *Electrical know how*. www.electrical-knowhow.com/2014/05/electrical-wiring-diagrams-for-air-conditioning.html. Consulta: 21 de noviembre de 2016.

Figura 49. **Unidad interior del *Mini Split***



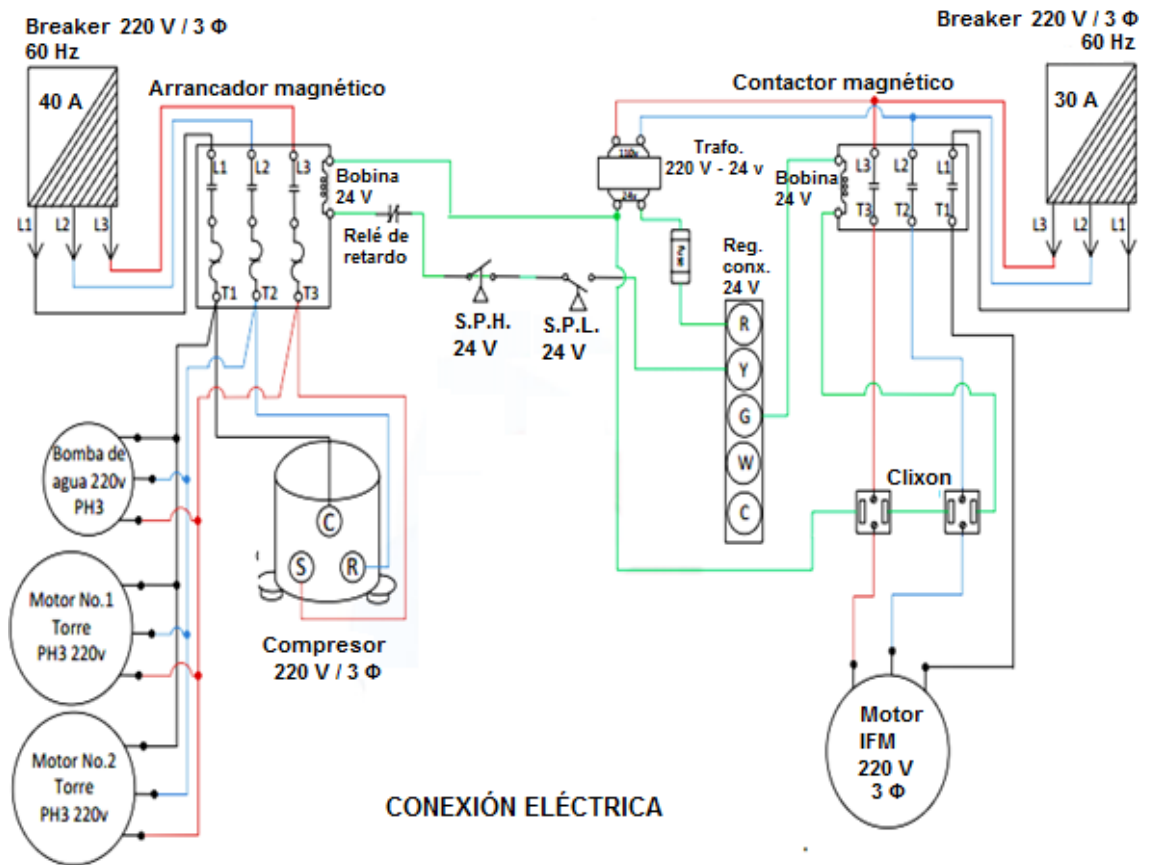
UNIDAD INTERIOR (MANEJADORA DE AIRE)

Fuente: *Electrical know how*. www.electrical-knowhow.com/2014/05/electrical-wiring-diagrams-for-air-conditioning.html. Consulta: 21 de noviembre de 2016.

2.2.4.4. **Unidad de aire acondicionado tipo torre**

Se asemejan a una unidad tipo *Split* o *Mini Split*, la única diferencia es que su condensador es enfriado por agua y necesita una torre de enfriamiento, a diferencia de los otros que sus condensadores son enfriados por aire. La alimentación puede ser monofásica o trifásica, posee un control por termostato de 24 V. En la Figura 50 se muestra una unidad de aire acondicionado tipo torre.

Figura 50. Unidad de aire acondicionado tipo torre



Fuente: *Manual de aire acondicionado*. www.manualdeaireacondicionado.blogspot.com.

Consulta: 21 de noviembre de 2016.

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

En este capítulo se describirá la situación actual del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con énfasis en el equipo y material que se utiliza para dar la práctica de electricidad, orientada a los equipos de refrigeración y aire acondicionado, la cual es la base de este trabajo de graduación.

El laboratorio está ubicado dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica en el Edificio T-7, en la planta baja, específicamente en el área designada para todos los laboratorios de mecánica. En la Figura 51 se ilustra el edificio T-7 de la Facultad de Ingeniería.

Figura 51. **Edificio T-7, Facultad de Ingeniería USAC**



Fuente: elaboración propia. Parte frontal del edificio, T-7, Facultad de Ingeniería.

Figura 53. **Carteles de seguridad en los laboratorios**



Fuente: elaboración propia. Área de laboratorios, T-7, Facultad de Ingeniería.

En forma general, el área donde están situados los laboratorios tiene buena iluminación y ventilación. La mayoría de los salones están equipados para recibir una cantidad de estudiantes adecuada. Está fuera del alcance de este trabajo de graduación realizar un diagnóstico de todos los laboratorios, solo se hará el enfoque al Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado; posteriormente se describirá de forma superficial los otros laboratorios, pero no se entrará en detalle.

3.1. Condiciones físicas del laboratorio

El laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado está situado en la parte final del área de laboratorios, cuenta con adecuada iluminación pues casi toda la pared frontal es de vidrio, además que posee ventanas amplias en la pared Este (Oriente). Está fabricado de *block* de concreto con revestimiento de

granito, pintado de color blanco, lo cual ayuda a una mejor difracción de la luz dentro del salón.

Es lo suficientemente alto para permitir una circulación de aire por convección, además está equipado con un equipo de aire acondicionado del tipo *Mini Split*, en caso el uso de ventilación natural sea ineficiente, sobre todo en épocas calurosas como lo son los meses de marzo a junio. En la Tabla V se indican las mediciones físicas del laboratorio, también se incluye el área y el volumen. En el apéndice se muestra las ecuaciones utilizadas.

Tabla V. **Medidas del laboratorio**

UNIDAD	MEDIDA
Longitud	7,03 m
Ancho	6,10 m
Altura	3,0 m
Área efectiva	42,88 m ²
Volumen	128,64 m ³

Fuente: elaboración propia.

El laboratorio está equipado con alimentación eléctrica monofásica 110 V y 220 V, posee tomacorrientes e interruptores para el circuito de iluminación, tiene un sistema de protección con flipones (*breakers*) para protección de los equipos y paneles sofisticados utilizados como material de enseñanza en el laboratorio.

La capacidad del salón es bastante limitada, solo permite el uso a 10 estudiantes y el instructor del laboratorio; aún bajo esa cantidad limitada de personas, en algunos momentos representa una debilidad por cuestión de espacio y comodidad, sin embargo la distribución de los escritorios y del resto

de equipos y paneles, ha permitido hasta el día de hoy que se tenga cierto nivel de ornamento y comodidad. En la Figura 1 de Anexos, se incluye el plano del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado. En la Figura 54 se muestran varias vistas del laboratorio.

Figura 54. **Diferentes vistas del laboratorio**



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

3.2. Material de apoyo en la clase

Es esencial que todo salón, que es utilizado para impartir una práctica, cuente con material que sirva de apoyo para facilitar el aprendizaje, lo haga ameno y estimule la atención de los estudiantes al trabajo que se está realizando.

El Laboratorio de Refrigeración y aire acondicionado, cuenta con:

- Pizarrón
- Marcadores de colores (azul, negro, rojo y verde)
- Almohadilla
- Manuales de equipos o instrumentos
- Hojas técnicas de equipos o instrumentos
- Escritorios
- Carteles a escala de equipos

Actualmente no se dispone de ningún retroproyector o de un área de cómputo para ejecutar programas de diseño; no hay acceso a internet en esta área de laboratorio, por lo que en algunos casos la información debe ser investigada como tarea devengada parte de la práctica.

La facilitación de manuales y hojas técnicas permite que los estudiantes del laboratorio, comprendan lo teórico y lo sopesen con lo práctico, además influye en que puedan identificar las partes de los accesorios o equipos, dependiendo del tipo de manual proporcionado.

3.3. Herramientas e instrumentos

El Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado está equipado con herramientas, instrumentos y equipos que permiten llevar a cabo las distintas prácticas realizadas en el ciclo lectivo.

Las herramientas con las que cuenta el laboratorio son las siguientes:

- Destornilladores
- Llaves para tuercas
- Alicates, pinzas
- Mangueras de hule para manómetro
- Embutido para verter aceite lubricante

Los instrumentos con los que cuenta el laboratorio son los siguientes:

- Manómetro para aire acondicionado (manómetro doble)
- Multímetro
- Manómetro de vacío (de la bomba de vacío)
- Cronómetro
- Metro
- Regla graduada

Los equipos utilizados en el laboratorio son pocos, sin embargo permiten familiarizar al estudiante con equipos de refrigeración y aire acondicionado, se cuenta también con otros equipos que son accesorios de otros equipos integrales pero se toman como equipos pues sirven para realizar algunas prácticas en el laboratorio. Estos equipos son:

- Bomba de vacío
- Sistema de aire acondicionado tipo *Mini Split*
- Compresor de una unidad refrigeradora

Las herramientas son básicas; los instrumentos son análogos en su mayoría, otros pocos son digitales, pero ninguno es automático o electrónico. Lo que conduce algunas veces a fallar por error humano en la toma de datos o calibración. La limitada cantidad de equipos para que el estudiante pueda manipular, arreglar o desarmar puede llegar a ser una debilidad, pues imposibilita poder enseñar una práctica teórica en una práctica técnica por falta de equipos. En la Figura 55 se ilustra el material disponible en el laboratorio.

Figura 55. **Herramientas, instrumentos y equipos del laboratorio**



(a) Bomba de vacío



(b) Pinzas



(c) Destornillador



(d) Manómetro



(e) Llaves



(f) Multímetro digital

Fuente: SALOMÓN, David. *Refrigeración*. www.refrigeracion-davidsalomon.blogspot.com/2012/03/herramientas-dela-refrigeracion.html. Consulta: 23 de noviembre de 2016.

3.4. Paneles didácticos

Actualmente en el laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, existen solamente 2 paneles didácticos. Son utilizados para dar la práctica de refrigeración por compresión de vapor.

En el primer panel, mostrado en la Figura 56, se lleva a cabo la práctica de cálculo de carga térmica, modelado del ciclo termodinámico, comprensión del funcionamiento del ciclo y de los accesorios que lo conforman; se incluye también una práctica en la que se simulan fallas, tanto en el condensador como en el evaporador; el panel didáctico está bien equipado, es muy sofisticado y está al alcance del entendimiento de todos los estudiantes, siempre y cuando se dé una correcta inducción para su uso.

Este panel didáctico recién descrito, cuenta con accesorios de protección para los equipos de refrigeración como presostatos, para proteger el compresor. El panel cuenta además con secciones extra, que se pueden acoplar al sistema y funcionar correctamente.

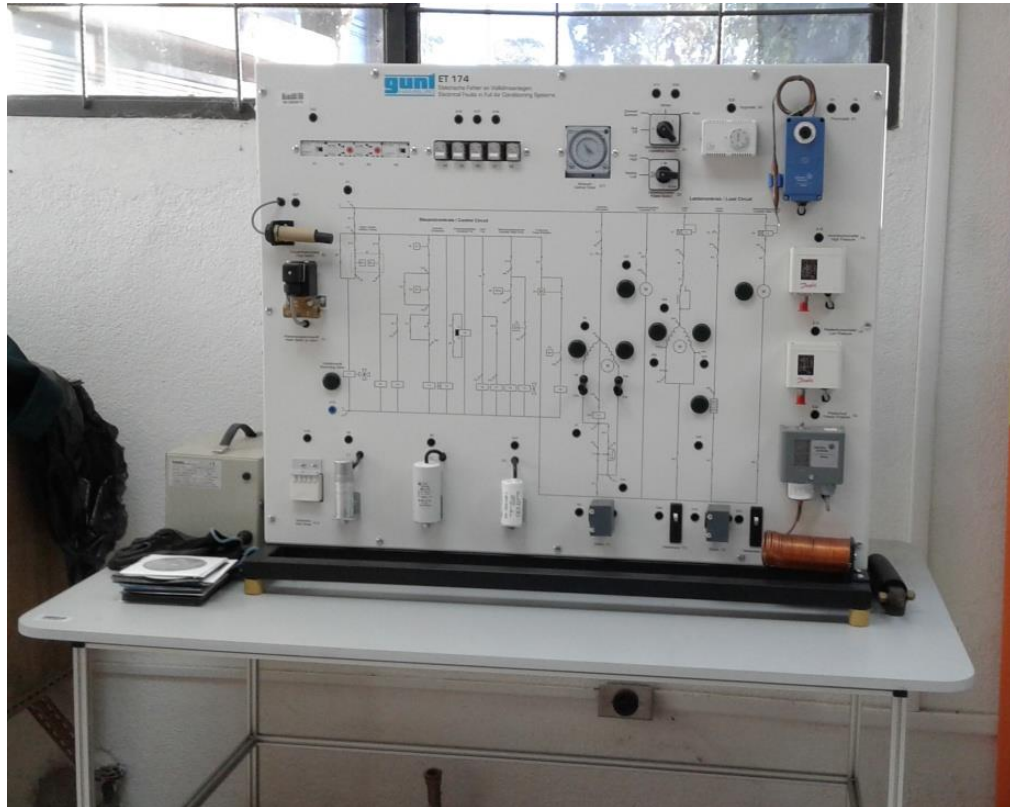
Figura 56. **Primer panel didáctico del laboratorio**



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

El segundo panel didáctico se utiliza para enseñar fallas eléctricas del sistema de aire acondicionado, posee los elementos necesarios que debe llevar la instalación, su uso está limitado ya que solo muestra y no permite interactuar a los estudiantes; el panel es muy sofisticado y permite su entendimiento, siempre y cuando se dé la correcta inducción para su uso. El segundo panel didáctico se muestra en la Figura 57.

Figura 57. Segundo panel didáctico del laboratorio



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

Los paneles didácticos, si bien son muy avanzados y pedagógicos, limitan la interacción del estudiante, especialmente en la manipulación de los componentes; los equipos puestos en el sistema no pueden ser desarmados ni sustituidos en una práctica, debido a que el panel no lo permite, pues la mayoría trae tubería soldada o bien unida con algún tipo de rosca o brida, además puede perder la garantía al realizar este tipo de infracción en el panel y cuando estos paneles han requerido una gran inversión económica es preferible seguir con la garantía.

La función principal de estos paneles es la de enseñar pedagógicamente el funcionamiento de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor y aire acondicionado, en las formas: mecánica, termodinámica y eléctrica. Es interesante hacer notar que aunque el estudiante aprenda el concepto y entienda el funcionamiento técnico, está limitado su aprendizaje pues no puede manipular los accesorios, realizar las conexiones por los motivos prescritos anteriormente. Puede considerarse que esta situación ha sido la base que ha impulsado para realizar este trabajo de graduación y proveer un panel que pueda manipularse completamente.

3.5. Equipo para impartir las prácticas de electricidad, orientadas en la refrigeración y aire acondicionado

Se utilizan dos equipos para impartir las prácticas de electricidad orientadas a refrigeración y aire acondicionado. Para ambos equipos se utilizan componentes importantes y componentes simbólicos, es decir componentes que representan también equipos importantes, pero que por comodidad de instalación o bien por cuestión de presupuesto, no se ha podido colocar el verdadero.

El primer equipo mostrado en la Figura 58, está compuesto por un reloj de deshielo marca *Paragon*, instalación eléctrica monofásica de 120 V, 60 Hz, a sus terminales están conectados dos focos, el primer foco representa la resistencia eléctrica y el segundo foco representa el compresor; todo este material está anclado a una tabla de madera mediante tornillos.

Este sistema representa el ciclo de deshielo por resistencias eléctricas, el reloj de deshielo es utilizado como el controlador de los ciclos ya que es análogo programable y permite manipular los tiempos de funcionamientos con

rotar una perilla, respecto a un eje circular que tiene medidas de tiempo y posiciones de operación.

Es importante indicar que este equipo didáctico permite el entendimiento en forma sencilla de los ciclos de deshielo por resistencia, tanto para un cuarto frío como para un refrigerador común; se permite la manipulación del reloj de deshielo girando la perilla libremente; la limitante es que la instalación eléctrica ya está hecha, por lo que el estudiante no tiene la oportunidad de aplicar su conocimiento y habilidades ingenieriles para realizar la instalación y poder comprobar si funciona correctamente.

Figura 58. **Primer equipo, práctica de electricidad**



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

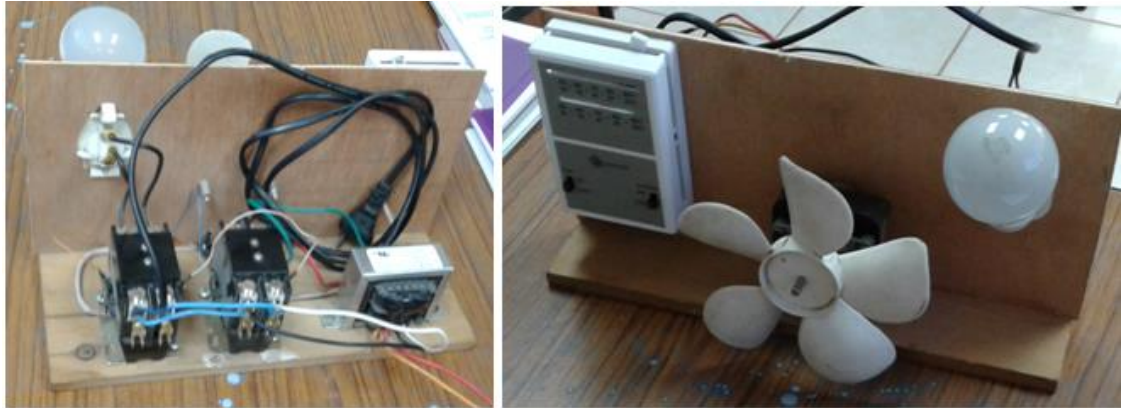
El segundo equipo utilizado en la práctica de electricidad, es para representar el sistema de arranque manual de 24 V, utilizado mucho en los equipos *Split*. Este equipo está conformado por un transformador de 120 V a 24 V, dos contactores de 120 V cada uno con bobinas de 24 V, un termostato de 24 V, un motor de ventilador y un foco, ambos alimentados con 120 V en frecuencia de 60 Hz y todos los equipos son monofásicos.

El motor del ventilador como el foco, representan equipos que son importantes pero que por las mismas razones descritas en los párrafos anteriores, no puede colocarse el equipo real; el motor del ventilador representa al ventilador del evaporador y el foco representa el motor del compresor, utilizados en un equipo de aire acondicionado tipo *Split*.

Todos los componentes del sistema están anclados mediante tornillos a una tabla de madera y conectados eléctricamente entre sí, para que al momento de pasar corriente el sistema pueda funcionar. Quien controla el funcionamiento de todo este equipo es realmente el termostato, es del tipo análogo y es ajustable; mediante la manipulación de dos palancas permite seleccionar los tiempos de trabajo y, según la posición de la palanca, representará un distinto control entre el encendido/apagado de los equipos de forma automática. Este equipo se ilustra en la Figura 59.

Todo el equipo ya está conectado y por motivos de control, para no dañar los elementos que lo conforman, no se pueden desconectar entre sí, por lo que al estudiante solo se le permite manipular la perilla del termostato para cambiar los regímenes de control según mueva la palanca del aparato.

Figura 59. **Segundo equipo, práctica de electricidad**



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, T-7, Facultad de Ingeniería.

Estos dos equipos han sido el pilar sobre el cual este trabajo de graduación fue propuesto, sobre todo para poder alcanzar un buen nivel de comprensión y entendimiento técnico de los estudiantes al momento de llegar a realizar las distintas prácticas de electricidad.

4. DISEÑO DE PANEL DIDÁCTICO

Para el diseño del panel didáctico, el diagnóstico realizado previamente ha sido el pilar para el desarrollo del mismo. Las bases fundamentales del diseño y la forma de construcción del panel están orientadas a que el estudiante pueda manipular los equipos, realizar conexiones eléctricas entre los equipos y pueda realizar varios circuitos, con el fin de que el estudiante pueda aprender en forma autodidáctica el tema de electricidad aplicada a la refrigeración y aire acondicionado.

Los equipos que se utilizan en el laboratorio para dar la práctica de electricidad son adecuados para entender el tema y su construcción es lo bastante sencilla para facilitar al estudiante la comprensión en el tema de conexiones eléctricas como mecánicas. El inconveniente en estos equipos, es que todas las conexiones eléctricas ya están hechas, lo que impide al estudiante poder realizarlas el mismo, o bien realizar otro tipo de conexiones con el mismo equipo. Por tal razón, el panel didáctico se ha diseñado de forma que el estudiante pueda manipularlo en base a un manual de diagramas eléctricos que se pueden realizar, como también la supervisión de que todo esté marchando correctamente mientras operan los equipos.

En los siguientes apartados se describe a detalle el diseño, construcción y ensamblaje del panel didáctico. Se muestran también planos y fotografías de los equipos como del panel didáctico.

4.1. Diseño

El diseño del panel didáctico se describe en esta sección. Para efectos del mismo se ha considerado el material, equipos, diseño y seguridad para una buena construcción del panel.

4.1.1. Condiciones del panel didáctico

4.1.1.1. Longitud, altura y ancho

Las dimensiones del panel didáctico se han considerado para que cuando el estudiante o el instructor estén manipulando los equipos, puedan tener bastante espacio para trabajar cómodamente. El panel didáctico tiene una altura considerable para evitar esfuerzos, para acomodar o bien alcanzar cualquier equipo o material colocado en el panel didáctico. Para darle estabilidad al panel se ha considerado su espesor y anchura, además de agregarle parales, para evitar el pandeo de la plancha provocado por el peso de los equipos a instalar.

Las dimensiones se dan a conocer en la Tabla VI.

Tabla VI. **Dimensiones del panel didáctico**

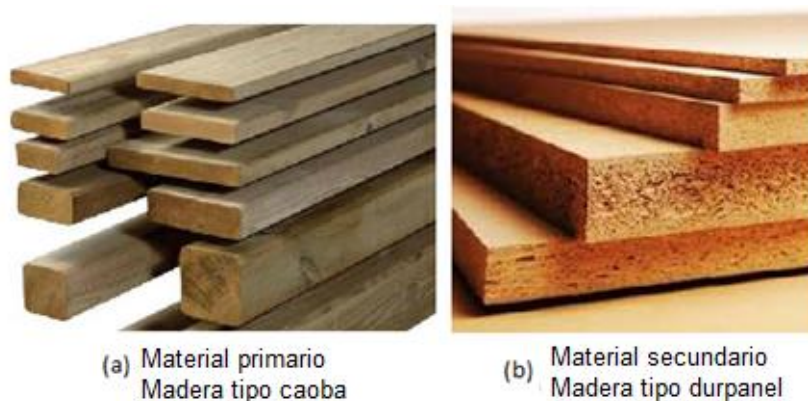
Dimensión	Medida
Longitud	1,30 m
Altura	1,20 m
Ancho	0,80 m
Espesor	0,5 in

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.2. Material de construcción

El material de construcción del panel didáctico es madera, se han utilizado dos tipos de madera con el fin de obtener un diseño bastante atractivo y económico. El panel didáctico para su construcción se ha dividido en dos partes, como se describirá en la sección 4.1.1.3 con más detalle; la primera parte a la que se hace referencia, es el esqueleto o base del panel didáctico, el cual se ha construido de madera tipo caoba, pues la dureza y rigidez que tiene como características mecánicas este tipo de madera la hace ideal para esta aplicación; la segunda parte del panel es la sección donde irán montados los equipos y las conexiones eléctricas de los mismos. Para efectos de esta aplicación se ha construido de madera tipo durpanel por su flexibilidad y dureza, en las operaciones de taladrado, calado y montaje para las distintas piezas de los equipos. El ensamble entre la sección secundaria del panel con la sección primaria, fue por medio de bolillos de madera; para la sujeción de los mismos se utilizaron tarugos plásticos y tornillos de hierro dulce. En la Figura 60, se ilustra el material con fue construido el panel didáctico.

Figura 60. Tipos de madera del panel didáctico

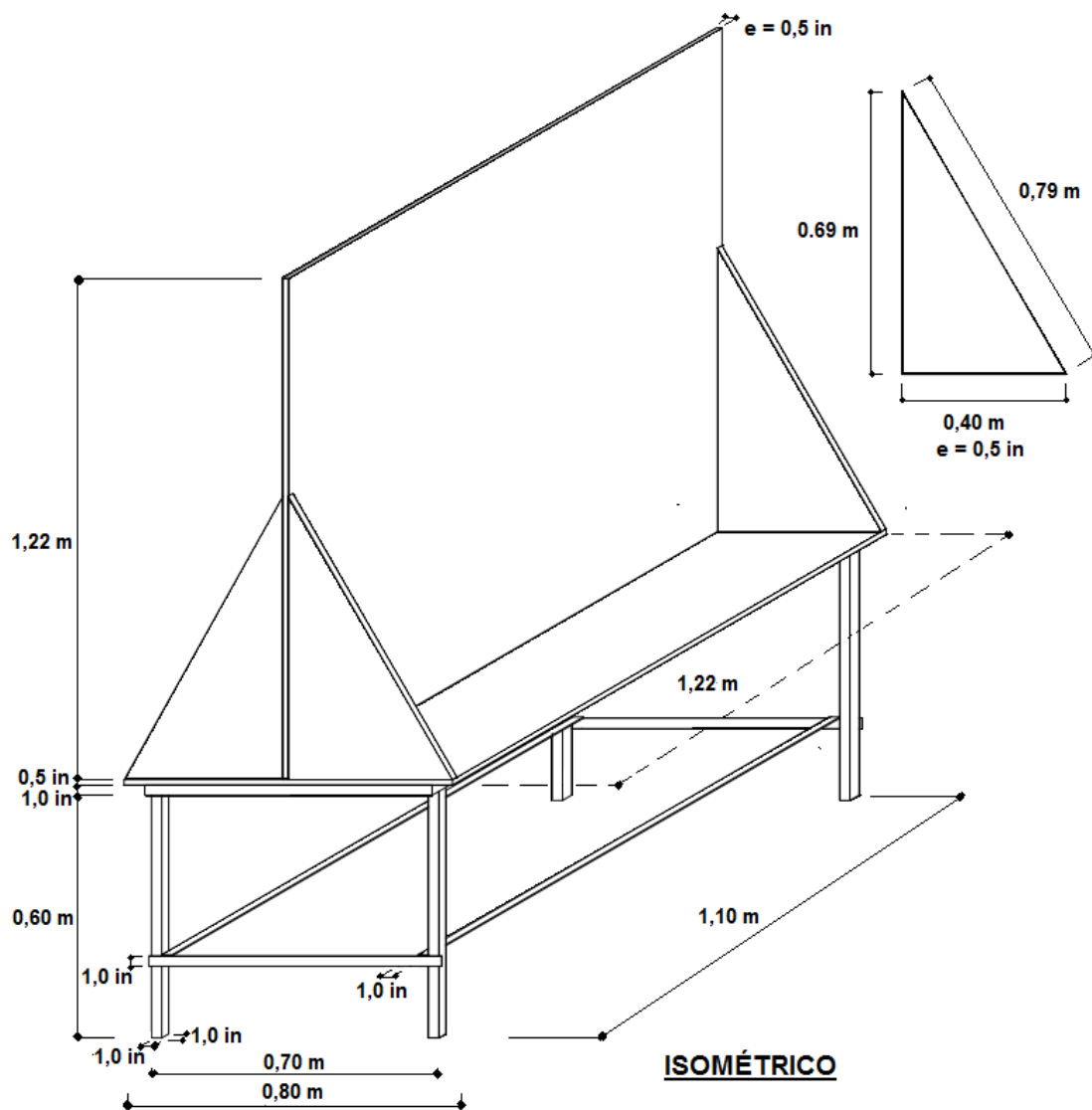


Fuente: *Madera básica*. www.mastiposde.com/madera.html. Consulta: 1 de diciembre de 2016.

4.1.1.3. Modelo y planos del panel

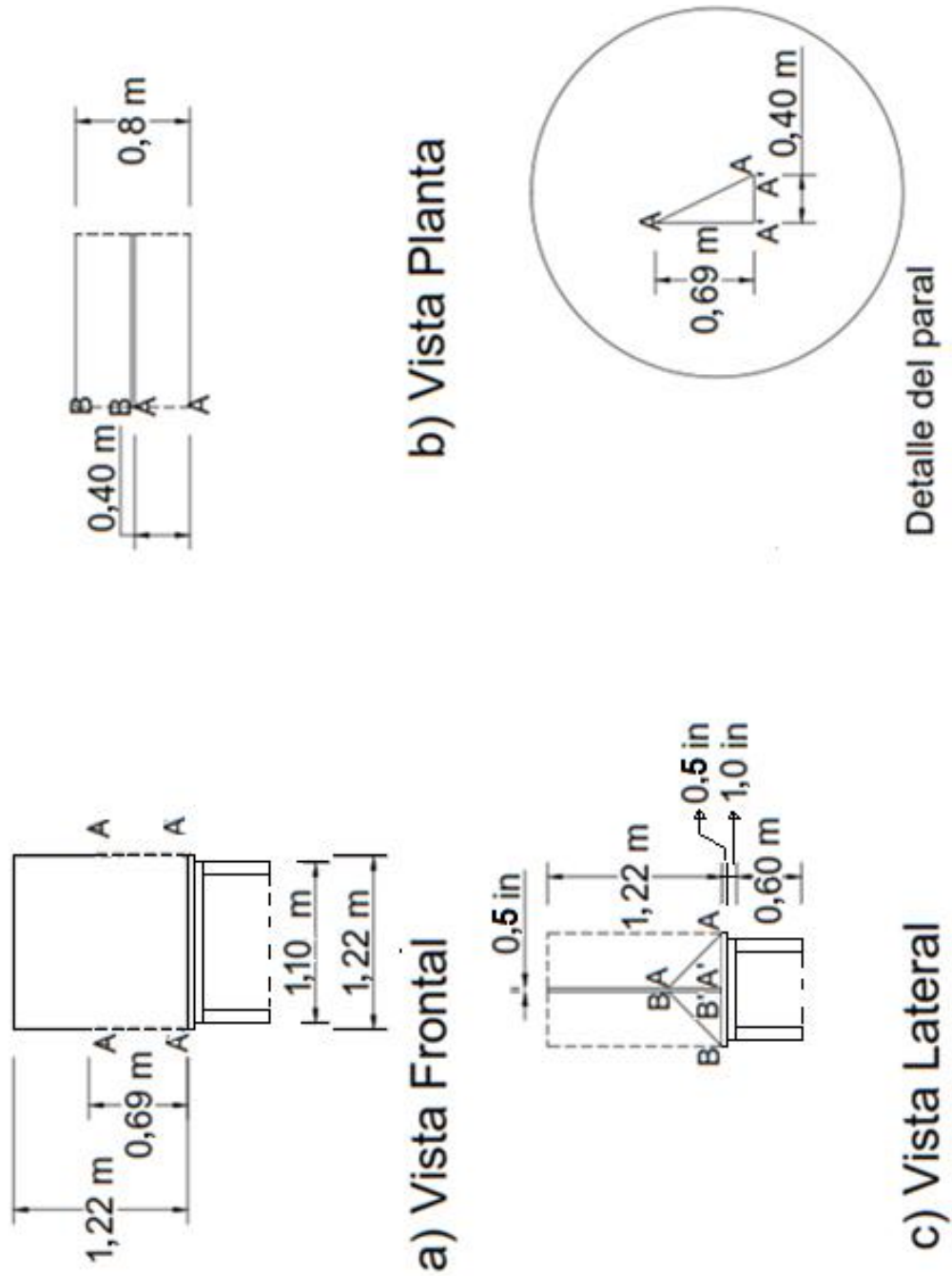
El modelo como el plano de construcción, se ilustran en las Figuras 61 y 62 que a continuación se muestran en esta sección.

Figura 61. **Isométrico de panel didáctico**



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

Figura 62. Distintas vistas del panel didáctico



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

Figura 63. **Panel didáctico**



Fuente: elaboración propia. Panel didáctico en madera tipo caoba, residencia particular, ciudad de Guatemala.

El panel didáctico se ha montado sobre un mueble principal de madera de tipo caoba, con el fin de agregarle rigidez al panel y evitar movimientos pendulares por acción del peso de los equipos, que pueden dañarse si se llegan a golpear por impacto. En la Figura 63, se muestra el mueble principal del panel didáctico.

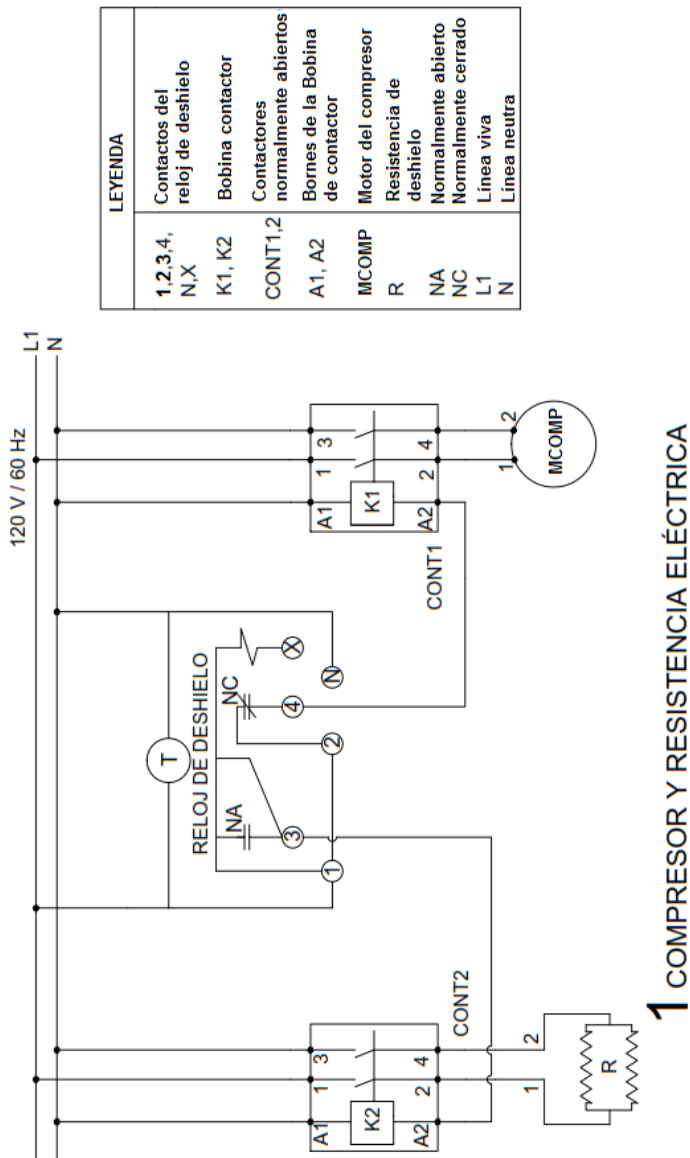
4.1.2. Diseño de los circuitos eléctricos

El panel didáctico se ha diseñado para simular 5 circuitos eléctricos, 3 son de refrigeración y 2 de aire acondicionado. Para ambos sistemas, los circuitos eléctricos se entrelazan con circuitos de control y mando, para ello se utilizaron los contactores magnéticos como un *relé*. Estos circuitos se construyen con los equipos presentes en el panel, son de conexiones sencillas como complejas, con el fin de que el estudiante desarrolle su capacidad cognoscitiva en base al conocimiento que está adquiriendo en forma teórica, de la práctica de laboratorio correspondiente.

Todo el sistema eléctrico se ha diseñado para operar con un potencial de 120 V, y un máximo consumo pico de 40 A, limitando toda la instalación eléctrica del panel, como conexiones entre equipos, en una línea monofásica. El sistema eléctrico del panel está polarizado a tierra, además posee controles de cortocircuito del tipo *flipón* y botonera de accionamiento, que es el interruptor de paso de corriente. Los circuitos eléctricos que se presentarán a continuación, de la Figura 64 a la 68, están diseñados para ser utilizados uno a la vez, es decir, no puede realizarse un circuito eléctrico de refrigeración y aire acondicionado al mismo tiempo, el consumo de amperaje se elevaría por encima del máximo, causando corto circuito con posibles consecuencias de quema de alambre, quema de equipos y, en caso fatal, incendio.

- PRIMER CIRCUITO: RESISTENCIA DE DESCONGELACIÓN Y COMPRESOR DEL REFRIGERADOR

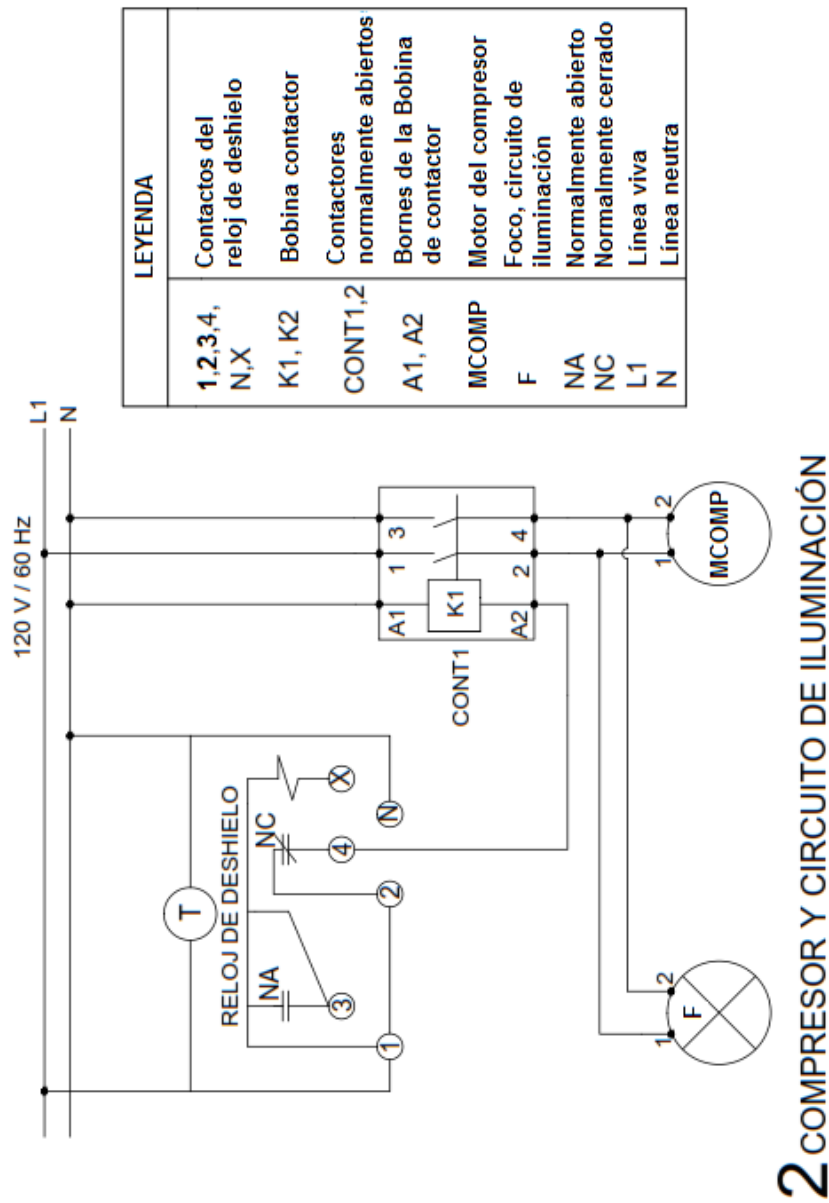
Figura 64. **Primer circuito de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

- SEGUNDO CIRCUITO: SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y COMPRESOR DEL REFRIGERADOR

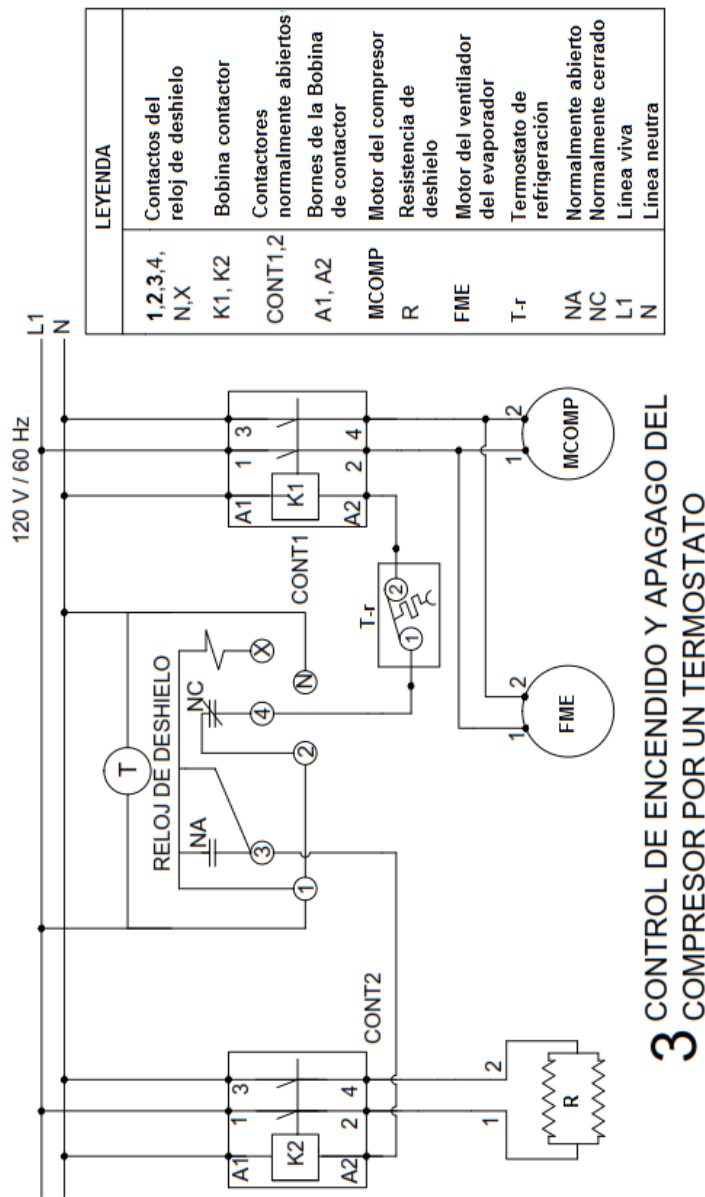
Figura 65. Segundo circuito de refrigeración



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

- TERCER CIRCUITO: CONTROL DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL COMPRESOR POR UN TERMOSTATO PARA REFRIGERACIÓN

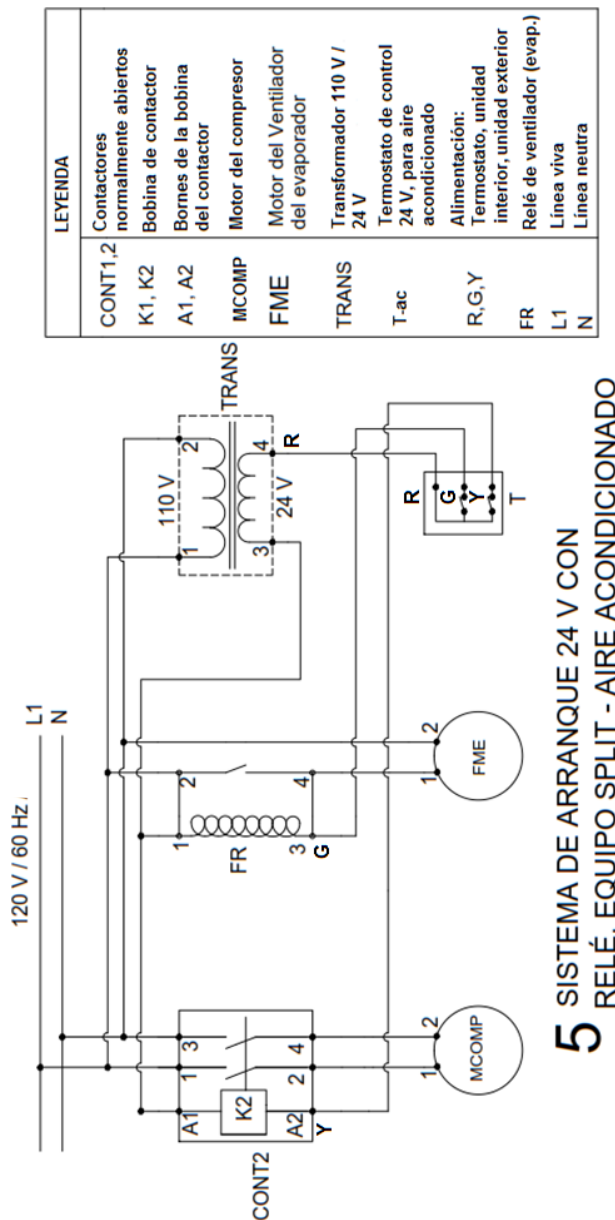
Figura 66. Tercer circuito de refrigeración



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

- QUINTO CIRCUITO: SISTEMA DE ARRANQUE 24 V CON RELÉ, EQUIPO SPLIT, SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Figura 68. Segundo circuito de aire acondicionado



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

Todos los circuitos eléctricos diseñados se pueden construir con los equipos y elementos que presenta el panel didáctico, lo que se necesita es que el estudiante presente el interés de aprender, así como buen entendimiento en el momento en que explican la práctica de electricidad orientada, ya sea a los sistemas de refrigeración o al aire acondicionado.

El panel didáctico, como se verá en su construcción más adelante, presenta calcomanías de advertencia de manejo de los equipos, el tipo de conexiones entre equipos, como también el cuidado de los mismos. Debe hacerse notorio, que antes de construir todo circuito eléctrico debe tenerse precaución en que el sistema no esté energizado al momento de armar los circuitos eléctricos, para evitar falsos contactos que pueda provocar daños a los equipos, con un cortocircuito.

El primer circuito que se ilustra en la Figura 64, RESISTENCIA DE DESCONGELACIÓN Y COMPRESOR DEL REFRIGERADOR, muestra el proceso el que se inicia un ciclo con el funcionamiento del compresor y ejemplifica el control de la resistencia eléctrica para los ciclos de deshielo en un refrigerador común o en un cuarto frío; el reloj de deshielo funciona mediante el cumplimiento de un ciclo que se ajusta con su perilla. Al cumplir los ciclos de trabajo va alternando el funcionamiento del motor del compresor como de la resistencia de deshielo.

El segundo circuito que se ilustra en la Figura 65, SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y COMPRESOR DEL REFRIGERADOR, el foco representa el circuito de iluminación en un refrigerador común; este es activado por un interruptor especial que, al abrir la puerta, conmuta y enciende la bombilla, en este caso el funcionamiento se ha ejemplificado al conectar en forma paralela con el compresor a la terminal del reloj de deshielo, de modo que permanezca

encendido junto con el compresor; caso común que se observa en un refrigerador doméstico cuando se abre la puerta principal y el sistema está en pleno ciclo mecánico (funcionamiento del compresor). Tanto el primero como el segundo circuito, presentan también un circuito de mando y control, mediante el uso de contactores magnéticos para su funcionamiento, la razón de su uso es que la resistencia eléctrica, el circuito de iluminación, como el motor del compresor, no pueden conectarse en forma directa al reloj de deshielo.

El tercer circuito que se ilustra en la Figura 66, CONTROL DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL COMPRESOR POR UN TERMOSTATO PARA REFRIGERACIÓN, representa la función que tiene el termostato de refrigeración para controlar el encendido y apagado del compresor, mediante el control de temperatura del bulbo que se ha instalado sobre el evaporador; este circuito es bastante completo e ilustra el funcionamiento del evaporador, compresor y la resistencia eléctrica, controlados mediante contactores y la bobina de estos es controlada por el reloj de deshielo. Según se fije la temperatura de control en el termostato, así permitirá el tiempo en que esté accionado el compresor. Los ciclos de trabajo del sistema se ajustan siempre con el reloj de deshielo, los mismos dependerán del tiempo que se disponga al enseñar la práctica.

El cuarto circuito que se ilustra en la Figura 67, SISTEMA DE ARRANQUE 24 V, EQUIPO *SPLIT*, SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO, este sistema es muy parecido en funcionamiento al primer circuito de aire acondicionado, la diferencia es que al equipo que representa la unidad interior, específicamente al motor del ventilador, se le agregó un *relé* potencial con bobina 24 V, es igual que el contactor magnético, ambos se utilizan como mecanismo de encendido, solo que estos llegan hasta capacidades de 15 A. Al energizar la bobina del *relé* crea un campo magnético lo suficientemente alto para cerrar los contactos

y permitir el paso de corriente al motor del ventilador de la unidad interior (evaporador).

El quinto circuito que se ilustra en la Figura 68, SISTEMA DE ARRANQUE 24 V CON RELÉ, EQUIPO *SPLIT*, SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO. Este sistema es muy parecido en funcionamiento al primer circuito de aire acondicionado, la diferencia es que al equipo que representa la unidad interior, específicamente al motor del ventilador se le agregó un *relé* potencial con bobina 24 V, es igual que el contactor magnético, ambos se utilizan como mecanismo de encendido, solo que estos pueden llegar hasta capacidades mayores de 15 A. Al energizar la bobina del *relé* crea un campo magnético lo suficientemente alto para cerrar los contactos y permitir el paso de corriente al motor del ventilador de la unidad interior (evaporador).

4.1.3. Diseño del sistema de conexiones eléctricas del panel

El panel didáctico se ha diseñado para construirse en alimentación monofásica, 2 líneas, una línea viva (L1) y una línea neutra (N), la tensión suministrada será de 120 V a 60 Hz, que es lo común en una instalación eléctrica residencial.

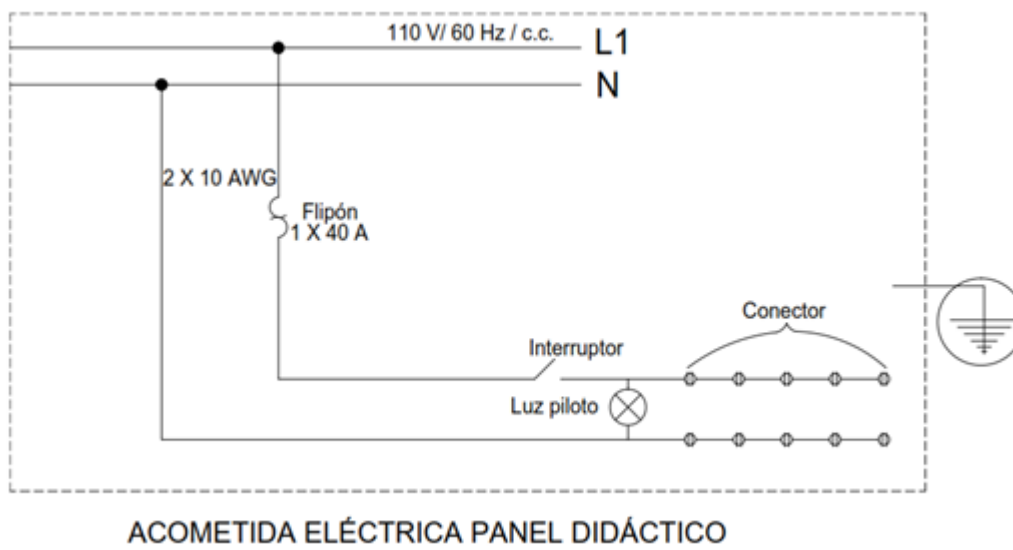
Las conexiones eléctricas del panel se dividen en dos partes, la primera parte hace referencia a la acometida eléctrica del panel, que será la encargada de la alimentación eléctrica para todos los equipos, la segunda parte hace referencia a las conexiones eléctricas entre equipos. En los párrafos siguientes se explicarán ambas partes.

La acometida eléctrica del panel se ilustra en la Figura 69, como elementos de control se han seleccionado dos, uno principal que es un *flipón* o

breaker, que viene en función del máximo amperaje del equipo en el panel y un secundario que protege las líneas de conexión, es de acción inmediata del tipo interruptor.

Los conectores que se instalarán son del tipo banana hembra o *jack*, estos deben conectarse en serie, a su vez se instalará una luz piloto como control de que si hay corriente en el sistema eléctrico del panel.

Figura 69. **Acometida eléctrica del panel didáctico**



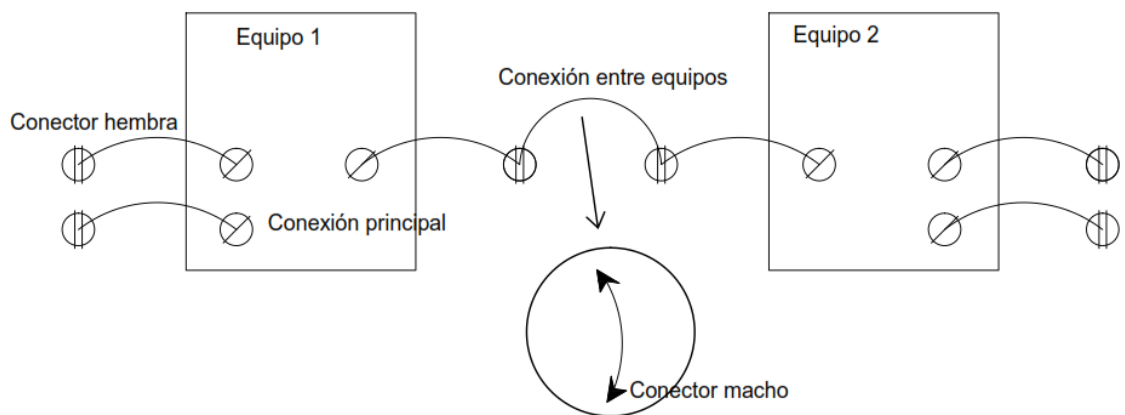
Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

Más adelante se describe a detalle el calibre de cable a utilizar según las normas americanas AWG (*American Wire Gauge*), pues la selección del calibre del cable como del *flipón*, viene en función del consumo de amperaje por equipo y consumo total; como se explicará en la sección siguiente, el mayor consumo lo presenta el equipo reloj de deshielo con 40 A, escogiendo un cable de calibre AWG 10 para hacer la instalación de la acometida eléctrica del panel, escogiendo un flipón de 50 A, pues se recomienda tomar un 25 % de más

respecto a la máxima carga del sistema; este tipo de *flipón* se encuentra fácilmente en el mercado guatemalteco.

La segunda parte hace referencia a la conexión eléctrica entre los equipos y, a su vez, a la fuente de poder, para su funcionamiento correcto. En la Figura 70 se muestra esquemáticamente la forma en que se conectará un equipo a otro equipo.

Figura 70. **Esquematación de conexión entre equipos**



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

Para realizar este tipo de instalaciones eléctricas, se debe de contar con el siguiente material electrónico y eléctrico:

- Conector hembra o *jack* del tipo banana
- Conector macho o *plug* del tipo banana
- Alambre delgado de un calibre AWG (según amperaje a conducir)
- Estaño en hilo para soldar
- *Cautín* (40 W de potencia)

- Pasta para soldar estaño
- Pinza y alicate

En la Figura 71, se ilustra este tipo de conexiones eléctricas entre los equipos.

Figura 71. **Conectores tipo *jack* y *plug***



Fuente: *Mexbusa*. www.mexbusa.com/index.php/catalogo/accesorios-electronica-audio.

Consulta: 12 de diciembre de 2016.

4.1.4. Selección del equipo eléctrico

El equipo eléctrico fue seleccionado en base al diseño del panel, ya que el objetivo de este panel es presentar circuitos eléctricos de refrigeración como de aire acondicionado; debe presentar equipos de las dos gamas.

En los párrafos siguientes se presenta los equipos seleccionados en tablas, además se presenta la selección del calibre de alambre AWG en base al

consumo de amperaje de los equipos, como el balanceo eléctrico del tablero para la selección del flipón correcto. Los datos que se han tomado para el calibre del cable se han seleccionado en base a un criterio de seguridad, respaldado según la tabla estándar de las normas americanas AWG; estos datos se muestran en la Tabla 1 de los Anexos.

En la Tabla VII, se describen los equipos eléctricos para simular los circuitos eléctricos de refrigeración. Los que se han seleccionado son los siguientes:

Tabla VII. **Selección de equipos eléctricos de refrigeración**

No.	EQUIPO	AMPERAJE	CALIBRE
1	Reloj de deshielo para cuartos fríos	40 A	AWG 10
2	Contactores magnéticos	30 A	AWG 12
3	Motor eléctrico monofásico	1 A	AWG 14
4	Resistencia eléctrica calefactora	0,38 A	AWG 14
5	Foco color verde	0,1 A	AWG 14
6	Termostato para cuarto frío	16 A	AWG 12

Fuente: elaboración propia.

Estos equipos según la forma en que se conecten representarán las instalaciones eléctricas reales de un refrigerador común y una bodega frigorífica, como se muestran en los diagramas eléctricos; se hace la salvedad que para representar el compresor y el ventilador del evaporador, se ha seleccionado un motor eléctrico y para simular todo el circuito de iluminación un foco, por último para representar el circuito de deshielo se ha seleccionado una

resistencia eléctrica de baja potencia. Se debe recordar que el fin del panel didáctico es dar a conocer cómo realizar conexiones eléctricas de este tipo de instalaciones.

Los equipos eléctricos seleccionados para simular los circuitos eléctricos de aire acondicionado se dan a conocer en la Tabla VIII, los mismos muestran una característica importante y es que consumen menos amperaje que los equipos descritos anteriormente; estos son:

Tabla VIII. **Selección de equipos eléctricos de aire acondicionado**

No.	Equipo	Amperaje	Calibre
1	Contactores magnéticos	20 A	AWG 12
2	Transformador de voltaje 120 V/ 24 V	1 A	AWG 12
3	Termostato de control, tipo análogo para A/C	1 A	AWG 14
4	Motor eléctrico con capacitor interno	1 A	AWG 14
5	Foco color naranja	0,1 A	AWG 14
6	Relé de potencia	1 A	AWG 14

Fuente: elaboración propia.

Se recomienda que al realizar la conexión del transformador a la fuente de poder se debe colocar un alambre AWG 12, la razón fundamental es para proteger a los equipos de cualquier sobrecarga parásita que no haya circulado a tierra.

En estos equipos nuevamente se hace la salvedad, que para la representación de ciertos equipos sofisticados de los sistemas de aire acondicionado se utilizan equipos básicos, algunos más complejos que otros; para simular el compresor de la unidad exterior se utiliza un foco, para simular el evaporador de la unidad interior se utiliza un motor de ventilador, esto para un sistema de aire acondicionado tipo *Split*. Nuevamente se indica que el objetivo de este panel didáctico es familiarizar al estudiante para realizar instalaciones y conexiones entre equipos como a la fuente de poder, mediante el entendimiento de diagramas de potencia, mando y control, aún si para ello se deben utilizar equipos y materiales bastante comunes.

Por la forma en que se ha diseñado el panel didáctico, junto con las posiciones en que se ha pensado colocar los equipos al momento de realizar las conexiones, estos equipos estarán en paralelo, por lo que la corriente que circulará por los mismos se puede limitar a la que necesitan, evitando que se quemen por exceso de corriente.

El *flipón* es de 50 A, el *switch* interruptor es de 40 A y la espiga que conecta al tomacorriente está blindada con protección a tierra, también de 40 A. Estos elementos protectores son parte de la acometida eléctrica del panel didáctico, para la acometida eléctrica principal el calibre del alambre es AWG 10, por lo que los equipos están protegidos contra sobrecalentamiento; sin embargo, una mala conexión de los mismos puede provocar un cortocircuito.

4.1.5. Ubicación de los equipos, elementos y accesorios en el panel

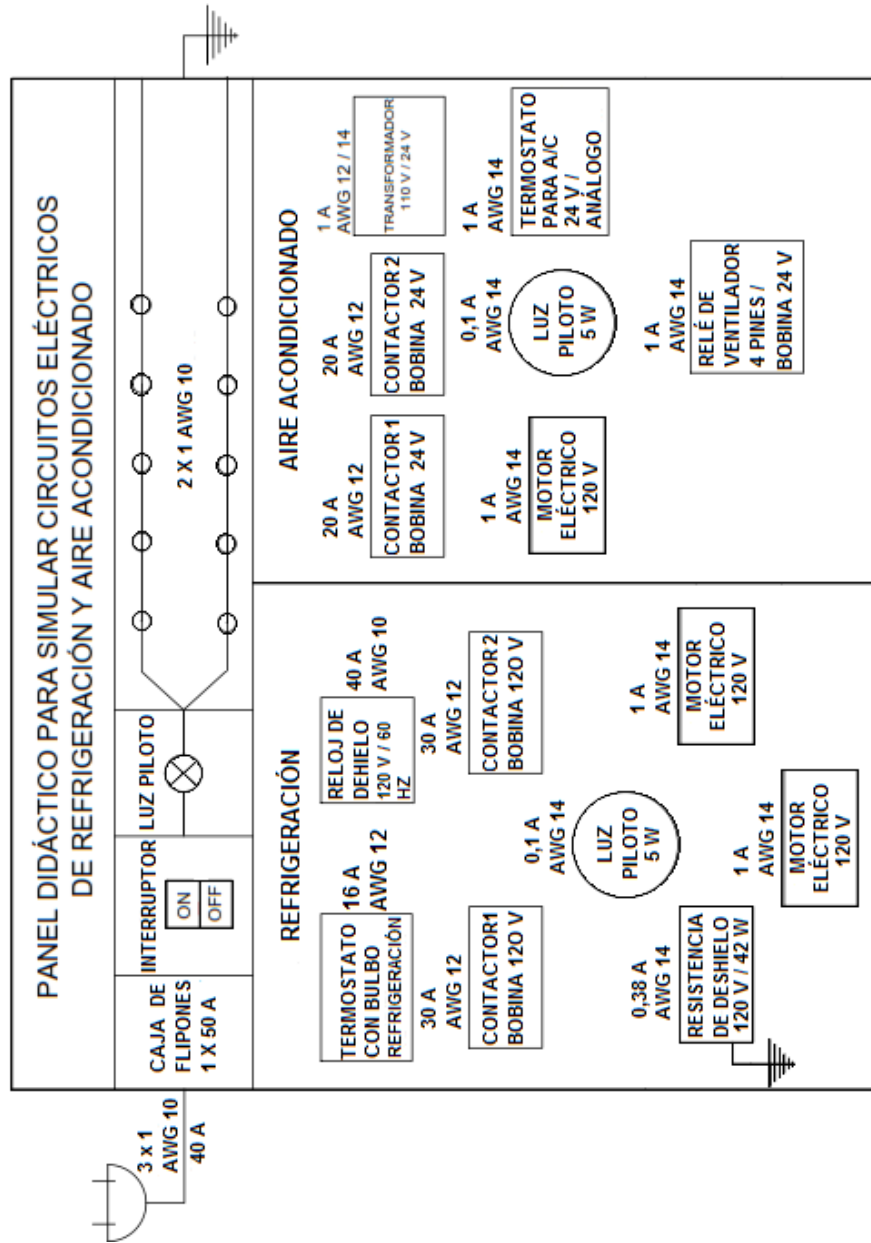
En esta sección se mostrará el diseño final del panel didáctico del cual se partirá para su construcción, montaje y ensamblaje de los equipos, como de los elementos junto con sus conexiones eléctricas.

El panel didáctico será dividido por la mitad dejando un espacio en la parte de arriba para realizar la acometida eléctrica principal. En la primera división se colocarán los equipos para trabajar los circuitos de refrigeración, en la segunda división se colocarán los equipos para formar los circuitos de aire acondicionado.

Para cada división se pintará con un color diferente, además se agregarán calcomanías para identificar a los equipos con sus nombres, representación eléctrica, con el fin que el panel didáctico pueda presentar mayor estética y presentación. Se ha escogido para refrigeración el color verde claro y para aire acondicionado el color celeste opaco.

Estos colores han sido escogidos aleatoriamente, sin embargo la tonalidad de los mismos ha sido pensada para evitar contrariedades al momento de utilizar el panel. En la Figura 72, se muestra el esquema del diseño final del panel didáctico previo a su construcción.

Figura 72. Diseño final panel didáctico



Fuente: elaboración propia, empleando AUTOCAD, 2010.

4.1.6. Características, funcionamiento y aplicación de los equipos seleccionados

Las características, el funcionamiento, la corriente y voltaje con que deben alimentarse los equipos utilizados se presenta a continuación, también se da a conocer el equipo real que representa en base al diagrama eléctrico de la conexión real, de los sistemas de refrigeración como de aire acondicionado.

Los equipos utilizados para representar los circuitos eléctricos de refrigeración y aire acondicionado, se han mencionado previamente en las Tablas VII y VIII. En esta sección se realiza más a detalle.

- Reloj de deshielo para cuartos fríos

Utilizado para ejemplificar circuitos eléctricos de refrigeración. Es de la marca *PARAGON* modelo 8145-00EX, se puede conectar a una línea monofásica de 110 V o a dos líneas para 220 V, tiene dos contactos uno es normalmente cerrado (NC) y el otro es normalmente abierto (NO); el motor del reloj consume 2 HP y debe suministrársele 40 A de corriente eléctrica.

Para su funcionamiento, previamente ya en conexión con los otros equipos que controlará, funciona al hacer girar una perilla en sentido antihorario, pues se completa un ciclo en el que se inicia o se apaga el compresor o la resistencia eléctrica, o bien el circuito de iluminación. Posee un mecanismo para controlar el tiempo de trabajo (permanece encendido) del motor del reloj; dentro de este horario cumplirá la cantidad de ciclos de funcionamientos que pueda realizar en ese tiempo.

- Termostato con bulbo para refrigeración

El termostato utilizado es de la marca *White Rodgers*, el modelo es 1609-101, del tipo análogo. El modo en que funciona es por un interruptor de cierre en subida de un solo polo, su rango de temperatura de operación es de - 34 °C a 32 °C. Con el termostato viene incluido un bulbo junto con su capilar, el cual debe instalarse en la superficie del evaporador; el bulbo está lleno de refrigerante que opera en el rango de temperatura descrito anteriormente. Dentro del equipo hay un arreglo mecánico que desactiva el paso de corriente eléctrica, una vez alcance el valor seteado de la temperatura en el dial del termostato; a esa temperatura corresponde una presión de vapor específica del refrigerante, que permite hacer funcionar el mecanismo de corte de corriente.

El bulbo tiene dimensión de 0,375 x 5,75 in y el capilar una dimensión de 5 ft. La alimentación eléctrica es 120 V, 16 A de consumo eléctrico y puede conectarse a corriente alterna o continua; la instalación es monofásica y su función principal es controlar el encendido y apagado del compresor para asegurarse que la temperatura del equipo o sistema permanezca en el rango correcto de trabajo.

- Contactores magnéticos bobina 120 V

Son utilizados en las conexiones de los circuitos eléctricos de refrigeración. Estos equipos representan el circuito de control y mando, dentro de una instalación eléctrica. El contactor magnético es de la marca *JARD*, es de dos polos, contactos normalmente abiertos (NO), consume 30 A y puede conectarse a una línea monofásica de 120 V.

Su funcionamiento radica en el momento en que se energiza su bobina, cierra los contactos y deja pasar la corriente en ese instante. Al momento de desenergizar la bobina estos vuelven a abrir.

- Resistencia eléctrica calefactora

Es un elemento utilizado en los circuitos eléctricos de refrigeración. La resistencia eléctrica calefactora tiene 3 cables de conexión, uno de ellos va aterrizado a tierra y los otros dos son los cables de alimentación y neutro. Está construida con una camisa de polivinilo con el fin de protegerla contra la humedad. Consume 42 W, se alimenta a una línea monofásica de 110 V, puede conectarse a voltaje, pero se recomienda conectar a un dispositivo de control (reloj de deshielo). Tiene una longitud 6 m, viene en la presentación, cola de ratón. Es de la marca *QUALITY*.

Al momento de conectar la resistencia eléctrica, esta comienza a calentarse. Para evitar daños a los estudiantes que la están manipulando, la misma está protegida con polivinilo.

- Termostato para aire acondicionado, control 24 V

Este equipo es utilizado para los circuitos eléctricos de aire acondicionado. Forma parte del sistema de control en las conexiones de los equipos, pues a este dispositivo se conectan otros para ser controlados. Es de la marca *QUALITY*, se conecta a una línea monofásica de 24 V y consume 1 A. Este termostato es del tipo análogo no programable, trae consigo una palanca que permite ajustar la temperatura, además de traer unas palancas pequeñas para controlar el encendido/apagado del equipo, como otra palanca que sirve de control.

A este termostato se conecta el motor eléctrico y el foco; al momento de accionar las palancas de control se alterna el funcionamiento de cada uno, o bien pueden funcionar en conjunto.

- Contactores magnéticos bobina 24 V

Se utilizan en los circuitos eléctricos de aire acondicionado. Es de la marca *JARD*, tiene 2 polos, contactos normalmente abiertos (NO), su bobina es alimentada con 24 V, mientras que sus contactos pueden conectarse a una línea monofásica de 110 V. Su funcionamiento es el mismo que el descrito en la sección de contactores con bobina de 120 V, la única diferencia es que en este su bobina se energiza con 24 V. Este tipo de control proviene del termostato, previamente descrito.

- *Relé* potencial para ventilador

Es utilizado para los circuitos eléctricos de aire acondicionado. Es de la marca *QUALITY*, es de 4 pines con bobina de 24 V y contactos que pueden conectarse a una línea monofásica de 120 V.

Su funcionamiento es similar al de un contactor magnético, sin embargo la diferencia radica en que al momento de energizar la bobina del *relé*, esta cierra el contacto y permanece así mientras la bobina sea alimentada; a diferencia de los otros la duración del contacto cerrado es solo un instante. Por lo general se conecta al evaporador de la unidad interior del sistema *Mini Split*, en este caso un foco.

- Transformador de voltaje 120 V – 24 V

Equipo utilizado en los circuitos de aire acondicionado. Este transformador de voltaje es de la marca QUALITY, convierte el voltaje de 120 V a 24 V, todo en conexión monofásica. Este transformador presenta conexiones a líneas de 208 V y 240 V, sin embargo la salida es solo para 24 V. Trae consigo varios cables de colores, los mismos están identificados en una tabla que presenta el equipo.

El funcionamiento de este elemento consiste en que, al ser energizado, mediante el devanado primario, circula 120 V, mientras que en el segundo circulará 24 V, esto gracias al arreglo de los embobinados. A este tipo de transformadores de voltaje, se les llama transformadores reductores de voltaje.

- Motor eléctrico

Se utilizan para circuitos de refrigeración como de aire acondicionado. Este tipo de motor es de la marca SUPCO, viene el motor eléctrico junto con sus componentes para ensamblar una especie de rodete con sus paletas. Se puede conectar a una línea monofásica de 120 V, consume 1 A y los componentes que trae para su montaje son antivibratorios. Al momento de conectarle corriente, el eje del motor eléctrico girará, por lo que las paletas del rodete empezarán a girar también.

- Focos de colores

Son utilizados para circuitos de refrigeración y aire acondicionado. Los foco son de la marca CHIYODA, se encuentran en la presentación de color verde y color naranja, se conectan a una línea monofásica de 120 V, en un

plafón universal, consumen alrededor de 0,1 A y 5 W de potencia. Al momento en que la corriente llegue a los contactos del foco, este encenderá una luz.

4.2. Construcción del panel

En esta sección se describe la construcción del panel didáctico, desde el montaje básico de los componentes que formarán parte del mismo, hasta las instalaciones eléctricas, tanto de los equipos como de la acometida eléctrica principal para el panel.

4.2.1. Ensamble de componentes

El panel didáctico está dividido en 3 partes, horizontal y verticalmente. La primera división es horizontal y en esta sección se ha llevado a cabo la instalación de la acometida eléctrica que se describe en la sección 4.2.2; las otras dos divisiones son verticales y es exactamente a la mitad del panel didáctico, una parte es para la sección de refrigeración y la otra para la sección de aire acondicionado.

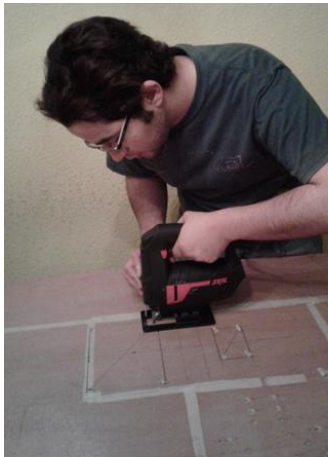
El diseño principal del panel didáctico es una plancha cuadrada de *plywood* de 4 x 4 ft, el color es café tipo madera, sin embargo la plancha se ha pintado de dos colores. Para el ensamblaje de los componentes se debe iniciar trazando la posición de los equipos como se muestra en la Figura 73. Una vez terminado el trazado se debe proceder al corte en la plancha, además se debe taladrar para el montaje de los tornillos de los equipos tal como se muestra en la Figura 74.

Figura 73. **Trazo para distribución de los componentes**



Fuente: elaboración propia. Parte frontal del cajón secundario, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Figura 74. **Corte y taladrado para montaje de los equipos**



a) Corte en plancha de madera



b) Taladrado en plancha de madera

Fuente: elaboración propia. Parte frontal del cajón secundario, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Como se había explicado al inicio de este capítulo, el panel didáctico está formado por un mueble inicial de caoba y por un cajón con la forma del mueble principal de *plywood*. En la construcción de *plywood* es donde van colocados los equipos. El mueble principal sirve como sostén al cajón. El cajón se debe construir al finalizar toda la parte de diseño, corte y taladrado para montaje de los equipos, pues por la forma particular con la que se debe construir, como se muestra en la Figura 75, no permitiría realizar tales acciones una vez terminado de construir el cajón.

Figura 75. **Construcción del cajón secundario del panel**



Fuente: elaboración propia. Cajón secundario, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Al cajón de *plywood* se le debe aplicar una capa de pintura de color base, previo a colocar los colores originales. El color base para este proyecto en

particular es blanco y los colores finales son verde claro y celeste opaco, como se muestra en la Figura 76 y se ha descrito previamente en este capítulo.

Figura 76. **Color final del panel didáctico**



Fuente: elaboración propia. Cajón secundario, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Como parte de la seguridad del panel didáctico se han incluido calcomanías para identificar eléctricamente cada equipo y sus conexiones a la fuente de poder; además incluye dos leyendas, ambas impresas en calcomanías; la primera identifica los colores de cables y conectores y los relaciona con el voltaje de corriente, la segunda es de advertencia, por el uso de los equipos y el uso de la resistencia eléctrica por mucho tiempo.

Estas calcomanías de advertencia se ilustran en la Figura 77.

Figura 77. **Calcomanías de seguridad en el panel**



Fuente: elaboración propia, empleado PAINT, 2010.

Para mayor protección de los equipos, estos se han de proteger con un cobertor fabricado de nailon como se ilustra en la Figura 78.

Figura 78. **Cobertor del panel didáctico**



Fuente: elaboración propia. Cobertor de nailon para panel didáctico, residencia particular, ciudad de Guatemala.

4.2.2. Instalaciones eléctricas

Este apartado comprende las instalaciones eléctricas del panel didáctico, en el cual se incluye la descripción de la acometida eléctrica del panel didáctico y las instalaciones eléctricas entre los equipos.

Los materiales necesarios para realizar las instalaciones eléctricas comprende:

- *Cautín*
- Estaño
- Pasta para soldar
- Cable calibre AWG 10, 12 y 14
- Terminales eléctricas tipo banana y *faston* (hembra y macho)
- Herramienta para entallado y pela cables
- Pinzas, alicate, cuchilla de electricista

Estos materiales se muestran en la Figura 79. Para llevar a cabo las instalaciones eléctricas, previamente se debe haber llevado a cabo el montaje de los equipos, la razón es para poder fijar bien los cables y que las instalaciones eléctricas puedan quedar bien hechas y evitar falsos contactos que provoquen cortocircuitos.

Figura 79. **Materiales y herramientas para realizar instalaciones eléctricas**



Fuente: elaboración propia. Materiales y herramientas eléctricas, residencial particular, ciudad de Guatemala.

Las instalaciones eléctricas, como se ha descrito anteriormente, se han dividido en dos partes, estas se describen a continuación.

- Acometida eléctrica principal

La acometida eléctrica principal comprende:

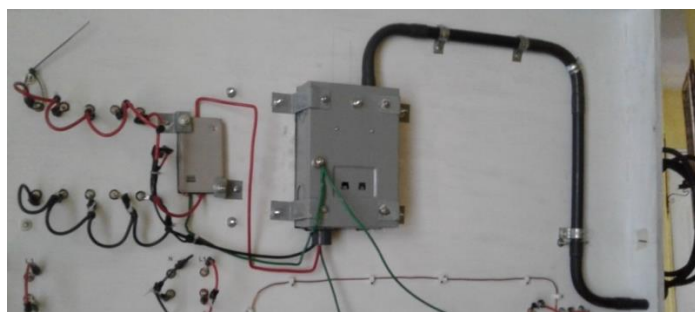
- Caja de flipones (*breakers*)
- Un *flipón* de 50 A
- Luz piloto color amarillo
- Interruptor (*Switch*) ON/OFF

- Terminal tipo banana (hembra y macho)
- Lámina de soporte de terminales de hierro galvanizado
- Cable AWG 10 (rojo, negro, blanco y verde)
- Espiga polarizada

En la Figura 80 se ilustra la instalación de la acometida eléctrica principal del panel didáctico. La alimentación eléctrica llega hasta las terminales tipo banana hembra montadas en la parte superior del panel, tiene el control de un *switch* botonero *ON/OFF* y se incluye una luz piloto para control visual. Toda esta acometida eléctrica está aterrizada a tierra. En la Figura 81 se ilustra las terminales de conexión de la fuente de poder a cada equipo del panel. La razón principal de esta forma de conexión entre equipos es porque el panel es didáctico y fomenta el autoaprendizaje mediante la interacción de los estudiantes con cada instalación eléctrica.

Como se explicará más adelante, para conectar con la terminal de conexiones a los equipos, se necesitarán cables con terminales banana tipo macho.

Figura 80. **Acometida eléctrica principal**



Fuente: elaboración propia. Acometida eléctrica principal, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Figura 81. **Terminal de conexiones**



Fuente: elaboración propia. Terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, residencia particular, ciudad de Guatemala.

- Instalaciones eléctricas

La forma en que se conectarán los equipos, se ha descrito e ilustrado anteriormente en este capítulo, sin embargo se hace nuevamente hincapié en la forma de instalación eléctrica pues es necesaria su explicación.

A cada equipo se le conectará una terminal tipo banana hembra, en cada terminal de conexión que posea y sea utilizada para las instalaciones eléctricas de cada circuito, tanto para los equipos de refrigeración como de aire acondicionado. Para ello es necesario soldar las terminales a un cable calibre AWG 10, 12 o 14, dependiendo del amperaje que consuma cada equipo; para la soldadura se necesita *cautín*, estaño en cantidad y pasta para soldar como el cable al cual quedará unida la terminal. En la Figura 82 se ilustra el procedimiento de la soldadura.

Figura 82. **Soldadura de las terminales eléctricas de los equipos**

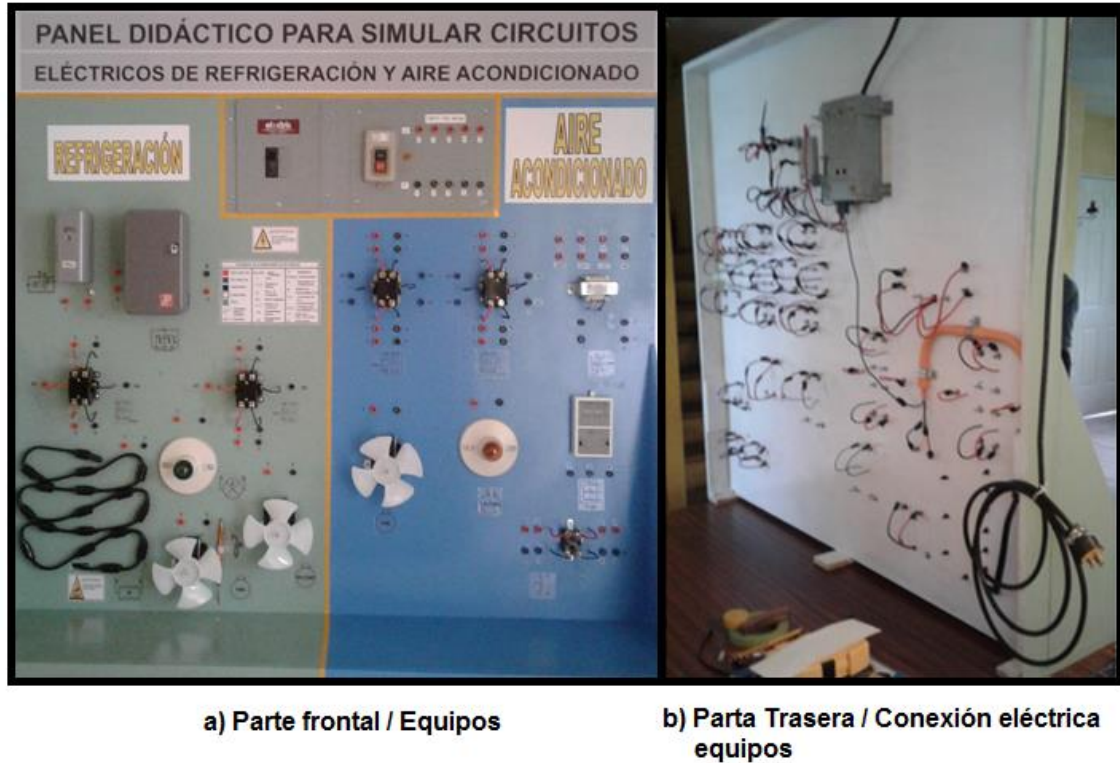


Fuente: elaboración propia. Soldadura de las terminales eléctricas, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Es necesario taladrar los agujeros donde irán colocadas las terminales eléctricas, previamente a la conexión de terminal banana hembra con la terminal de conexión original del equipo. Para todos los equipos, a sus conexiones principales se derivaron estas conexiones secundarias, con el fin de hacer este panel lo más didáctico posible. Para cada instalación se ha tomado en cuenta el amperaje de trabajo y en base a ello según las normas americanas AWG, se ha utilizado calibre AWG 10 para consumo mayor de 30 A, AWG 12 consumo menor a 30 A y AWG 14 para consumo menor a 10 A.

En la Figura 83 se ilustra las conexiones para algunos equipos, tanto de refrigeración como de aire acondicionado.

Figura 83. **Conexiones secundarias a terminales de equipos**



Fuente: elaboración propia. Derivación de conexión principal a conexión secundaria, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Cada equipo debe conectarse entre sí, para formar los distintos circuitos eléctricos, tanto de refrigeración como de aire acondicionado; a su vez esto permite que exista un circuito de control y un circuito de potencia. Al conectar todos los equipos, por lo regular el equipo más importante del cual todo el circuito depende para su funcionamiento, se conecta a las terminales de conexión de la acometida eléctrica, que viene siendo la fuente de poder para energizar todo el sistema. Para llevar a cabo esta función es necesario un cable con terminales especiales en ambos lados, este tipo de terminal al cual se hace referencia es la banana macho (*plug*).

El procedimiento para realizar este tipo de cableado es el mismo a utilizar para las conexiones de terminales secundarias, ambos deben soldarse con estaño, se diferencian pues el tipo de terminal eléctrica, ahora es banana macho, además que, para seguridad y protección del estudiante, el cable tiene calibre AWG 10, para que al momento de realizar las conexiones entre equipos lo pueda hacer con toda facilidad y sin peligro alguno. En la Figura 84 se ilustra el cable conector.

Figura 84. **Cable conector**



Fuente: elaboración propia. Cable conector entre equipos y acometida principal, residencia particular, ciudad de Guatemala.

Las instalaciones eléctricas en el panel didáctico se rigen con el código internacional de colores basado en la norma americana NEC; se muestra en la Tabla 2 de los Anexos; se ha colocado una calcomanía en el panel, con la leyenda de los colores utilizados, junto con el voltaje que representan cada uno.






En la Tabla IX se describe el significado de cada color y en la Figura 85 se ilustra la calcomanía.

Tabla IX. **Código de colores para cableado eléctrico del panel didáctico**

COLOR	REPRESENTACIÓN ELÉCTRICA
Rojo	Línea viva (120 V)
Azul	Línea viva (24 V)
Negro	Línea Neutra
Blanco	Línea Neutra
Verde	Tierra

Fuente: elaboración propia, basado en la Norma 400,22 (f) del Código NEC 2008.

Figura 85. **Clasificación de colores para cableado eléctrico**

LEYENDA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS		
 120 V, línea viva	MCOMP Motor compresor	R Resistencia
 24 V, línea viva	F Foco	TRANS Transformador
 Línea neutra	A1, A2 Bornes de Bobina	T-r Termostato de refrigeración
 Línea neutra	FR Relé de ventilador	T-ac Termostato de aire acondicionado
 Tierra	FME Motor Ventilador	R,G,Y Contactos del termostato
1,2,3,4, N,X Contactos Reloj de Deshielo	K1, K2 Bobina del contactor	L1 Línea viva, 120 V, CA, 60 Hz
CONT1,2 Contactor	NA Normalmente abierto	N Línea neutra
	NC Normalmente cerrado	

Fuente: elaboración propia, empleando PAINT, 2010.

Para todas las conexiones eléctricas del panel didáctico se debe utilizar cable recubierto de nailon termoplástico de alta resistencia al calor (THHN, por su significado en inglés).

4.3. Costo de la propuesta del diseño

Para llevar a cabo la construcción del panel didáctico, es necesario que se disponga de varios recursos, los más importantes el económico, intelectual y humano.

Con base en cotizaciones de los materiales, equipos, mano de obra, desarrollo intelectual, ha permitido generar una tabla donde indique el costo total que tiene la fabricación de este panel didáctico. Se hace hincapié en que todo el material, equipo y accesorios son de alta calidad, condición nueva y en buen estado.

Los costos se han dividido por equipo eléctrico, material eléctrico, herramientas y accesorios extras; además se ha incluido el costo por el diseño, mano de obra y el costo de mantenimiento mensual. Todo eso se describe en las Tablas X a la XIV y se presenta una tabla final resumen con el costo total del panel didáctico.

Tabla X. Costo de equipos del panel didáctico

No.	Tipo de recurso	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Material	Reloj de deshielo	1	Q 598,07	Q 598,07
2	Material	Termostato análogo	1	Q 113,93	Q 113,93
3	Material	Relé de 24 V, Interruptor Ventilador	1	Q 30,79	Q 30,79
4	Material	Motor de 1,8 W	3	Q 57,96	Q 173,88
5	Material	Contactador 20 A, 2 polos, bobina de control 24 V	2	Q 47,87	Q 95,74
6	Material	Contactador 30 A, 2 polos, bobina de control 120 V	2	Q 52,70	Q 105,40
7	Material	Transformador 120/208/240 V a 24 V, en 40 VA.	1	Q 56,64	Q 56,64
8	Material	Resistencia de calefacción para tubería, largo de 6 ft, 46 W	1	Q 149,78	Q 149,78
9	Material	Termostato con bulbo y capilar, análogo para cuarto frío	1	Q 418,00	Q 418,00
SUBTOTAL					Q 1 742,23

Fuente: elaboración propia, precios diferentes de varios proveedores, 2 de noviembre a 31 diciembre de 2016.

Tabla XI. **Costo de componentes eléctricos del panel didáctico**

No.	Tipo de recurso	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Material	Cable TSJ 3x10 AWG	4	Q 8,50	Q 34,00
2	Material	Cable AWG 10	12	Q 2,85	Q 34,20
3	Material	Cable AWG 12	12	Q 1,86	Q 22,32
4	Material	Cable AWG 14	12	Q 1,30	Q 15,60
5	Material	Tablero monofásico	1	Q 65,64	Q 65,64
6	Material	Flipón 50 A	1	Q 30,75	Q 30,75
7	Material	Espiga polarizada	1	Q 5,17	Q 5,17
8	Material	Cinta de aislar	1	Q 29,00	Q 29,00
9	Material	Canaleta para cable eléctrico	3	Q 8,28	Q 24,84
10	Material	Botonera ON/OFF	1	Q 36,95	Q 36,95
11	Material	Terminal banana hembra	78	Q 4,80	Q 374,40
12	Material	Terminal banana macho	45	Q 2,50	Q 112,50
13	Material	Terminal de capuchón	8	Q 1,00	Q 8,00
14	Material	Bombillas	2	Q 5,00	Q 10,00
15	Material	Tubo de 20 gramos de estaño	1	Q 15,00	Q 15,00
16	Material	Luz piloto color amarillo	1	Q 4,00	Q 4,00
SUBTOTAL					Q 822,37

Fuente: elaboración propia, precios diferentes de varios proveedores, 2 de noviembre a 31 diciembre de 2016.

Tabla XII. **Costo de herramientas y accesorios del panel didáctico**

No.	Tipo de recurso	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Material	Prensa terminales	1	Q 51,00	Q 51,00
2	Material	Cinchos de plástico	100	Q 0,10	Q 10,00
3	Material	Plancha de <i>plywood</i> 6 x 8 ft, e = 0,5 in	1	Q 204,50	Q 204,50
4	Material	Sierra caladora 380 W	1	Q 250,00	Q 250,00
5	Material	Cuchilla para sierra caladora	1	Q 28,00	Q 28,00
6	Material	<i>Kit</i> de brocas de titanio	1	Q 140,00	Q 140,00
7	Material	Cemento de contacto	1	Q 39,45	Q 39,45
8	Material	Pintura de aceite (varios colores) 1/4 gal	3	Q 35,00	Q 105,00
9	Material	Cinta reflexiva (ft)	4	Q 10,00	Q 40,00
10	Material	Multímetro digital profesional	1	Q 340,00	Q 340,00
11	Material	Cautín tipo lápiz	1	Q 46,00	Q 46,00
12	Material	Calcomanías	16	Q 5,00	Q 80,00
13	Material	Cobertor de panel	1	Q 100,00	Q 100,00
SUBTOTAL					Q 1 433,95

Fuente: elaboración propia, precios diferentes de varios proveedores, 2 de noviembre a 31 diciembre de 2016.

Tabla XIII. **Costo de diseño y construcción del panel didáctico**

No.	Tipo de recurso	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Tecnológico e intelectual	Diseño del panel didáctico	1	Q 500,00	Q 500,00
2	Humano	Costo por hora trabajada	12	Q 80,00	Q 960,00
3	Humano	Servicio de Mantenimiento	1	Q 100,00	Q 100,00
SUBTOTAL					Q 1 560,00

Fuente: elaboración propia, precios diferentes de varios proveedores, 2 de noviembre a 31 diciembre de 2016.

Tabla XIV. **Costo total del panel didáctico, resumen**

No.	Tipo de recurso	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Material	Varios: equipos, eléctrico, herramientas y otros.	-	-	Q 3 998,55
2	Humano	Costo por hora humana y mantenimiento	-	-	Q 1 060,00
1	Tecnológico e intelectual	Diseño del panel didáctico	1	Q 500,00	Q 500,00
TOTAL					Q 5 558,55

Fuente: elaboración propia, resumen de tablas anteriores.

El panel didáctico tiene un costo total de Q 5 558,55; además debe realizarse mantenimiento constante, con el objetivo de preservar al máximo el panel didáctico, el detalle del plan de mantenimiento se describe en el capítulo siguiente.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL DIDÁCTICO

5.1. Instalación y pruebas de funcionamiento del panel en el laboratorio

La propuesta del panel didáctico comprende la construcción y la implementación del mismo en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado.

El panel didáctico debe colocarse en un espacio bastante amplio para facilitar su uso y evitar golpes o ralladuras que puedan restar estética al panel; no debe ser expuesto a luz directa y debe tener ventilación a fin de evitar que se dañen los equipos por exceso de calor provocado por altas temperaturas.

En la Figura 86, se ilustra la construcción del panel didáctico terminada, que será implementado en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado; como se muestra en la imagen, el panel ya está montado sobre el mueble principal de caoba.

Las pruebas consisten en la comprobación del estado de funcionamiento de los equipos al instructor del laboratorio, previo a la capacitación y al uso prolongado por los estudiantes.

Las pruebas son básicas, en el mayor de los casos consiste en armar los circuitos eléctricos diseñados para la práctica.

Figura 86. Implementación del panel didáctico en el laboratorio



Fuente: elaboración propia. Panel didáctico, residencia particular, ciudad de Guatemala.

5.2. Manual de prácticas a realizar en el panel didáctico

Las prácticas que se describen a continuación, pretenden formar parte de las clases impartidas en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, para la clase de electricidad en relación a esta rama de la ingeniería.

Con el propósito de llevar en una forma secuencial el proceso, se esbozará en forma de índice, a fin de evitar cometer errores, los cuales pueden en un momento determinado producir averías al equipo.

- Antes de que se proceda a conectar el sistema al tomacorriente, deberá verificarse lo siguiente:
 - El flipón deberá estar en *OFF*, es decir desconectado (se encuentra en la caja de flipones).
 - El interruptor principal no deberá estar enclavado.
 - Las conexiones entre equipos deberán estar perfectamente conectadas.
 - Evitar conexiones falsas o conectar entrecruzado o bien equipos que no deben conectarse, si existen dudas se debe consultar al profesor de laboratorio.

- Conectar al tomacorriente:
 - Accionar la palanca del flipón para permitir el paso de la corriente.
 - Enclavar el botón de encendido del interruptor principal.
 - Deberá encenderse el piloto amarillo (este permanece encendido, media vez está activado el interruptor de paso de corriente).
 - Desenclavar el interruptor principal y realizar nuevamente del paso b al c, para comprobar su perfecto funcionamiento.

- Apagar el sistema:
 - No deben estar en servicio los equipos al momento de sacar fuera de línea al sistema.
 - Desconectar el interruptor principal.
 - Bajar la palanca del flipón; si se desea seguir utilizando el panel didáctico, se debe repetir el paso de encendido.

Nota: Los cables conectores no deben tirarse con fuerza, cuando se retiren de las conexiones entre equipos, para evitar daños al cable y provocar falsos contactos que lleguen a causar una alimentación errónea de energía al equipo, provocando que se quemé o no funcione al máximo.

- Primera práctica: el ciclo de deshielo de un refrigerador
 - Destapar el reloj de deshielo con cuidado de no golpear la tapadera o carcasa del mismo.
 - Ajustar los ciclos de trabajo en el temporizador, para que el reloj de deshielo opere sin ningún inconveniente.
 - Revisar las terminales eléctricas y el diagrama eléctrico de conexiones del reloj de deshielo, previo a realizar cualquier conexión con cualquier otro equipo o fuente de alimentación eléctrica.
 - Armar el ciclo de control, para ello se utilizan los dos contactores.
 - El primer contactor que controla el motor del compresor, la terminal A2 de su bobina se conecta a la terminal 4 del reloj

- de deshielo; la terminal A1 de la bobina, se conecta en la terminal de conexiones N de la acometida del panel.
- El segundo contactor que controla la resistencia eléctrica, la terminal A2 de su bobina se conecta a la terminal 3 del reloj de deshielo; la terminal A1 de la bobina, se conecta en la terminal de conexiones N de la acometida del panel.
- Armar el ciclo de potencia.
 - Proceder a conectar las terminales 1,2,3 y 4 del primer contactor utilizado con el motor del compresor; las terminales 1 y 3 deben conectarse a la línea L1 y a la línea N en la acometida eléctrica del panel, respectivamente; las terminales 2 y 4 deben conectarse a las terminales 1 y 2 del motor del compresor, respectivamente.
 - Proceder a conectar las terminales 1,2,3 y 4 del segundo contactor utilizado con la resistencia eléctrica; las terminales 1 y 3 deben conectarse a la línea L1 y a la línea N en la acometida eléctrica del panel, respectivamente; las terminales 2 y 4 deben conectarse a las terminales 1 y 2 de la resistencia eléctrica, respectivamente.
 - Conectar el reloj de deshielo a la fuente de poder, para ello las terminales 1 y N se deben conectar en la línea L1 y la línea N en la terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, respectivamente.

Nota: los ciclos de trabajo del reloj de deshielo se pueden ajustar en tiempos largos o cortos, según convenga el tiempo de la práctica.

- Segunda práctica: el circuito de iluminación de un refrigerador
 - Destapar el reloj de deshielo con cuidado de no golpear la tapadera o carcasa del mismo.
 - Ajustar los ciclos de trabajo en el temporizador, para que el reloj de deshielo opere sin ningún inconveniente.
 - Revisar las terminales eléctricas y el diagrama eléctrico de conexiones del reloj de deshielo, previo a realizar cualquier conexión con cualquier otro equipo o fuente de alimentación eléctrica.
 - Armar el ciclo de control, para ello se utiliza sólo un contactor.
 - La función del contactor 1 será controlar el motor del compresor y el circuito de iluminación, la terminal A2 de su bobina se conecta a la terminal 4 del reloj de deshielo; la terminal A1 de la bobina, se conecta en la terminal de conexiones N de la acometida del panel.
 - Armar el ciclo de potencia.
 - Proceder a conectar las terminales 1, 2, 3 y 4 del primer contactor utilizado con el motor del compresor y el foco; las terminales 1 y 3 deben conectarse a la línea L1 y a la línea N en la acometida eléctrica del panel, respectivamente; las terminales 2 y 4 deben conectarse y puentearse a las terminales 1 y 2 del motor del compresor y el foco, respectivamente.

- Conectar el reloj de deshielo a la fuente de poder, para ello las terminales 1 y N se deben conectar en la línea L1 y la línea N en la terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, respectivamente.

Nota: los ciclos de trabajo del reloj de deshielo se pueden ajustar en tiempos largos o cortos, según convenga el tiempo de la práctica.

- Tercera práctica: control de encendido y apagado del compresor por un termostato para refrigeración
 - Destapar el reloj de deshielo con cuidado de no golpear la tapadera o carcasa del mismo.
 - Ajustar los ciclos de trabajo en el temporizador, para que el reloj de deshielo opere sin ningún inconveniente.
 - Revisar las terminales eléctricas y el diagrama eléctrico de conexiones del reloj de deshielo, previo a realizar cualquier conexión con cualquier otro equipo o fuente de alimentación eléctrica.
 - Armar el ciclo de control, para ello se utilizan los dos contactores.
 - El primer contactor controlará el motor del compresor y el motor del ventilador del evaporador, la terminal A2 de su bobina se conecta a la terminal 2 del termostato, la terminal 1 de éste equipo se conecta a la terminal 4 del reloj de deshielo; la terminal A1 de la bobina, se conecta en la terminal de conexiones N de la acometida del panel.

- El segundo contactor que controla la resistencia eléctrica, la terminal A2 de su bobina se conecta a la terminal 3 del reloj de deshielo; la terminal A1 de la bobina, se conecta en la terminal de conexiones N de la acometida del panel.
- Armar el ciclo de potencia.
 - Proceder a conectar las terminales 1, 2, 3 y 4 del primer contactor utilizado con el motor del compresor y el motor ventilador del evaporador; las terminales 1 y 3 deben conectarse a la línea L1 y a la línea N en la acometida eléctrica del panel, respectivamente; las terminales 2 y 4 deben conectarse y puentearse a las terminales 1 y 2 del motor del compresor y del motor ventilador del evaporador, respectivamente.
 - Proceder a conectar las terminales 1,2,3 y 4 del segundo contactor utilizado con la resistencia eléctrica; las terminales 1 y 3 deben conectarse a la línea L1 y a la línea N en la acometida eléctrica del panel, respectivamente; las terminales 2 y 4 deben conectarse a las terminales 1 y 2 de la resistencia eléctrica, respectivamente.
- Conectar el reloj de deshielo a la fuente de poder, para ello las terminales 1 y N se deben conectar en la línea L1 y la línea N en la terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, respectivamente.

Nota: se debe configurar una temperatura diferencial de trabajo en el termostato ajustando el dial, al fijar la temperatura a la que arranca y para el

compresor. Los ciclos de trabajo del reloj de deshielo se pueden ajustar en tiempos largos o cortos, según convenga el tiempo de la práctica.

- Cuarta práctica: sistema de arranque 24 V, equipo *Split* – Aire acondicionado
 - Armar el ciclo de potencia en 120 V
 - Conectar la terminal 1 del embobinado 110 V del transformador, a la terminal 1 del contactor 2, de ésta terminal puentear a la terminal 1 del contactor 1. La terminal 2 del embobinado 110 V del transformador, se debe conectar a la terminal 3 del contactor 2, de esta terminal puentear a la terminal 3 del contactor 1.
 - Asignar el contactor 1 para control del motor del ventilador del evaporador; las terminales 2 y 4 del contactor se deben conectar a las terminales 1 y 2 del motor del evaporador, respectivamente.
 - Asignar el contactor 2 para control del motor del compresor; las terminales 2 y 4 del contactor se deben conectar a las terminales 1 y 2 del motor del compresor (foco, según el panel didáctico), respectivamente.
 - Armar el ciclo de potencia en 24 V
 - Conectar la terminal 3 del embobinado de 24 V del transformador, a la terminal A1 de la bobina del contactor 2, de ésta terminal puentear a la terminal A1 del contactor 1. La terminal 4 del embobinado de 24 V del transformador, se debe conectar a la terminal R del termostato, las terminales

G y Y de éste equipo se deben conectar a la terminal A2 de la bobina de los contactores 1 y 2, respectivamente.

- Conectar el contactor 1 a la fuente de poder, para ello las terminales 1 y 3 se deben conectar a la línea L1 y la línea N, en la terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, respectivamente.
- Quinta práctica: sistema de arranque 24 V con relé, equipo *Split* – Aire acondicionado
 - Armar el ciclo de potencia en 110 V
 - Conectar la terminal 2 del relé a la terminal 1 del embobinado 110 V del transformador, de esta terminal puentear a la terminal 1 del contactor 2. La terminal 2 del embobinado 110 V del transformador, se debe conectar a la terminal 3 del contactor 2.
 - Asignar el contactor 2 para control del motor del compresor; las terminales 2 y 4 del contactor se deben conectar a las terminales 1 y 2 del motor del compresor, respectivamente.
 - Asignar el *relé* para control del motor del ventilador del evaporador; la terminal 4 del *relé* se debe conectar a la terminal 1 del motor del ventilador, la terminal 2 de este último equipo debe puentearse a la terminal 2 del embobinado 110 V del transformador.

- Armar el ciclo de potencia en 24 V
 - Conectar la terminal 3 del embobinado de 24 V del transformador, a la terminal 1 de la bobina del *relé*, partiendo siempre de la terminal del transformador puentear a la terminal A1 del contactor 2. La terminal 4 del embobinado de 24 V del transformador, se debe conectar a la terminal R del termostato, las terminales G y Y de este equipo se deben conectar a la terminal 3 y A2, de la bobina del *relé* y del contactor 2, respectivamente.

- Conectar el contactor 2 a la fuente de poder, para ello las terminales 1 y 3 se deben conectar a la línea L1 y la línea N, en la terminal de conexiones de la acometida eléctrica del panel, respectivamente.

Todas las prácticas descritas anteriormente están basadas en diseñar los circuitos eléctricos mostrados en el Capítulo 4.

5.3. Guía de mantenimiento del panel didáctico

El panel didáctico es un equipo integrado y por lo mismo debe de tener un programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento es básico, sin embargo el hecho de no realizarlo puede perjudicar su utilización o funcionamiento al momento de ser utilizado por periodos seguidos.

Como parte fundamental, el programa de mantenimiento preventivo debe incluir:

- Revisión de equipos cada 15 días. Esta revisión puede ser visual o manual, sin embargo en caso de notar algún siniestro, la inspección debe ser más minuciosa.
- Testear las conexiones eléctricas de los equipos. Se debe utilizar un Multímetro en la escala de continuidad, para revisar si existen falsos contactos o cortos circuitos, entre los equipos y sus terminales secundarias de conexión. Esta actividad se debe realizar después de varios periodos de uso.
- Revisar los cables conectores entre equipos. Si la terminal está floja respecto al cable de unión, revisar la soldadura, si en caso se necesite soldar nuevamente, retirar con cuidado la terminal y eliminar todo el estaño adherido a la misma, se debe utilizar estaño nuevo y la soldadura debe estar bien realizada. Esta actividad se debe realizar después de varios periodos de uso.
- Revisar la pintura y las calcomanías del panel, cada mes. Se debe tener el cuidado en caso se empiece a pelar la pintura del panel, hay recubrir el área afectada con el color correspondiente.
- Dar buen uso y manipular con cuidado todos los equipos, cables conectores, cobertor del panel y demás accesorios, como al panel didáctico en general, para preservarlo y funcione por muchos periodos continuos, sin necesidad de realizar un mantenimiento correctivo en el tiempo que no corresponde.

Es de carácter obligatorio que el personal del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, lleve a cabo este plan de mantenimiento.

5.4. Capacitación sobre la manipulación y cuidado del panel

Se ha llegado al acuerdo con el profesor del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado realizar una serie de capacitaciones, que le involucre junto con los estudiantes y demás personal de interés.

Previo a la implementación del panel didáctico a las prácticas de laboratorio, como parte de la inducción a elementos del cuerpo docente de profesores y coordinación de laboratorio junto con los estudiantes del curso, deben ser capacitados sobre la manipulación y cuidados del panel.

Esta capacitación será impartida inicialmente por el inventor del panel didáctico y posteriormente por el profesor de laboratorio a cargo, o bien por un ingeniero mecánico designado por el profesor, quien debe estar familiarizado con el panel, su funcionamiento, componentes y construcción.

El plan de capacitación para el uso del panel didáctico, debe cubrir un contenido mínimo que consiste en:

- Familiarización con el equipo eléctrico.
- Funcionamiento básico del equipo eléctrico.
- Uso correcto de los accesorios y recomendaciones de uso.
- Identificación de los diferentes sistemas que se pueden simular con el panel.
- Como realizar las conexiones eléctricas con los equipos en el panel.

Este plan de capacitación no tiene ningún costo, sin embargo requiere que los involucrados tengan un previo conocimiento de refrigeración y aire acondicionado.

CONCLUSIONES

1. Con la finalidad de implementar un panel didáctico para la simulación de circuitos eléctricos de refrigeración y aire acondicionado, para el Laboratorio de Ingeniería Mecánica; se diseñó y construyó un panel que puede utilizarse en la simulación de sistemas y equipos reales. Este será implementado a las prácticas regulares de electricidad del Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Escuela de Ingeniería Mecánica. El panel es totalmente didáctico e interactivo, permitiendo a los estudiantes la manipulación de los equipos y la realización de varios circuitos eléctricos, para fomentar e incrementar un adecuado aprendizaje técnico y práctico.
2. Las ventajas y desventajas que pudieron evidenciarse en base al diagnóstico evaluativo realizado para el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, respecto a la adquisición y falta de paneles didácticos para impartir las prácticas, permitió identificar algunas como las siguientes que se describen; entre las ventajas más importantes cabe mencionar que se fomenta el aprendizaje técnico, la práctica de laboratorio es más didáctica y pedagógica, además incrementa y desarrolla competencias profesionales a los estudiantes. Respecto a las desventajas, se detectó que la falta de material interactivo promueve, en la mayoría de situaciones, desinterés del estudiante por aprender; otra que se encontró es que estando la Escuela acreditada, debe poseer material didáctico para incrementar el nivel de aprendizaje técnico de los estudiantes y poder mantener la acreditación por muchos años más.

3. El panel didáctico implementado en el laboratorio, está integrado a los temas de refrigeración y aire acondicionado, en la gama comercial e industrial. Los principios básicos de la refrigeración, abarca el sistema de refrigeración por compresión de vapor, en el cual con el panel se pueden representar tres diferentes instalaciones de este tipo de sistema. Respecto al tema de aire acondicionado, el conocimiento básico hace referencia al acondicionamiento de una habitación mediante la variación de la temperatura y humedad del aire; con el panel pueden representarse dos instalaciones del sistema más utilizado en la industria, el tipo *Split*. El estudiante de Ingeniería Mecánica, debe conocer temas relacionados a instalaciones eléctricas, no solamente del área de refrigeración y aire acondicionado, sino también de toda su área profesional.

4. El diagnóstico estratégico interno realizado al Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, permitió conocer la situación actual del mismo y en base a ello emitir un juicio respecto a los equipos, instrumentos y materiales con que se dan las prácticas. El laboratorio, está bastante equipado con paneles didácticos que ejemplifican los ciclos termodinámicos de refrigeración, equipos de aire acondicionado y herramienta para la familiarización con el campo industrial. Una desventaja puede presentarse en el equipo que utilizan para la práctica de electricidad, el equipo presenta lo básico sin embargo no permite que el estudiante arme los circuitos, de aquí se partió para el desarrollo de este trabajo de graduación.

5. La construcción del panel didáctico comprendió: estudio, diseño técnico y eléctrico, selección de equipos y materiales, cálculos y la construcción del mismo. El diseño y los requerimientos del panel didáctico se obtuvieron del diagnóstico realizado en el laboratorio, como también en

base a las necesidades de los estudiantes y requerimientos del profesor. El panel fue diseñado y construido para simular circuitos eléctricos de refrigeración como de aire acondicionado. El panel se construyó con la mejor calidad de materiales que permitió el presupuesto estimado para la realización de este trabajo de graduación. Es totalmente didáctico, se pueden manipular los equipos y se ha incluido el manual de uso, para un mejor entendimiento al momento de su manipulación.

6. Los equipos seleccionados para colocar en el panel didáctico, se han escogido en base a los de mayor uso y aplicación en las instalaciones reales en el campo de la refrigeración y aire acondicionado industrial como comercial. Todos los equipos son eléctricos, operan en baja tensión y son monofásicos. La mayor parte de los equipos se encuentran en las instalaciones básicas de un cuarto frío, refrigerador común, equipos de aire acondicionado como *Mini Split*, *Rooftop* y *Chillers*. Los otros equipos que puedan encontrarse y que deben ir en las instalaciones eléctricas, se conectan a estos equipos que han sido seleccionado, por lo que su entendimiento para su instalación puede derivarse del entendimiento principal de la instalación de estos equipos.
7. El diseño de los circuitos eléctricos está basado en los equipos que se han instalado en el panel didáctico, como los requerimientos del profesor del laboratorio. Con el panel didáctico se pueden realizar 5 circuitos eléctricos, de los cuales 3 son para refrigeración y los otros 2 para aire acondicionado. Todos los circuitos eléctricos representan instalaciones eléctricas de equipos reales de la gama comercial como industrial; los planos de los circuitos eléctricos presentan leyenda de símbolos y los diagramas se han diseñado además para un buen entendimiento del estudiante.

8. La implementación del panel didáctico en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, comprendió el montaje y colocación del panel dentro del laboratorio, revisión de los equipos y condiciones de entrega de los mismos, realización de pruebas de funcionamiento y ajustes para el buen funcionamiento del panel. Además con el profesor del laboratorio se ha llegado al acuerdo de realizar una capacitación respecto a la práctica de electricidad orientada a los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, utilizando el panel didáctico enfocado hacia los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

RECOMENDACIONES

1. El panel didáctico implementado en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado, es para el uso de las prácticas de electricidad y debe cuidarse y recibir un adecuado trato, por parte de los estudiantes que lo utilicen. Con el panel pueden representarse cinco circuitos eléctricos, sin embargo los estudiantes pueden llegar a representar otros más, siempre y cuando se cuente con la supervisión del profesor de laboratorio a cargo.
2. Implementar nuevos paneles didácticos y cuidar los que actualmente se tienen, para los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica; con el objetivo de poder incrementar y fomentar competencias profesionales como el desarrollo del conocimiento práctico hacia los estudiantes, con ello poder estar a un nivel adecuado de educación superior y continuar con la acreditación de la carrera, que actualmente está en vigencia.
3. Se recomienda que los profesores y coordinador de los laboratorios, reciban capacitaciones periódicas, de los temas que se imparten actualmente en las prácticas de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de modo que pueda servir como base para mejorar las mismas; todo con el objetivo de que el estudiante pueda estar preparándose académicamente en un nivel de enseñanza adecuado.
4. El uso del panel didáctico, implementado en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado es para uso de los estudiantes de

Ingeniería Mecánica, catedráticos de la Escuela y cualquier otro miembro de la universidad con deseos de aprender y superación. Se recomienda que aún cuando el panel permita el enfoque de aprendizaje teórico y práctico, deben los involucrados investigar más a fondo respecto a los temas. El quedarse solamente con la información que pueda proporcionar el uso del panel no es suficiente para toda el área que abarca las instalaciones eléctricas en refrigeración y aire acondicionado.

5. El panel didáctico que se ha construido para el laboratorio, necesita mantenimiento y de cuidados para incrementar su vida útil y pueda funcionar correctamente por un tiempo apropiado; se recomienda no dañar los cables conectores como las terminales conectadas a los equipos, pues los falsos contactos provocan irregularidades en los consumos de energía de los equipos provocando cortocircuito y daño a los equipos.
6. Se recomienda seguir el plan de mantenimiento predictivo propuesto en este trabajo de graduación para el panel didáctico, este plan es bastante sencillo y no consume más de 15 minutos para su realización. Es responsabilidad del coordinador de los laboratorios, bajo las recomendaciones del profesor del mismo, velar por el cuidado del panel didáctico.
7. Se debe sugerir el conocimiento sobre electricidad orientada a los cursos de Ingeniería Mecánica, mediante la implementación de prácticas de laboratorio o como un curso prerrequisito, donde se abarque varias aplicaciones de instalación, de los sistemas que se analizan en los cursos profesionales. La electricidad en la refrigeración

y el aire acondicionado, o bien en forma general para la carrera del ingeniero mecánico es de mucha importancia, pues hoy en día con la tecnología y automatización en constante avance, todas las máquinas utilizan electricidad para funcionar.

8. Fomentar planes de educación autodidáctica con la adquisición de paneles interactivos que permitan mejorar la impartición del curso a nivel práctico y técnico, con el fin de fortalecer deficiencias en los estudiantes, mejorando sus competencias técnicas y profesionales con el fin de que la Escuela de Ingeniería Mecánica, se posicione como el mejor centro de aprendizaje en Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. BUQUE, Francesc. *Manuales prácticos de refrigeración tomo IV: Electricidad y electrónica aplicadas a la refrigeración*. 1a ed. España: Marcombo, S.A., 2007. 208 p.
2. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. *Manual de aire acondicionado*. España: CARRIER Latinoamérica, 2005. 858 p.
3. JENNINGS, Burgess & LEWIS, Samuel. *Aire acondicionado y refrigeración*. 1a ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1970. 793 p.
4. MCQUISTON, Faye C. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. 3a ed. México: Editorial Limusa, S.A., 2010. 644 p.
5. PITA, Edward G. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. 2a ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 2004. 545 p.
6. _____ *Principios y sistemas de refrigeración*. 1a ed. México: Editorial Limusa, S.A., 2002. 481 p.
7. VIEZCA, Alberto. *Cero grados Celsius* [en línea]. Actualizada 12 septiembre 2011. Disponible en: <https://www.0grados.com/instalaciones-electricas-y-el-aire-acondicionado/>. [Consulta: 18 noviembre 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. Ecuación 1

Hallar el área de un polígono

$$\text{Área} = \sum_{i=1}^{\infty} (\text{ancho} * \text{largo}) = \text{Ancho} * \text{Largo}$$

Ejemplo:

Halla el área de un cuadrado con largo de 5 m y base de 10 m.

Largo = 5 m

Ancho = base = 10 m

$$\text{Área} = 5 \text{ m} * 10 \text{ m} = 50 \text{ m}^2$$

Apéndice 2. Ecuación 2

Hallar el volumen de un polígono

$$\text{Volumen} = \sum_{i=1}^{\infty} (\text{ancho} * \text{largo} * \text{altura}) = \text{Ancho} * \text{Largo} * \text{Altura}$$

Ejemplo:

Halla el volumen de un cubo con largo de 5 m, base de 5 m y altura de 5 m.

Largo = 5 m

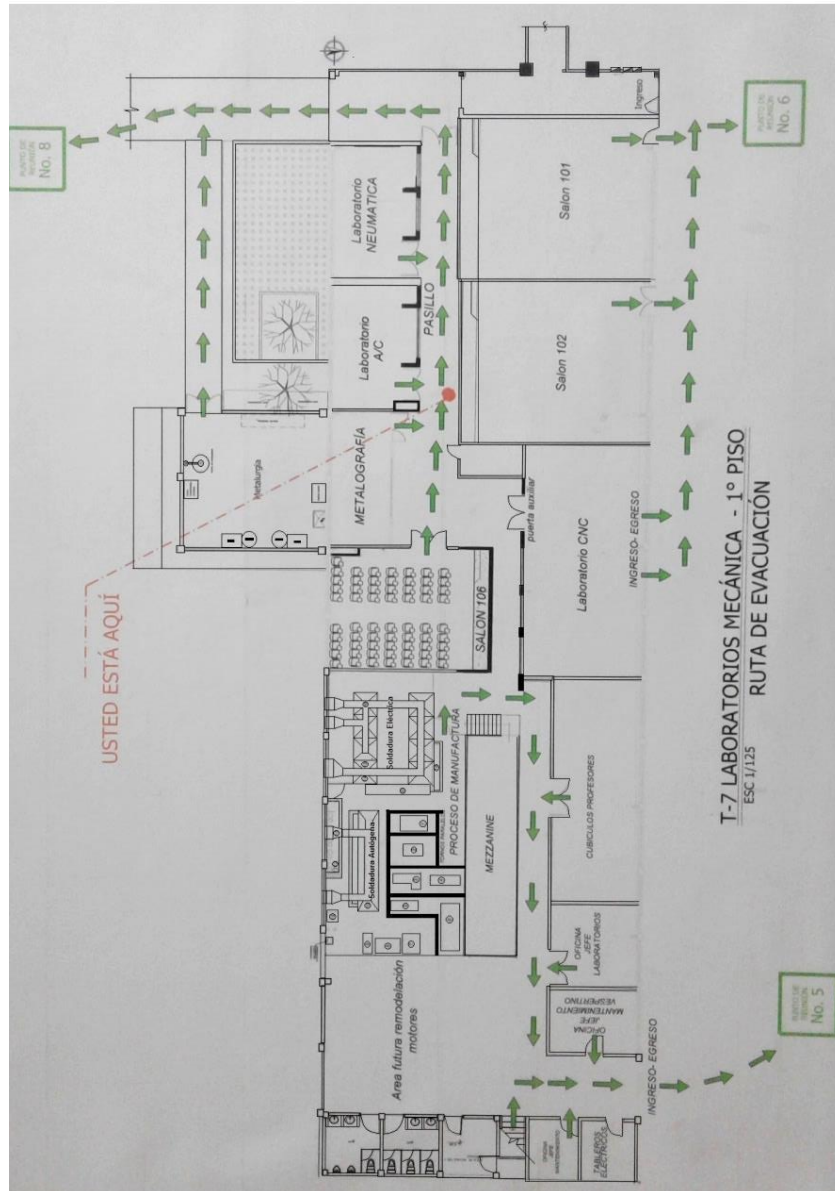
Ancho = base = 5 m

Alto = 5 m

$$\text{Volumen} = 5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 5 \text{ m} = 125 \text{ m}^3$$

ANEXOS

Anexo 1. Plano de la Escuela de Ingeniería Mecánica



Fuente: Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Edificio T-7, Facultad de Ingeniería USAC.

Anexo 2. **AWG Wire size table**

AWG	Conductor Diameter (in)	Conductor Diameter mm	Maximum amps wiring	Maximum amps for power transmission
0000	0.46	11.684	380	302
000	0.4096	10.40384	328	239
00	0.3648	9.26592	283	190
0	0.3249	8.25246	245	150
1	0.2893	7.34822	211	119
2	0.2576	6.54304	181	94
3	0.2294	5.82676	158	75
4	0.2043	5.18922	135	60
5	0.1819	4.62026	118	47
6	0.162	4.1148	101	37
7	0.1443	3.66522	89	30
8	0.1285	3.2639	73	24
9	0.1144	2.90576	64	19
10	0.1019	2.58826	55	15
11	0.0907	2.30378	47	12
12	0.0808	2.05232	41	9.3
13	0.072	1.8288	35	7.4
14	0.0641	1.62814	32	5.9
15	0.0571	1.45034	28	4.7
16	0.0508	1.29032	22	3.7
17	0.0453	1.15062	19	2.9
18	0.0403	1.02362	16	2.3

Fuente: AWG Wire size table. (2016). Power Stream [Tabla]. Recuperado de:
http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm. Consulta: enero de 2017.

Anexo 3. Tabla de colores, para los conductores eléctricos

Sistema	1 Φ	1 Φ	3 Φ Y	3 Φ Δ	3 Φ Δ -	3 Φ Y	3 Φ Y	3 Φ Δ	3 Φ Δ
Tensiones Nominales (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/440	480/440	Más de 1000 V
Conductores Activos	1 Fase 2 Hilos	2 Fases 3 Hilos	3 Fases 4 Hilos	3 Fases 3 Hilos	3 Fases 4 Hilos	3 Fases 4 Hilos	3 Fases 4 Hilos	3 Fases 3 Hilos	3 Fases
Fases	Negro	Negro	Amarillo	Negro	Negro	Café	Café	Café	Violeta
			Azul	Azul	Naranja	Negro	Naranja	Naranja	Café
		Rojo	Rojo	Rojo	Azul	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Gris	No aplica	No aplica
Tierra de Protección	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde
Tierra Aislada	Verde o Verde-amarillo	Verde o Verde-amarillo	Verde o Verde-amarillo	No aplica	Verde o Verde-amarillo	Verde o Verde-amarillo	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Tabla de colores, para los conductores eléctricos. (2016). DIDACORUINGENIERIA [Gráfico]. Recuperado de <http://didacoruingenieria.com/tabla-de-colores-para-los-conductores-electricos-2/>. Consulta: enero de 2017.

