



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

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y  
REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL**

**Sergio Daniel Gómez Lopez**

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Mazariegos del Águila

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y  
REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SERGIO DANIEL GÓMEZ LOPEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE MAZARIEGOS DEL AGUILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. Jose Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Roberto Urdiales Contreras
EXAMINADOR	Ing. Ángel Jesús García Martínez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Francisco Gressi López
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **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:

### **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de enero de 2011.

  
**Sergio Daniel Gómez Lopez**

Guatemala, 24 de enero de 2020

**Ingeniero**  
**Armando Alonzo Rivera Carrillo**  
**Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de ingeniería,**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Respetable ingeniero Rivera, por medio de la presente hago constar que he revisado el trabajo de graduación titulado **“ANALISIS DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION COMERCIAL E INDUSTRIAL”**, asignado al estudiante **SERGIO DANIEL GOMEZ LOPEZ**, con carné **2512592** y **DPI 2430016490101**, me permito emitir el dictamen favorable aprobando el contenido del mismo.

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

Atentamente

  
**Carlos Enrique Mazariegos del Águila.**  
**Ingeniero Electricista**  
**Colegiado 2816**

**ASESOR**  
*Carlos Mazariegos*  
**INGENIERO ELECTRICISTA**  
**Colegiado No. 2816**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 30.2020.  
30 DE NOVIEMBRE 2020.

Señor Director  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL, del estudiante: Sergio Daniel Gómez López, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. José Anibal Silva de los Angeles  
Coordinador de Electrotécnica



STO



REF. EIME 146. 2021.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; SERGIO DANIEL GÓMEZ LÓPEZ, titulado: ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**

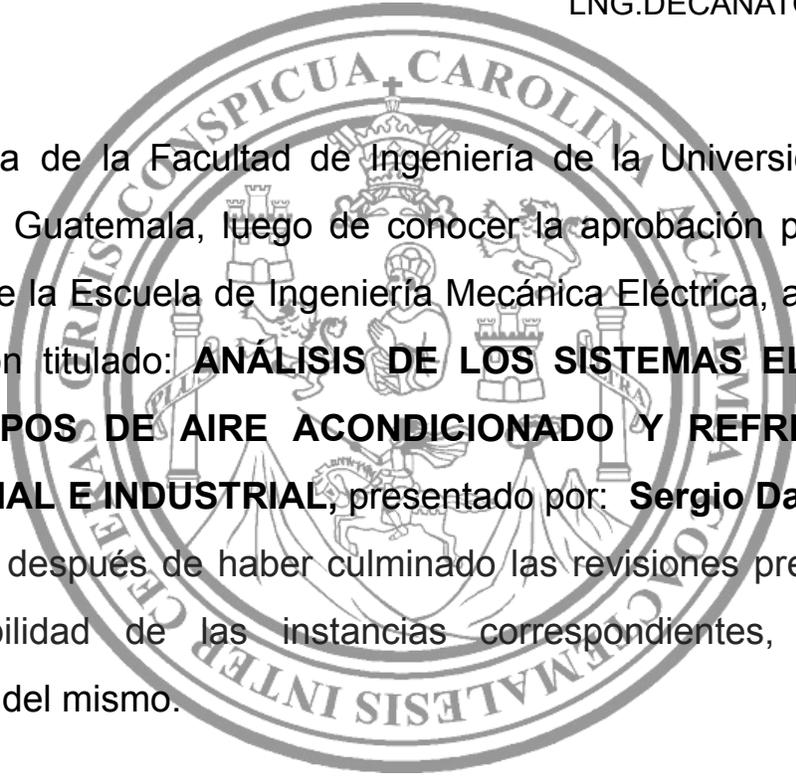


**GUATEMALA, 23 DE SEPTIEMBRE 2,021.**

Facultad de Ingeniería

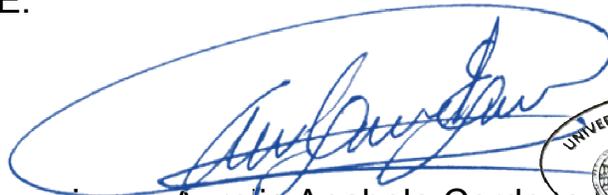
Decanato  
24189101-  
24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.045.2022



La Decana 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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL**, presentado por: **Sergio Daniel Gómez Lopez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ingra. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaac

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría, salud por ser mi luz en el camino y permitirme llegar hasta este momento.
<b>Mis padres</b>	Daniel Gómez y Carmen Lopez. Por su amor, abnegación, sacrificio para lograr esta meta.
<b>Mi esposa</b>	Marjorie Castellanos. Por ser mi apoyo en todo momento y mi compañera de vida.
<b>Mis hijas</b>	Sophia y Daniela. Por ser mi inspiración y fortaleza de cada día.
<b>Mi hermana</b>	Licda. María Teresa Gómez Lopez. Por su apoyo incondicional en todo momento

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, en donde aprendí muchas cosas y conocí a tanta gente.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser el centro de enseñanza que me permitió crecer en mi carrera.

**Mi asesor**

Ing. Carlos Mazariegos por su valioso aporte y enseñanza para la realización de este proyecto.

**Mis amigos**

Ing. Alejandro Ortiz, Ing. Enrique Ortiz, Ing. Carlos Chigüichón, Ing. Mario Castellanos, Lic. Jose Alvizúres por ayudarme y acompañarme en la trayectoria de este proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN .....	1
1.1. Definición de refrigeración .....	1
1.2. Conceptos básicos de termodinámica .....	1
1.2.1. ¿Por qué es importante saber algunos términos termodinámicos? .....	1
1.2.2. Calor .....	2
1.2.3. Temperatura .....	2
1.2.4. Unidad de medida de calor .....	3
1.2.5. Transferencia de calor .....	3
1.2.6. Cambio de estado.....	6
1.2.7. Calor específico .....	7
1.2.8. Calor sensible .....	8
1.2.9. Calor latente .....	8
1.2.10. Calor latente de fusión y de evaporación.....	8
1.2.11. Calor latente de sublimación.....	9
1.2.12. Tonelada americana de refrigeración .....	9
1.3. Refrigerantes .....	9

1.3.1.	Clases de refrigerantes .....	10
1.3.1.1.	Refrigerante R-22.....	11
1.3.1.2.	Refrigerante R-134A .....	11
1.3.1.3.	Refrigerante R-404A .....	12
1.4.	Ciclo de refrigeración, principio de funcionamiento .....	12
1.4.1.	Ciclo básico por compresión .....	13
2.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO .....	17
2.1.	El compresor .....	17
2.1.1.	Función del compresor en sistemas de refrigeración .....	17
2.1.2.	Tipos de compresores y aplicaciones .....	18
2.1.3.	Compresores según su funcionamiento .....	18
2.1.4.	Compresores según su fabricación .....	19
2.2.	Condensadores.....	21
2.3.	Evaporadores.....	23
2.4.	Dispositivos de control del refrigerante .....	23
2.4.1.	Válvulas de expansión termostáticas (VET) .....	23
2.4.2.	Válvula de expansión electrónica (VEE) .....	25
2.5.	Dispositivos eléctricos de control .....	26
2.6.	Motores .....	27
2.6.1.	Motores eléctricos en refrigeración de acuerdo a su uso.....	27
3.	DIFERENCIA ENTRE SEGMENTOS COMERCIAL E INDUSTRIAL EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO..	29
3.1.	¿Cómo se define un equipo comercial y uno industrial? ...	29

4.	MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS EN APLICACIONES DE REFRIGERACIÓN .....	35
4.1.	Motores eléctricos, principios y funcionamiento .....	35
4.1.1.	Potencia de un motor eléctrico .....	38
4.2.	Motores eléctricos en refrigeración.....	39
4.3.	Motores de inducción trifásicos y monofásicos.....	39
4.3.1.	Motor Monofásico .....	40
4.3.2.	Capacitores para motores monofásicos .....	41
4.3.3.	Motores para compresores herméticos y Semiherméticos (1Fase/3Fases) .....	43
4.4.	Motores para ventilación.....	45
4.4.1.	Tamaños de marco de montaje NEMA .....	45
4.5.	Motores ventiladores para evaporadores y condensadores .....	46
4.6.	Forma de chequear un motocompresor, comprobación de daños.....	48
4.7.	Conexiones, borneras, distribución de bobinados en motores monofásicos y trifásicos.....	50
4.8.	Prevención de fallas eléctricas y diagnóstico de compresores.....	54
4.8.1.	Fallas por desbalance de voltaje entre fases....	54
4.8.2.	Falla por contactor dañado o mala selección de contactor .....	56
4.8.3.	Falla por ciclos cortos de arranque y paro en los motocompresores .....	58
5.	SISTEMAS DE DESCONGELAMIENTO Y CONTROLES DE TEMPERATURA .....	61
5.1.	Sistemas de descongelación .....	61
5.2.	Tipos de temporizadores de deshielo.....	62

5.3.	Tipos de descongelación.....	63
5.3.1.	Descongelación fuera de ciclo o aleatoria .....	64
5.3.2.	Descongelación programada.....	65
5.3.3.	Descongelación por calor externo (resistencia eléctrica).....	65
5.4.	Fallas comunes en sistemas de deshielo.....	68
5.5.	Termostatos .....	69
6.	COMPONENTES ELECTRICOS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y POTENCIA.....	73
6.1.	Componentes eléctricos de protección .....	73
6.1.1.	Fusibles .....	73
6.1.2.	Cortacircuitos .....	74
6.1.2.1.	Parámetros para selección de cortacircuitos para motocompresores.....	75
6.1.3.	Monitores de voltaje .....	76
6.2.	Componentes eléctricos de control .....	77
6.2.1.	Válvula Solenoide.....	77
6.2.2.	Relés .....	78
6.2.3.	Relé térmico o de corriente .....	78
6.2.4.	Relé de potencial.....	80
6.2.5.	Relé térmico bimetálico .....	81
6.3.	Componentes eléctricos de potencia .....	82
6.3.1.	Contactores .....	83
6.3.2.	Contactores para aire acondicionado y refrigeración comercial .....	84
6.3.3.	Elección del contactor .....	85

7.	ANÁLISIS DE CIRCUITOS DE POTENCIA-CONTROL EN ESQUEMAS ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS.....	87
7.1.	Circuito de potencia y dispositivos de arranque-paro .....	87
7.2.	Circuitos de potencia en instalaciones monofásicas .....	88
7.3.	Arranque con capacitor y relé de corriente .....	89
7.4.	Arranque con capacitor y relé de potencial.....	92
7.5.	Circuitos de potencia en instalaciones trifásicas .....	93
7.6.	Diagnóstico preliminar de fallas debido a componentes eléctricos .....	94
8.	EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN.....	103
8.1.	Rango de eficiencia energética estacional .....	103
8.2.	Sistemas de aire acondicionado con tecnología inverter. ....	107
8.3.	Tarjeta electrónica de la unidad evaporadora de un sistema inverter.....	109
8.4.	Bloques principales en tarjeta de sistema inverter unidad condensadora.....	109
8.5.	Compresores de corriente directa .....	111
8.6.	Válvula de expansión electrónica .....	111
9.	CÁLCULOS DE IMPLEMENTACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS EN REFRIGERACIÓN O AIRE ACONDICIONADO.....	113
9.1.	Sistema de aire acondicionado tipo mini Split .....	113
9.2.	Sistema de aire acondicionado tipo Split.....	123
9.3.	Sistema de aire acondicionado paquete.....	134
9.4.	Sistema de refrigeración.....	136

CONCLUSIONES..... 139  
RECOMENDACIONES ..... 141  
BIBLIOGRAFÍA..... 143  
ANEXOS..... 149

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Transferencia de calor.....	4
2.	Transmisión de calor por conducción de distintos metales .....	5
3.	Transmisión de calor por convección .....	5
4.	Transmisión de calor por radiación .....	6
5.	Diagrama de fases P-T.....	7
6.	Ciclo del sistema de refrigeración .....	13
7.	Sistema típico de refrigeración .....	14
8.	Aplicaciones de la refrigeración y aire acondicionado .....	29
9.	Diagrama de flujo de energía en un sistema de refrigeración y aire acondicionado .....	36
10.	Caja de conexión de un compresor monofásico.....	43
11.	Conexión de terminales compresor monofásico y trifásico.....	44
12.	Características de montaje de motores .....	46
13.	Sellos de vidrio a metal (gtms) o fusite.....	51
14.	Disposición de terminales fusite en compresores herméticos monofásicos y trifásicos .....	51
15.	Compresores trifásicos de 9 terminales .....	52
16.	Compresores trifásicos de 6 terminales .....	53
17.	Esquema de medición de voltajes.....	55
18.	Retardador de tiempo ( <i>time-delay</i> ).....	60
19.	Descongelación por resistencias.....	66
20.	Diagrama de conexión timer electromecánico.....	67
21.	Monitor de voltaje trifásico.....	76

22.	Relé térmico.....	79
23.	Diagrama de conexión relé de potencial.....	80
24.	Identificación de contactos en relés térmicos.....	82
25.	Esquemas conexión de contactores, de un polo y de tres polos más auxiliar .....	83
26.	Mecanismo interno de un contactor e imagen de un contactor típico de dos polos.....	84
27.	Sistemas trifásicos con circuitos de control 230 v y 120 v .....	85
28.	Circuito de potencia simbología americana, simbología europea ..	87
29.	Esquema básico de circuito de potencia y control de un equipo monofásico de aire acondicionado mini-Split .....	88
30.	Circuito de potencia en instalaciones monofásicas.....	89
31.	Esquema de arranque con capacitor y relé de corriente.....	91
32.	Esquema de arranque con capacitor y relé de potencial .....	93
33.	Circuito de potencia para sistemas trifásicos .....	94
34.	Dispositivos de bloqueo/señalización.....	95
35.	Eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado .....	105
36.	Etapas de control sistema inverter en unidad condensadora.....	110
37.	Interior de motor sin escobillas .....	111
38.	Válvula de expansión electrónica y esquema de conexión .....	112
39.	Esquema de ubicación de equipo y tablero eléctrico .....	113
40.	Datos mecánicos y eléctricos del equipo .....	115
41.	Fijación de equipo y materiales a utilizar .....	118
42.	Diagrama de Gantt instalación de equipo mini Split.....	120
43.	Esquema de ubicación, montaje de equipo Split y tablero eléctrico.....	124
44.	Datos del manual .....	125
45.	Fijación de unidades condensadora y manejadora .....	130
46.	Diagrama de Gantt instalación de equipo Split .....	133

47. Datos del equipo por modelo.....	136
--------------------------------------	-----

## TABLAS

I. Tipos de compresores según su funcionamiento .....	18
II. Características-funcionamiento de compresores Reciprocantes y Scroll .....	19
III. Características-Construcción de compresores abiertos, semiherméticos y herméticos .....	20
IV. Condensadores de refrigerante-aire, tipos y sus características.....	22
V. Evaporadores, tipos y sus características .....	24
VI. Válvulas de expansión VET y VEE .....	25
VII. Aplicaciones de motores eléctricos .....	27
VIII. Clasificación Comercial-Industrial de acuerdo a temperatura de operación .....	30
IX. Equipos comerciales de aire acondicionado .....	31
X. Equipos comerciales e industriales de aire acondicionado .....	32
XI. Equipos comerciales e industriales de refrigeración .....	33
XII. Valores promedio mínimos de EER para aire acondicionado o refrigeración .....	37
XIII. Medios de arranque motores monofásicos .....	41
XIV. Capacitores de arranque y de marcha .....	42
XV. Motores ventiladores para evaporadores .....	47
XVI. Motores ventiladores para condensadores .....	47
XVII. Causas que producen daños en contactores .....	57
XVIII. Parámetros por considerar para selección del contactor .....	58
XIX. Origen de ciclos cortos de arranque y paro.....	59
XX. Tipos de temporizadores de deshielo .....	63
XXI. Recomendación de tipos de deshielos.....	64
XXII. Posibles fallas del evaporador y sistema de deshielo .....	68

XXIII.	Termostatos de refrigeración .....	69
XXIV.	Termostatos para aire acondicionado.....	70
XXV.	Parámetros de selección de fusibles .....	74
XXVI.	Parámetros de selección de cortacircuitos de 1, 2 y 3 polos .....	75
XXVII.	Parámetros para selección válvula solenoide.....	77
XXVIII.	Parámetros de selección de los Relés de uso general .....	78
XXIX.	Parámetros de selección para relé bimetálico trifásico .....	81
XXX.	Problemas comunes en los interruptores y su corrección.....	96
XXXI.	Problemas comunes en motores y dispositivos de protección.....	97
XXXII.	Problemas comunes en compresores y dispositivos de protección. 98	
XXXIII.	Problemas comunes en equipos de Aire Acondicionado .....	99
XXXIV.	Problemas comunes en los contactores y su corrección .....	101
XXXV.	Análisis costo-beneficio de la inversión .....	107
XXXVI.	Integración de costos de materiales instalación eléctrica .....	117
XXXVII.	Integración de costos materiales instalación refrigeración.....	119
XXXVIII.	Salarios mínimos para Guatemala año 2020.....	121
XXXIX.	Costos salarios de técnicos con prestaciones y cuotas patronales	122
XL.	Integración de costos de materiales instalación eléctrica .....	128
XLI.	Datos de tubería de equipo Split de 36,000 Btu/h .....	129
XLII.	Integración de costos de materiales de fijación y drenaje.....	131
XLIII.	Integración de costos materiales instalación refrigeración.....	132
XLIV.	Datos eléctricos del equipo modelo PCE4B632B .....	135
XLV.	Especificaciones eléctricas modelos BZT .....	137

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>≈</b>	Aproximadamente
<b>C</b>	Comun
<b>ΔT</b>	Diferencial de temperatura
<b>ΦI</b>	Flujo magnético
<b>gal</b>	Galón
<b>gr</b>	Gramos
<b>Hz</b>	Hertz
<b>h</b>	Hora
<b>lb</b>	Libra
<b>m</b>	Metro
<b>μF</b>	Microfaradios
<b>1 Ph</b>	Monofásico
<b>plg</b>	Pulgada
<b>R</b>	Run
<b>S</b>	Start
<b>3 Ph</b>	Trifásico
<b>V</b>	Volt



## GLOSARIO

<b>AHRI</b>	<i>Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute</i> o Instituto de Aire-Acondicionado, Calefacción y Refrigeración.
<b>A/C</b>	Aire Acondicionado, equipo para acondicionamiento de aire.
<b>BTU</b>	<i>British Thermal Unit</i> , unidad de medida térmica sistema inglés, es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua 1 °F.
<b>CARTER</b>	Caja rígida, generalmente metálica, que protege determinados mecanismos del motor.
<b>CCW</b>	<i>Counter-clock wise</i> , contra las manecillas del reloj, giro de los ventiladores.
<b>CW</b>	<i>Clock wise</i> , con las manecillas del reloj, giro de los ventiladores.
<b>DISPLAY</b>	Visualizador en dispositivos o equipos que permite ver parámetros de salida de medición o mostrar información al usuario.

<b>EER</b>	<i>Energy Efficiency Ratio</i> , rango de eficiencia energética en equipos.
<b>HP</b>	Horse-Power, caballos de potencia.
<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbonos.
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarburos.
<b>HVACR</b>	<i>Heating, Ventilation, Air Conditioning Refrigeration</i> . calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor, Transistor de compuerta aislada.
<b>MOPD</b>	Maximun overcurrent protection device, Protección de máxima sobre corriente.
<b>NA o NO</b>	Normalmente abierto, término para indicar el estado abierto de un relé.
<b>NC</b>	Normalmente cerrado, término para indicar el estado cerrado de un relé.
<b>NEMA</b>	<i>National Electrical Manufacturers Association</i> , Asociación de Fabricantes de Productos Eléctricos.

<b>OL</b>	<i>Over Load</i> , protector de sobrecarga de un circuito.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto, medición de la rotación de un motor o ventilador.
<b>SEER</b>	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i> , Rango de eficiencia energética estacional, mide la eficiencia de los equipos en 12 meses.
<b>Split</b>	Partido, término para indicar que un equipo o sistema cuenta con condensador y evaporador.
<b>TR</b>	Tonelada de Refrigeración, unidad de medida para la capacidad de enfriamiento de un equipo.
<b>UL</b>	<i>Underwriters Laboratories</i> , certificación de garantía de estándares de seguridad.



## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se expone a detalle el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y refrigeración, principalmente sus componentes eléctricos de potencia, mando y protección, están estructurado con nueve capítulos que abordan temas de fundamentos, funcionamiento, selección de componentes eléctricos, además de fallas que puedan presentar los sistemas eléctricos para aplicaciones comerciales e industriales.

En la sección introductoria se explicará cómo funciona un sistema típico, las bases que lo fundamentan necesarios para la comprensión de la refrigeración, luego se describen los componentes mecánicos principales de los equipos que conforman el proceso de la refrigeración, sin olvidar las diferencias entre los equipos utilizados para aplicaciones comerciales e industriales, además de la importancia de los motocompresores que son el corazón del sistema de refrigeración. Se describen también los sistemas de deshielo en evaporadores que funcionan en conjunto con los controles eléctricos/electrónicos de temperatura.

Por último, los componentes eléctricos de protección, potencia y maniobra así como diagnósticos preliminares de fallas de estos componentes, incluyendo sus esquemas para sistemas monofásicos o trifásicos, se aborda también el tema de la eficiencia energética e incluye las nuevas tecnologías en equipos, además de dispositivos para el ahorro energético; se incluyen algunos ejemplos de costos de la implementación de una instalación tanto eléctrica como mecánica para sistemas de refrigeración o aire acondicionado.



# OBJETIVOS

## General

Proporcionar una herramienta cognitiva tanto para profesionales como para estudiantes de la ingeniería eléctrica que sirva para determinar las características, funcionamiento y fallas de los sistemas eléctricos en equipos de refrigeración o aire acondicionado comercial e industrial.

## Específicos

1. Describir los fundamentos y principios termodinámicos del ciclo de refrigeración que rigen el funcionamiento de los componentes mecánicos que interactúan con los refrigerantes en un sistema de aire acondicionado o refrigeración.
2. Identificar los componentes mecánicos y electromecánicos básicos de un sistema de aire acondicionado o refrigeración.
3. Establecer la diferencia entre los segmentos de refrigeración comercial e industrial. en base a sus características y aplicaciones para un mejor análisis.
4. Definir las características de los motores eléctricos y sus componentes auxiliares para su selección o evaluación de acuerdo a su aplicación, uso y características mecánicas-eléctricas.

5. Establecer cuáles son los dispositivos disponibles para el control de temperatura y de sistemas de descongelamiento de evaporadores
6. Dimensionar y seleccionar los principales componentes eléctricos de potencia, protección, maniobra de un sistema de refrigeración o aire acondicionado.
7. Analizar el funcionamiento de los circuitos de potencia y control en los esquemas eléctricos de instalaciones monofásicas o trifásicas para su diagnóstico.
8. Explicar los principios de la tecnología Inverter y su aporte como alternativa para el ahorro de energía por medio de su eficiencia energética.
9. Calcular el costo para la implementación de una instalación eléctrica y su dimensionamiento en un sistema de aire acondicionado o refrigeración.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de Refrigeración para conservar productos, el aire acondicionado para el mejoramiento de la calidad de aire es cada día más necesario en Guatemala. Debido a las altas demandas de productos perecederos para consumo alimenticio por el crecimiento de la población y el acondicionamiento del aire en áreas de trabajo por el aumento de contaminación o de la temperatura ambiente.

En el sector técnico eléctrico surge la necesidad de preguntarnos cuál debería ser la instalación eléctrica idónea para los sistemas de refrigeración o aire acondicionado comercial e industrial, debido a que todas las instalaciones operan bajo condiciones y necesidades distintas, por ejemplo, cómo funciona un sistema de refrigeración o uno de aire acondicionado, cómo se conectan eléctricamente, qué tipo de compresores poseen, cuál es la potencia eléctrica de estos, qué sistemas de protección o de control utilizan, gas refrigerante con el que funcionan, temperaturas de operación, confort térmico, tipos de producto a refrigerar, entre otros.

El desarrollo del presente trabajo aportará herramientas técnicas para los estudiantes del sector eléctrico, mecánico o profesionales de la rama, así como para el sector técnico de comercio e industria, debido a que proporciona conocimientos de este tipo de sistemas a través de un documento que indica paso a paso los conceptos, fundamentos para la estructuración, implementación y mantenimiento de una instalación de este tipo basada en las características de cada equipo.



# 1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN

## 1.1. Definición de refrigeración

Regularmente, existe la tendencia a confundir los términos refrigeración con enfriamiento, para la ingeniería de refrigeración, “Es el proceso de mover al calor de un lugar a otro mediante el uso de refrigerante en un ciclo cerrado.”<sup>1</sup> Esta aparente inconsistencia es uno de los conceptos fundamentales que deben ser entendidos para comprender la operación de un sistema de refrigeración.

## 1.2. Conceptos básicos de termodinámica

Los conceptos básicos acompañados de las definiciones fundamentales de aplicación en la termodinámica tratados en este documento están dirigidos a comprender el funcionamiento del ciclo de la refrigeración.

### 1.2.1. ¿Por qué es importante saber algunos términos termodinámicos?

En principio, se sabe que la termodinámica es una rama de la física que trata sobre “La cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro”<sup>2</sup>, mientras que la refrigeración

---

<sup>1</sup> ASHRAE. *Refrigeration Handbook SI Edition*. 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2010. p.1.1. ISBN 978-1-933742-82-3.

<sup>2</sup> CENGEL, Yunus A. *Transferencia de Calor y Masa, un enfoque practico tercera edición*. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2007. p. 1. ISBN-13: 978-0-07-312930-3, ISBN-10: 0-07-312930-5.

trata sobre la transmisión de calor, por ello es necesario conocer algunos conceptos básicos para la comprensión de la refrigeración.

Siendo congruente con las leyes de la termodinámica, un sistema de refrigeración no puede crear frío, sino que todo lo opuesto, este elimina el calor en los cuerpos, expulsándolo. Para lograrlo, se utiliza una sustancia que debido a su naturaleza puede cambiar constantemente su estado de líquido a gaseoso, en el proceso absorbe y evapora el calor.

### **1.2.2. Calor**

“Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura en circulación”<sup>3</sup>, como se habrá experimentado en alguna ocasión, la circulación de energía se produce del medio que tiene la temperatura más alta hacia el de temperatura más baja.

Algunos ejemplos comunes pueden ser: el calor dentro de un vehículo, el cual se debe a las radiaciones del sol sobre la superficie de este. Una pieza de hierro sumergida en agua helada pierde calor enfriándose; una pieza metálica en una hoguera absorbe el calor del fuego y se calienta. Los términos más caliente o más frío, son solo términos comparativos.

### **1.2.3. Temperatura**

“La temperatura es una escala utilizada para medir la magnitud del calor, también es un indicador que determina la dirección en la que circulará la

---

<sup>3</sup> CENGEL, Yunus A. *Transferencia de Calor y Masa, un enfoque practico tercera edición*. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2007. p. 2. ISBN-13: 978-0-07-312930-3, ISBN-10: 0-07-312930-5.

energía”<sup>4</sup>. Puede decirse que es el grado de calor que tiene un cuerpo en comparación con otro.

En los países de habla inglesa la temperatura se mide en grados Fahrenheit, en Guatemala generalmente se usa la escala de grados Centígrados o Celsius, sin embargo, para los sistemas de aire acondicionado y refrigeración se usan Fahrenheit, debido a que la mayoría de equipos vienen preestablecidos con ese sistema de medición.

#### **1.2.4. Unidad de medida de calor**

“En el sistema inglés, la unidad de energía es la *British Thermal Unit*, llamada BTU”<sup>5</sup>, la cual usaremos en el desarrollo de esta investigación.

#### **1.2.5. Transferencia de calor**

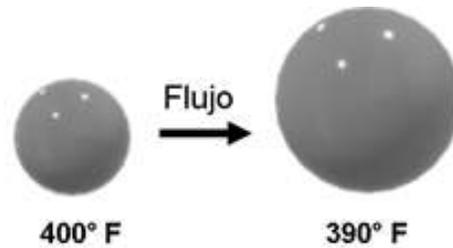
Como se mencionó anteriormente, el calor siempre viajará del cuerpo más cálido al cuerpo más frío. Supondremos dos masas de hierro de forma de esferas dentro de una caja con aislamiento, la primera pesa 2,0 lb, tiene una temperatura de 400 °F, la segunda pesa 2 000,00 lb. con temperatura de 390 °F; la cantidad de calor existente en la esfera grande es mucho mayor que la de la esfera pequeña, pero, debido a la diferencia de temperatura, el calor viaja de la esfera pequeña a la grande hasta que las temperaturas se igualan, como en la siguiente figura.

---

<sup>4</sup> COPELAND, *Brand Products. Refrigeration Manual, Part1-Fundamental of Refrigeration*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1968. p. 1-1.

<sup>5</sup> CENGEL, Yunus A. *Transferencia de Calor y Masa, un enfoque practico tercera edición*. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2007. p. 6. ISBN-13: 978-0-07-312930-3, ISBN-10: 0-07-312930-5.

Figura 1. **Transferencia de calor**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

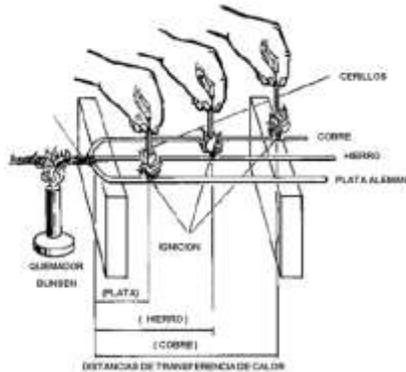
El calor se transfiere mediante tres mecanismos: conducción, convección y radiación.

Conducción. “Es la transferencia de calor a través de sustancias o medio para que haya flujo de este entre los cuerpos por medio de contacto”<sup>6</sup>. La figura 2 ejemplifica la conductividad por medio de cuerpos metálicos, no todos tienen la misma transferencia de calor, esta es una forma de transmisión muy eficiente. Lo cual habrá sido experimentado por muchos al tocar una pieza de metal caliente.

---

<sup>6</sup> BRUMBAUGH, James E. *HVAC FUNDAMENTALS VOL. 1 Heating, system*. Indianapolis, USA. Wiley Publishing Inc. 2004. p. 12. ISBN: 0-764-54206-0.

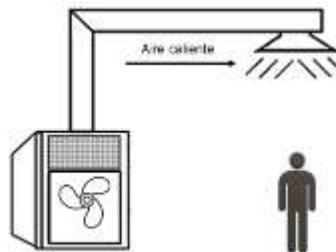
Figura 2. **Transmisión de calor por conducción de distintos metales**



Fuente: BRUMBAUG James E. HVAC *Fundamentals* Vol. 1. P. 14.

Convección. “Esta forma de transferencia de calor implica transferencia de energía por movimiento de fluidos y conducción molecular”<sup>7</sup>. Este puede ser en estado líquido o gaseoso, un ejemplo común es la calefacción de ambientes, se traslada el calor de la fuente por medio de un ventilador que impulsa el aire en ductos, este se descarga en una habitación, ver siguiente figura.

Figura 3. **Transmisión de calor por convección**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

<sup>7</sup> ASHRAE. HVAC *FUNDAMENTALS*. USA. 2001. p. 3.1.

Radiación. “La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas”<sup>8</sup>, un ejemplo común de radiación es la transmisión de calor por los rayos solares. Cuando al salir de casa se siente el impacto de las ondas de calor, aunque la temperatura del aire alrededor sea igual en ambos lugares.

Figura 4. **Transmisión de calor por radiación**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD versión estudiantil

Para bajas temperaturas la radiación entre cuerpos es mínima, cuando la diferencia de temperaturas es pequeña, la radiación tiene poca importancia en el proceso de refrigeración. Pasa lo contrario por la radiación a recintos (casa, oficina, local comercial etc.) o al producto refrigerado por agentes exteriores, si es un factor importante que influye en la carga de refrigeración.

#### **1.2.6. Cambio de estado**

Las sustancias se pueden encontrar en estados sólidos, líquido o gaseoso, de acuerdo a temperatura-presión que se encuentren sometidas. “El

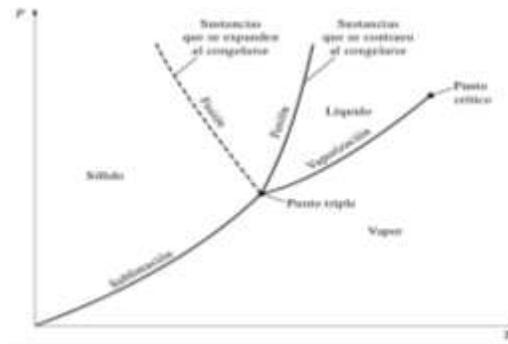
---

<sup>8</sup> CENGEL, Yunus A. *Transferencia de Calor y Masa, un enfoque practico tercera edición*. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2007. p.27. ISBN-13: 978-0-07-312930-3, ISBN-10: 0-07-312930-5.

calor es generador de cambios en temperatura o estado, puede ser absorbido cuando no exista cambio de temperatura”<sup>9</sup>.

Cuando el vapor se transforma a líquido, o cuando el líquido de nuevo se transforma en sólido, se desprende la misma cantidad de calor. El ejemplo más simple es el agua en estado líquido que puede existir como sólido en forma de hielo o como gas cuando se convierte en vapor.

Figura 5. Diagrama de fases P-T



Fuente: CENGEL, Yunes A. *Termodinámica 9na edición*. p. 124.

### 1.2.7. Calor específico

“El calor específico se define como la energía requerida para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia”<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> COPELAND, Brand Products. *Refrigeration Manual, Part1-Fundamental of Refrigeration*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1968. p. 1-3.

<sup>10</sup> CENGEL Yunus, Boles Michael A, Kanoglu Mehmet. *Termodinámica novena edición*. Mexico, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2019. p.171.

En el sistema inglés sería la cantidad de BTU necesarios para aumentar la temperatura de una libra de cualquier sustancia 1 °F.

### **1.2.8. Calor sensible**

“Es el calor que provoca un cambio de temperatura en una sustancia o la cantidad de calor que puede recibir dicha sustancia sin que afecte su estructura molecular”<sup>11</sup>. Dentro de sus características está que puede percibirse por medio de los sentidos.

### **1.2.9. Calor latente**

“Es el calor necesario para lograr que una sustancia cambie de estado”<sup>12</sup> (o fase), en otras palabras, para cambiar un sólido en líquido, o un líquido en gas sin variar la temperatura de la sustancia. El calor latente no se percibe por los sentidos.

### **1.2.10. Calor latente de fusión y de evaporación**

“Calor latente de fusión es el término usado cuando el cambio de fase es de sólido a líquido , y calor latente de vaporización es el termino usado cuando el cambio de fase es de líquido a gas”<sup>13</sup>. El proceso inverso de vapor a líquido se llama condensación.

---

<sup>11</sup> COPELAND, Brand Products. *Refrigeration Manual, Part1-Fundamental of Refrigeration*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1968. p. 1-3.

<sup>12</sup> BRUMBAUGH, James E. *HVAC FUNDAMENTALS VOL.1 Heating, system*. Indianapolis, USA. Wiley Publishing Inc. 2004. p. 12. ISBN: 0-764-54206-0.

<sup>13</sup> SERWAY Raymond A, Jewett John W. *FISICA para ciencias e ingeniería*. Mexico D.F. 2008. p. 560. ISBN-13: 978-607-481-357-9 ISBN-10: 607-481-357-4

### **1.2.11. Calor latente de sublimación**

“Es el proceso de lograr el cambio directo de un sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, esto puede ocurrir en algunas sustancias”<sup>14</sup>. Ejemplo: el uso de hielo seco, que no es más que bióxido de carbono (CO<sub>2</sub> en estado sólido), este a temperatura ambiente recupera su forma gaseosa original.

### **1.2.12. Tonelada americana de refrigeración**

En refrigeración y aire acondicionado es común hablar de toneladas de refrigeración TR, es una unidad de medida americana basada en el efecto frigorífico de la fusión del hielo. Esta es la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 horas. “El calor latente de fusión de una libra de hielo es de 144 BTU, el calor latente de una tonelada (2000 libras) de hielo será 288 000 BTU por 24 horas”<sup>15</sup>. Para obtener el calor por hora es necesario dividir entre las 24 horas, lo cual da la cantidad de 12 000 BTU/HORA, que recibe el nombre de Tonelada de Refrigeración.

## **1.3. Refrigerantes**

“Son fluidos de trabajo necesarios para todos los sistemas de refrigeración, un refrigerante es cualquier líquido o fluido que absorbe calor al evaporarse a una baja temperatura/presión y cede calor al condensarse a una temperatura/presión más alta”.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> COPELAND, Brand Products. *Refrigeration Manual, Part1-Fundamental of Refrigeration*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1968. p. 1-4.

<sup>15</sup> ALTHOUSE Andrew D, Turnquist Carl H, Bracciano Alfred F. *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. USA, Illinois. The Goodheart-Willcox Company Inc.2004. p.49. ISBN-13:978-1-59070-280-2 ISBN10 : 1-59070-280-8

<sup>16</sup> KILLINGER Jerry, Killinger LaDonna. *HEATING AND COOLING ESSENTIALS. 3rd Edition*. U.S.A. Goodheart-Willcox Co Inc. 2003. p.173.

Para la refrigeración mecánica, se necesita un proceso que transmita grandes cantidades de calor de forma eficiente-económica que además pueda repetirse constantemente. El refrigerante es el fluido vital en cualquier sistema de refrigeración mecánica, cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar para refrigerar, dependerá del rango de presión/temperatura a la que haga estos cambios.

### **1.3.1. Clases de refrigerantes**

Actualmente, existen muchos tipos de refrigerantes, algunos de los cuales se usan comercialmente. Anteriormente a inicios de las primeras instalaciones de refrigeración se utilizaba mucho el amoníaco, dióxido de sulfuro, propano, de los cuales aún se usan algunos en aplicaciones especiales. Debido a que estas son tóxicas, además de peligrosas, fueron reemplazadas por sustancias especialmente creadas para aplicaciones de refrigeración.

Para aplicaciones a temperaturas extra bajas, o instalaciones con compresores centrífugos grandes, se usan refrigerantes especiales, pero para refrigeración comercial y para aplicaciones de aire acondicionado, que utilizan compresores de tipo recíprocante, rotativos o Scroll, se usan comúnmente los refrigerantes R-22, R-134A, R-404A, R-410 A.

### **1.3.1.1. Refrigerante R-22**

El R22 es un gas HCFC era hasta hace unos años el gas refrigerante más utilizado en el segmento del aire acondicionado, tanto para aplicaciones de tipo industrial como comerciales, aunque está prohibida su fabricación y distribución por ser altamente perjudicial para la capa de ozono aún sigue ingresando a algunos países en vías de desarrollo de acuerdo al Protocolo de Montreal.

El Protocolo de Montreal 2019, versión en español sección de decisiones, artículo 2, sección 2.2, decisión XXVII/5 párrafo 2; correspondiente a la eliminación de HCFC indica que: “Reconociendo que existe incertidumbre acerca de la utilización futura de los Hidroclorofluorocarbonos, estos seguirán siendo fabricados después de 2020 para usos de mantenimiento de equipos existentes de refrigeración y aire acondicionado”<sup>17</sup>.

### **1.3.1.2. Refrigerante R-134A**

El R-134A es un HFC reemplazo del R-12 en equipos nuevos. Chemours Company, fabricante de gases refrigerantes certificados ASHRAE and ISO817 Safety Clasificación, en su ficha técnica indica que “tiene una gran estabilidad térmica y química, baja toxicidad, no es inflamable, además de tener una muy buena compatibilidad con la mayoría de los materiales”<sup>18</sup>.

Es utilizado en el aire acondicionado automotriz, en refrigeradores domésticos, recientemente se utiliza en sistemas tipo chiller y en el transporte frigorífico a temperaturas por arriba de 0 °C.

---

<sup>17</sup> ONU, Medio Ambiente. *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono. Nairobi, Kenia. 2019. p. 217 . ISBN: 978-9966-076-61-8*

<sup>18</sup> CHEMOURS Company, Freon 134a. USA. 2015 p.1.

### **1.3.1.3. Refrigerante R-404A**

Es una mezcla de HFC-125, 143A, 134A., reemplaza al R-502, también al R-22 para aplicaciones de baja temperatura. Chemours Company lo recomienda para uso en “instalaciones de refrigeración nuevas de congelación, además, en aplicaciones a temperatura de evaporación comprendidas entre -45 °C a +10 °C”.<sup>19</sup>

Sus aplicaciones son:

- Refrigeración en baja temperatura (sustituto del R-502)
- Refrigeración media temperatura (sustituto del R-22)
- Refrigeración de alta temperatura (hasta 7 °C temp. Evaporación)
- Refrigeración de muy baja temperatura (-60 °C doble etapa)

### **1.4. Ciclo de refrigeración, principio de funcionamiento**

La refrigeración de forma continua se logra por distintos procesos, entre los más utilizados se encuentran:

- Sistema de refrigeración por compresión de vapor
- Sistema de refrigeración por absorción
- Sistema de refrigeración termoeléctrico

Es casi un estándar de la industria usar sistemas de refrigeración por compresión. En la actualidad se han logrado avances en aplicaciones termoeléctricas para refrigeradores de pequeños tamaños, conocida como refrigeración Peltier, son semiconductores que funcionan sin partes móviles, por

---

<sup>19</sup> CHEMOURS Company, Freon 404a. USA. 2017 p.5.

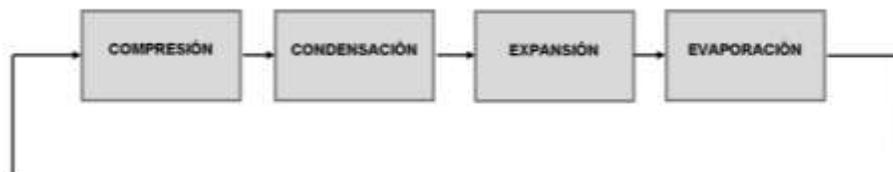
lo tanto, sin ruidos o vibraciones, su capacidad como eficiencia son muy bajas en comparación con los sistemas convencionales. El objetivo principal del presente trabajo de graduación tratará solo con la refrigeración por compresión que es la más común.

#### 1.4.1. Ciclo básico por compresión

En el sistema de refrigeración por compresión existen dos presiones: la presión de evaporación o baja presión y la presión de condensación o alta presión.

El refrigerante es el medio por el cual se transporta el calor del evaporador al condensador, expulsándolo este último a la atmósfera. El refrigerante tiene las propiedades de pasar de estado líquido a vapor y viceversa, lo cual permite al fluido la absorción para descargar grandes cantidades de calor eficientemente. Todo proceso de refrigeración por compresión cuenta con componentes básicos que trabajan en un anillo cerrado (véase figura 6).

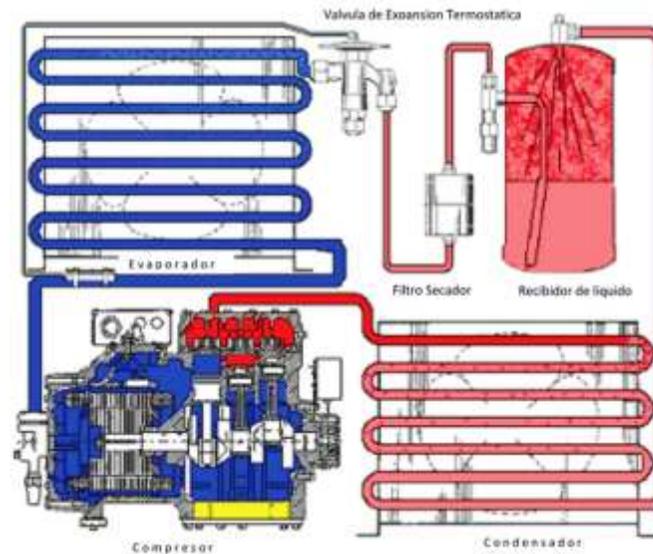
Figura 6. **Ciclo del sistema de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La figura 7 ilustra detalladamente un sistema típico de refrigeración, en el cual están incluidos los componentes básicos del sistema de compresión de vapor, su proceso se describe paso por paso a continuación:

Figura 7. Sistema típico de refrigeración



Fuente: COPELAND, *Brand Products. Refrigeration Manual, Part 1- Fundamental of Refrigeration*. [www.hvacinfo.com/Cope\\_manuals/AE101\\_R2.pdf](http://www.hvacinfo.com/Cope_manuals/AE101_R2.pdf). Consulta: noviembre 2019.

El refrigerante en estado líquido a alta presión es enviado desde el recipiente de líquido hacia el filtro secador a través de la tubería, luego a la válvula de expansión que separa el lado de alta presión del lado de baja presión del sistema.

La válvula controla el flujo del refrigerante líquido al evaporador, por medio de un pequeño orificio reduciendo la presión del refrigerante en el evaporador (lado de baja presión).

El refrigerante circula en el evaporador por medio de la tubería tipo serpentina, el calor fluye a través de las tuberías del evaporador que cuentan con aletas de aluminio, haciendo que la actividad de ebullición en el refrigerante continúe hasta que este se encuentre totalmente vaporizado.

Como se puede observar en el tramo final de la tubería del evaporador, hay un bulbo que se conecta por un pequeño tubo de cobre llamado capilar que

está conectado a la válvula de expansión en la parte superior conocida como diafragma, por medio de este regula el flujo a través del evaporador. Conforme la temperatura del gas saliente del evaporador varia, el bulbo mide esta variación actuando para modular el flujo de refrigerante, adaptándose automáticamente a las nuevas condiciones.

El refrigerante que sale del evaporador viaja por la tubería de succión hacia la entrada del compresor. El compresor recibe el refrigerante en forma de vapor a baja presión, este lo comprime elevando su presión-temperatura. El vapor caliente (gas) a alta presión es expulsado a través de una válvula de descarga hacia el condensador. El refrigerante pasa a través del condensador en estado gaseoso a alta presión y alta temperatura, luego se extrae el calor del refrigerante por medio del serpentín aletado que cuenta con un ventilador (similar al radiador de un vehículo). Conforme la temperatura del refrigerante alcanza la temperatura de saturación este se condensa viajando hacia el recipiente de líquido, iniciando nuevamente el ciclo, a este proceso se le conoce como el ciclo de refrigeración, este será continuo siempre que el compresor esté en funcionamiento.



## **2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO**

### **2.1. El compresor**

El compresor es el componentes más importante debido a que “es el encargado de bombear el refrigerante por todo el sistema, es el más costoso y vital del circuito de refrigeración. Si este funciona mal afectará en gran medida el funcionamiento de otros componentes”<sup>20</sup>. Se puede decir que es el corazón del sistema de refrigeración.

#### **2.1.1. Función del compresor en sistemas de refrigeración**

El ciclo básico del compresor funciona por medio de dos presiones:

Primero, succiona refrigerante (presión de succión) en forma de vapor y reduce la presión en el evaporador, de tal modo que la temperatura de evaporación puede ser mantenida a los valores deseados (baja temperatura-baja presión)

Segundo, el compresor eleva la presión del refrigerante (presión de descarga) en forma de vapor a un nivel bastante alto, elevando también su temperatura de saturación, la cual es superior a la temperatura del medio refrigerante disponible para la condensación del vapor refrigerante (alta temperatura-alta presión)

---

<sup>20</sup> WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology. 6th Edition.* U.S.A. 2009. p. 32.

### 2.1.2. Tipos de compresores y aplicaciones

Existe una diversidad de compresores para aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado comercial e industrial, los cuales se pueden clasificar según su funcionamiento o según su fabricación.

### 2.1.3. Compresores según su funcionamiento

Los tres tipos básicos según su funcionamiento o tecnología son: reciprocantes, rotativos y centrífugos.

Tabla I. Tipos de compresores según su funcionamiento

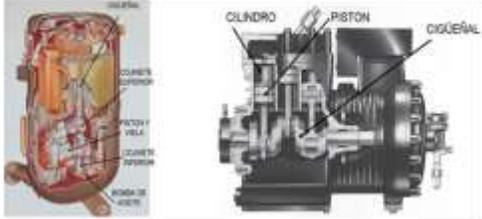
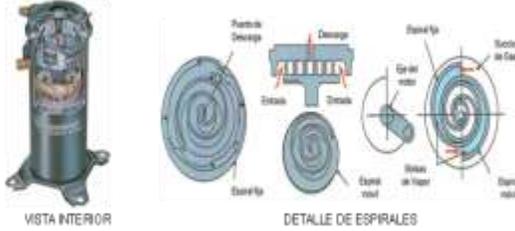
Reciprocantes	Rotativos	Centrífugos
Alternativo de pistón	De pistón rodante De tornillo Scroll o rotativo de espiral	Turbo compresor

Fuente: elaboración propia, con base en WHITMAN, William C.2009, empleando Microsoft Word.

Los centrífugos son utilizados en sistemas centrales de aire acondicionado de gran tamaño, los rotativos se utilizan en el campo del aire acondicionado comercial para los casos de pistón rodante y Scroll, mientras que para la refrigeración industrial se usan tipo tornillo, en su gran mayoría los compresores utilizados en tamaños de menor caballaje para las aplicaciones domésticas, comerciales e industriales son reciprocantes.

El objetivo principal del presente trabajo de graduación tratará solo con los reciprocantes y Scroll o rotativo de espiral que son más comunes, además de mayor uso por su bajo costo de inversión inicial.

Tabla II. **Características-funcionamiento de compresores Reciprocantes y Scroll**

COMPRESOR	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO	FIGURA
RECIPROCANTE	El compresor reciprocante es una bomba de desplazamiento positivo, porque en este caso el pistón es impulsado por un cigüeñal que realiza movimientos alternativos de succión-compresión en una cámara cilíndrica con válvulas de succión y de descarga (entrada de gas, salida de gas respectivamente).	Basado en la conversión de un movimiento alternativo, similar a un motor de carro, pero a la inversa porque en este caso el pistón es impulsado por un cigüeñal que realiza movimientos alternativos de succión-compresión en una cámara cilíndrica con válvulas de succión y de descarga (entrada de gas, salida de gas respectivamente).	<p><b>COMPRESORES RECIPROCANTE</b></p>  <p>Fuente: WHITMAN, William C., JOHNSON, William M., TOMCZYK, John A., SILBERSTEIN, Eugene. Refrigeración &amp; Air Conditioning Technology 6th Edition. p. 453.</p>
SCROLL	Utiliza dos piezas de forma espiral, ensambladas una frente a la otra en desfase de 180° montadas en la cabeza del compresor, una fija en la cual se sitúa la descarga en la parte central hacia el exterior la otra espiral móvil, accionada por el eje del motor.	Durante el funcionamiento, las dos espirales hacen contacto en varios puntos formando una serie independiente de bolsas en cada posición del movimiento. Estas bolsas disminuyen gradualmente de tamaño hacia el centro lo que incrementa la presión del refrigerante, cuenta al igual que el reciprocante con válvulas de succión y descarga.	<p><b>COMPRESOR SCROLL</b></p>  <p>Fuente: ALTHOUSE, Andrew D., TURNGUUST, Carl H., BRACCANO, Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning. p. 162.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

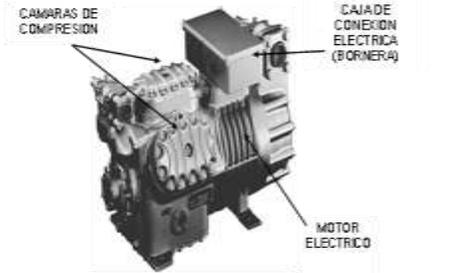
#### 2.1.4. Compresores según su fabricación

“En la industria de manufactura de compresores para refrigeración existen tres tipos básicos de acuerdo a su fabricación:

- a. Compresores de tipo abierto
- b. Motocompresores de tipo Semiherméticos

c. Motocompresores de tipo Hermético”.<sup>21</sup>

Tabla III. **Características-Construcción de compresores abiertos, semiherméticos y herméticos.**

COMPRESOR	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN	FIGURA
ABIERTO	<p>Uno de los primeros modelos para aplicaciones de refrigeración, en su momento fueron versátiles, además de bastante utilizados, cayeron en desuso por sus desventajas, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Costo superior.</li> <li>Gran tamaño.</li> <li>Mayor peso.</li> <li>Fallas en los sellos.</li> <li>Difícil alineación del cigüeñal.</li> <li>Alto nivel de ruido</li> <li>Problemas de vibración</li> <li>Corto tiempo de vida en fijas</li> </ul> <p>Su uso continúa disminuyendo, existen algunas aplicaciones especializadas que todavía lo usan</p>	<p>Los pistones y cilindros están dentro de una caja metálica (Carter) que aloja el mecanismo del compresor, además cumple con la función de actuar como depósito para el aceite de lubricación de las piezas móviles.</p> <p>Cigüeñal extendido hacia el exterior Accionado por por motor externo Acople por medio de polea-faja Sello en torno al eje del cigüeñal evita la pérdida de refrigerante y aceite del compresor.</p> <p>Para mantenimiento de sus piezas interiores se puede acceder a través de las tapas, debido a esto y a que el motor eléctrico no se encuentra en su interior recibe el nombre de abierto.</p>	<p>COMPRESOR ABIERTO RECIPROCANTE</p>  <p>Fuente: MITCOM, Compresores abiertos recíprocanes www.mayetawa.com/america/es/downloads/pdf/Compressor/CatalogoCompleto-Mayetawa.pdf Consulta: noviembre 2019</p>
SEMIHERMETICO	<p>Estos compresores son utilizados en instalaciones de mediana potencia, en aplicaciones comerciales e industriales, agrupados en estructuras metálicas o Racks, en configuraciones desde 2 a 6 unidades.</p>	<p>El motor-compresor está instalado en un mismo bloque sellado por una cubierta hermética, el compresor es accionado por un motor eléctrico acoplado directamente al cigüeñal del compresor, eliminando inconvenientes de sello, su motor está calculado para la carga mecánica que tiene que mover, cuenta con piezas desmontables que dan acceso a su interior para reparaciones sencillas en caso de daños por ello recibe la denominación de Semiherméticos.</p>	<p>MOTOCOMPRESOR SEMIHERMETICO RECIPROCANTE</p>  <p>Fuente: HUNDT G.L., IND11 A.R., WELCH I.C., Refrigeration and Air Conditioning 4th edition, p. 48.</p>
HERMETICO	<p>Este ha sido la solución para la reducción de la relación tamaño-costo, son utilizados en equipos de pequeño tamaño conocidos como unitarios los cuales son de baja potencia, además ocupan un menor espacio dentro de la unidad.</p>	<p>El motor eléctrico se encuentra montado directamente en el cigüeñal del compresor, su cuerpo metálico es una carcasa cilíndrica sellada herméticamente con soldadura. Debido a esto no es posible realizar reparaciones interiores cuando se daña, la única manera de abrirlos es cortar la carcasa, lo que resulta en un alto costo, por ello es más económico sustituirlo por uno nuevo.</p>	<p>MOTOCOMPRESOR HERMETICO RECIPROCANTE Y SCROLL</p>  <p>Fuente: COPPELAND, Catálogo general de compresores 2019. https://civitate.es/wp-content/uploads/2019/04/catalogo-general-de-productos-2019-es-es-5370994.pdf Consulta: noviembre 2019.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

<sup>21</sup> ALTHOUSE Andrew D, Turnquist Carl H, Bracciano Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning. USA, Illinois. The Goodheart-Willcox Company Inc.2004. p.148. ISBN-13:978-1-59070-280-2 ISBN10 : 1-59070-280-8

## 2.2. Condensadores

Básicamente es un intercambiador de calor, que adopta distintas formas según el fluido o el medio por el cual realiza su función. La condensación se puede producir por dos medios, la primera es “utilizando aire mediante el uso de un ventilador, a este tipo de condensación se le denomina refrigerante/aire, la segunda es utilizando agua a la cual se le denomina condensación refrigerante/agua”<sup>22</sup>.

El objetivo principal del presente trabajo de graduación trata el caso de la condensación por medio de aire, la construcción de este tipo de condensador es tubería de diámetro constante formando un serpentín cada cierta longitud curvada 180°, por medio de este circula refrigerante que sale del compresor en forma de vapor de alta presión-temperatura, también cuenta con láminas o aletas regularmente de aluminio a través de las cuales circula aire forzado, haciendo que la temperatura del refrigerante descienda al punto de saturación, el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de aquí el nombre de condensador.

Los condensadores enfriados por aire son fáciles de instalar, su costo de mantenimiento es bajo, es importante que exista suministro de aire fresco, además que no se instalen en ambientes cerrados. En lugares cálidos la temperatura elevada del aire ambiente genera presiones elevadas de condensación.

---

<sup>22</sup> COPELAND Brand Products, *Refrigeration Manual, Part 2- Refrigeration System Components*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1967. pp. 5-1,5-2.

Tabla IV. **Condensadores de refrigerante-aire, tipos y sus características**

<b>CONDENSADORES</b>		
<b>APLICACIONES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FIGURA</b>
<p>Las aplicaciones en el campo HVACR incluyen:</p> <p>Enfriadores Bombas de calor Refrigeración electrónica Dispensadores Vitrinas refrigeradas Máquinas de hielo Refrigeración para servicio de alimentos Aire Acondicionado paquete Aire Acondicionado mini Split y Split</p>	<p>Reduce la presión estática a través del serpentín, que significa menos caballaje (HP) en ventiladores.</p> <p>Reducción en dimensiones (tamaño y peso)</p> <p>Reduce la profundidad del serpentín para el evaporador</p> <p>La reducción del volumen interno, reduce la carga del refrigerante</p> <p>Requiere espacios más pequeños para la instalación de unidad condensadora</p>	<p><b>CONSTRUCCIÓN DEL CONDENSADOR</b></p>  <p>Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. Refrigeration &amp; Air Conditioning Technology 6th Edition. p. 409.</p>
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>		<p><b>CONDENSADORES DE AC</b></p>  <p>Descarga vertical    Descarga horizontal    Descarga vertical</p> <p>Fuente: YORK, Equipos comerciales <a href="https://www.yorkcontrols.com/es_mx/buildings/hvac-equipment/residencial-y-comercial">https://www.yorkcontrols.com/es_mx/buildings/hvac-equipment/residencial-y-comercial</a>. Consulta: noviembre 2019</p>
<b>REFRIGERACIÓN</b>		<p><b>CONDENSADOR DESCARGA HORIZONTAL PARA REFRIGERACION</b></p>  <p>Fuente. BOHN, Unidades condensadoras 3 a 50 HP. <a href="https://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT2-062B-UCCD-1-Unidades-condensadoras-MBDX.pdf">https://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT2-062B-UCCD-1-Unidades-condensadoras-MBDX.pdf</a>. Consulta: noviembre 2019</p>
<b>REFRIGERACIÓN</b>		<p><b>CONDENSADOR DESCARGA VERTICAL PARA REFRIGERACION</b></p>  <p>Fuente: HUNDY G.F., TROTT A.R., WELCH T.C., Refrigeration and Air Conditioning Fourth edition. p. 49.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### **2.3. Evaporadores**

Siendo congruente con el ciclo de refrigeración, el evaporador es la sección de baja presión en la cual “el refrigerante en estado líquido hierve y se evapora, de ahí su nombre, el evaporador absorbe calor a medida que el refrigerante se convierte en vapor con ello se logra el objetivo principal del sistema, que es la climatización o refrigeración”<sup>23</sup> (véase tabla V).

Un evaporador de expansión directa cuenta con un dispositivo de control de flujo de refrigerante que puede ser una válvula o un tubo capilar llamado así por su pequeño diámetro. Ambos dispositivos hacen la función de atomizador o dispositivos de expansión del refrigerante.

### **2.4. Dispositivos de control del refrigerante**

Actualmente, existe una amplia variedad de dispositivos de control de refrigerante, algunos mecánicos otros eléctricos, el objetivo principal del presente trabajo de graduación trata sobre los dispositivos eléctricos de control del refrigerante que, al igual que los mecánicos, su objetivo es obtener un funcionamiento eficiente además de económico.

#### **2.4.1. Válvulas de expansión termostáticas (VET)**

“El dispositivo mecánico más utilizado para controlar el flujo del refrigerante en el evaporador es la válvula de expansión termostática, un orificio controla el flujo que entra al evaporador, regulando el tipo de flujo, según se requiera, por

---

<sup>23</sup> WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. Refrigeration & Air Conditioning Technology. 6th Edition. U.S.A. 2009. p. 32.

medio de un vástago con asiento de tipo aguja varía la abertura del orificio”<sup>24</sup>  
(véase tabla VI).

Tabla V. **Evaporadores, tipos y sus características**

<b>EVAPORADORES</b>		
<b>APLICACIONES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FIGURA</b>
<p>Las aplicaciones en el campo HVACR incluyen:</p> <p>Enfriadoras Bombas de calor Vitrinas refrigeradas Aire acondicionado</p>	<p>Serpentín con tubería de cobre</p> <p>Aletas de aluminio</p> <p>Convección forzada por ventilador</p>	<p><b>EVAPORADOR</b></p>  <p>Fuente: COPELAND Brand Products, Refrigeration Manual, Part 2- Refrigeration Sistema Componentes <a href="http://www.hvacinfo.com/Cope_manuals/AE102_R2.pdf">www.hvacinfo.com/Cope_manuals/AE102_R2.pdf</a> Consulta: noviembre 2020</p>
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>		<p><b>EVAPORADORES DE AIRE ACONDICIONADO SIN DUCTO</b></p>  <p>LG Air conditioning technology <a href="https://lghvac.com/residential-light-commercial/">https://lghvac.com/residential-light-commercial/</a> Consulta: noviembre 2020</p>
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>		<p><b>EVAPORADORES DE AIRE ACONDICIONADO PARA DUCTO</b></p>  <p>LG Air conditioning technology <a href="https://lghvac.com/residential-light-commercial/">https://lghvac.com/residential-light-commercial/</a> Consulta: noviembre 2020</p>
<b>REFRIGERACIÓN</b>		<p><b>EVAPORADORES DE REFRIGERACIÓN CON VENTILADOR AXIAL</b></p>  <p>Fuente: BOHN, Evaporadores de bajo perfil <a href="http://www.fb-refrigeracion.com/fb_docs/BCT-005-306-1-Evaporadores-para%20Camaras-Frigorificas-de-Bajo-Perfil-FBADT-FBLET-FBLLF-FBHGT.pdf">www.fb-refrigeracion.com/fb_docs/BCT-005-306-1-Evaporadores-para%20Camaras-Frigorificas-de-Bajo-Perfil-FBADT-FBLET-FBLLF-FBHGT.pdf</a> Consulta: noviembre 2020</p>

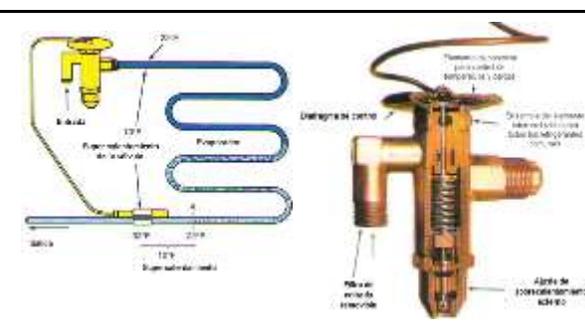
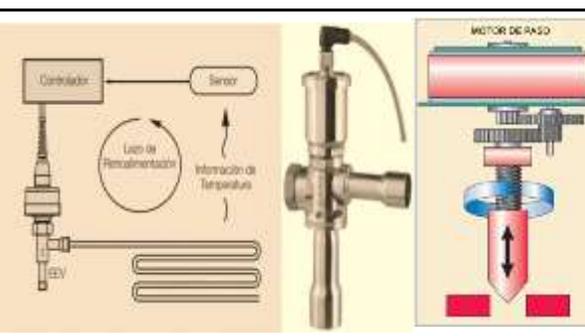
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

<sup>24</sup> COPELAND Brand Products, Refrigeration Manual, Part 2- Refrigeration System Components. U.S.A. Sidney, Ohio: 1967. pp. 7-1, 7-2.

## 2.4.2. Válvula de expansión electrónica (VEE)

Los fabricantes del segmento refrigeración, generalmente el control de la válvula lo ponen separada, SPORLAN indica que el nombre correcto debe ser “válvulas eléctricas controladas electrónicamente, para simplificar le llamaremos válvula eléctrica, debido a que la operación de las válvulas eléctricas en el sistema es asignada por la programación del controlador electrónico”<sup>25</sup>.

Tabla VI. Válvulas de expansión VET y VEE

VALVULA	COMPONENTES	FIGURA
<p>VET: El objetivo de este componente es suministrar al evaporador con la cantidad de líquido necesaria para tener una buena eficiencia y proteger al compresor contra posibles daños</p>	<p>Partes de la válvula de expansión termostática</p> <p>Bulbo remoto precargado con gas refrigerante del mismo tipo con el que trabaja el equipo</p> <p>Tubo capilar</p> <p>Diafragma de control de expansión</p> <p>Resorte</p> <p>Vástago de ajuste de la válvula</p> <p>Filtro de entrada del refrigerante</p> <p>Puerto de salida del refrigerante expandido</p>	 <p>Fuente: ALTHOUSE, Andrew D, TURNQUIST, Carl H, BRACCIANO, Alfred F. <i>Modern Refrigeration and Air Conditioning</i>. p. 184, 187.</p>
<p>VEE: El objetivo es el mismo que la VET, la diferencia es un motor de paso que sustituye el al diafragma, bulbo y resorte, la apertura se hace en fracciones de vuelta de acuerdo a la señal del controlador electrónico.</p>	<p>Partes de la válvula de expansión electrónica</p> <p>Sensor de temperatura, con cable de señal</p> <p>Controlador electrónico</p> <p>Motor de paso</p> <p>Vástago de ajuste de la válvula</p> <p>Filtro de entrada del refrigerante</p> <p>Puerto de salida del refrigerante expandido</p>	 <p>Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. <i>Refrigeration &amp; Air Conditioning Technology 6th Edition</i>. p. 502,504,513</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

<sup>25</sup> SPORLAN, *Válvulas de expansión eléctricas SEER, SERI, SEHI Boletín 100-20(S1)*. U.S.A. Washington. enero 2012. p. 3.

La cantidad de señales de pasos enviadas por el controlador es almacenada en su memoria interna, el controlador puede retornar la válvula a cualquier posición anterior, con este proceso se puede lograr un control muy fino. El controlador digital usado en los motores de pasos les permite una rápida respuesta con precisión. Los motores de paso pueden operarse desde 2500 hasta 6500 pasos/segundo dependiendo del fabricante, posibilitando un alto control en el flujo.

## **2.5. Dispositivos eléctricos de control**

Los dispositivos de control eléctrico, al igual que los mecánicos, funcionan de acuerdo a una reacción provocada de los equipos por las propiedades de temperatura, presión, flujo, humedad, tiempo, sin la intervención de un operador para satisfacer las necesidades preestablecidas.

Los dispositivos eléctricos de control son alimentados por voltajes de 120 a 240 voltios o de bajo voltaje a 24 voltios para el control de funciones básicas. Los de bajo voltaje son los más utilizados debido a su mayor sensibilidad.

Los controles eléctricos tienen como salida de control los cierres de contactos, estos pueden tener cualquiera de los siguientes estados:

- a. Encendido – Apagado
- b. Abierto – Cerrado
- c. Alarma – Normal

En los capítulos 5 y 6, se desarrollarán con mayor amplitud los dispositivos que existen y el funcionamiento de cada uno de ellos.

## 2.6. Motores

Los motores eléctricos son parte importante de una máquina de refrigeración porque transforman la energía eléctrica a energía mecánica la cual realiza un trabajo. En los compresores de refrigeración, este efecto es una fuerza que produce el movimiento de las cámaras de compresión.

Los motores utilizados para aplicaciones de refrigeración o aire acondicionado son de inducción, “su nombre se debe a que la corriente es inducida en la parte móvil del motor, este último no tiene conexión directa a la fuente de corriente, mientras que los devanados de la parte estática si lo están”<sup>26</sup>.

### 2.6.1. Motores eléctricos en refrigeración de acuerdo a su uso

Los motores eléctricos en refrigeración se pueden clasificar de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla VII. **Aplicaciones de motores eléctricos**

APLICACION	USO EN
Para accionar compresores	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compresor abierto con flecha visible conectados por medio de fajas y poleas o con acople directo</li><li>• Compresores herméticos, semiherméticos conectados a sus flechas internamente</li></ul>
Para accionar ventiladores	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ventilador para condensadores</li><li>• Ventilador para evaporadores</li><li>• Ventilador para manejadoras</li><li>• Extracción e inyección de aire</li></ul>
Para accionar bombas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistemas de aceite compresores de tornillo</li><li>• Para mover el agua en sistemas chiller</li><li>• Para mover agua en máquinas de fabricación de hielo</li></ul>

Fuente: elaboración propia, en base a WHITMAN, William C.2009,empleando Microsoft Word

<sup>26</sup> COPELAND Brand Products, Refrigeration Manual, Part 2- Refrigeration System Components. U.S.A. Sidney, Ohio: 1967. p. 9-1.

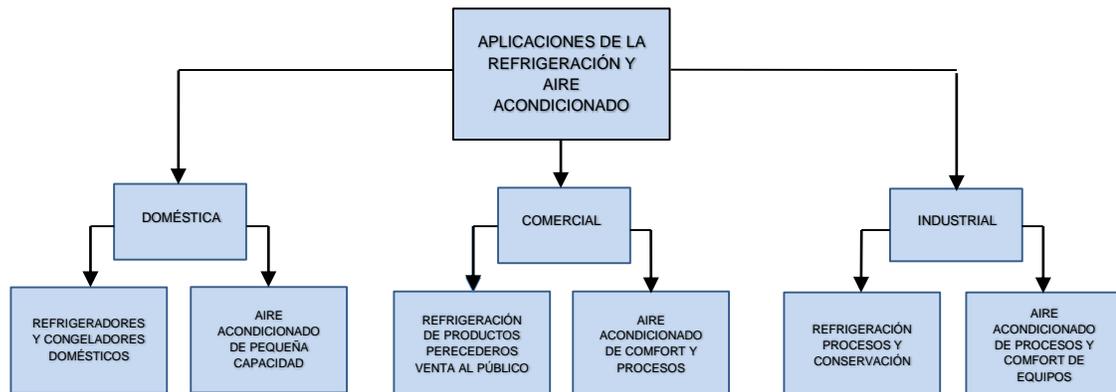


### 3. DIFERENCIA ENTRE SEGMENTOS COMERCIAL E INDUSTRIAL EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

#### 3.1. ¿Cómo se define un equipo comercial y uno industrial?

La capacidad térmica, gas refrigerante, temperatura, potencia eléctrica, y tamaño, son características que definen la aplicación de los equipos de refrigeración o aire acondicionado. Las aplicaciones de la refrigeración se pueden agrupar en tres segmentos: Domestico, Comercial e Industrial.

Figura 8. Aplicaciones de la refrigeración y aire acondicionado



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

Los refrigerantes usados por preferencia en el segmento comercial e industrial son los freones, para muy bajas temperaturas es el amoniaco.

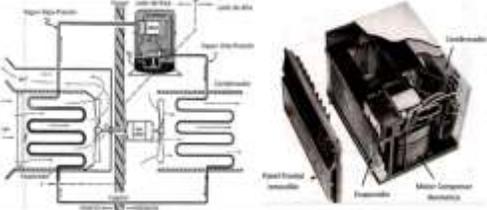
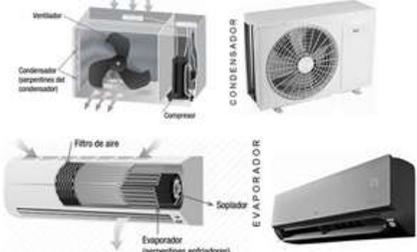
Las instalaciones en su mayoría cuentan con compresores del tipo Semiherméticos alternativos o herméticos rotativos, en función de las necesidades de refrigeración, pueden tener varios compresores, de 3 a 8 unidades por central, para muy baja temperatura los compresores utilizados son esencialmente los de tornillo

Tabla VIII. **Clasificación Comercial-Industrial de acuerdo a temperatura de operación**

SEGMENTO	APLICACIÓN	OBJETIVO	AREAS DE APLICACIÓN	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	USUARIO
COMERCIAL	REFRIGERACIÓN	Garantizar la calidad y conservación de los alimentos en:	Supermercados Autoservicios Restaurantes Establecimientos comerciales	2 °C y 13 °C media alta temp (36 °F y 56 ° F) <b>Wirs 2008</b>	Productos frescos como frutas y verduras
		Almacenamiento Exhibición Manipulación Elaboración		-18 °C a -23 °C baja temp. (-0.4 °F a -9.4 °F) <b>Wirs 2008</b>	Productos Congelados como pescados, carnes, helados
	AIRE ACONDICIONADO	Garantizar la calidad del aire y la temperatura de confort en:	Hoteles. Clínicas Medicas Comercios Restaurantes Oficinas (30 a 150 m <sup>2</sup> )	22 °C a 24 °C ( 72 ° F a 75 °F) <b>ASHRAE aplicación Handbook, 1999</b>	Personas
	AIRE ACONDICIONADO	Garantizar la calidad del aire , temperatura y humedad, para áreas especiales	Salas limpias Salas de recuperación Quirófanos Laboratorios biológicos Laboratorios farmacéuticos (30 a 150 m <sup>2</sup> )	18 °C a 24 °C ( 72 ° F a 75 °F) <b>ASHRAE aplicación Handbook, 1999</b>	Personas
INDUSTRIAL	REFRIGERACIÓN	Garantizar los procesos industriales, la calidad y conservación de los alimentos en:	Plantas de almacenamiento Plantas de fabricación de hielo Plantas industriales de procesos cárnicos Envasado de alimentos Plantas de procesos lácteos y sus derivados Bebidas Producción de plástico	13 °C a -60 °C ( 55.4 °F a -76 °F) Alta, Media, Baja y Muy baja temperatura <b>ASHRAE Refrigeration Handbook, 2010</b>	Cerveza, Bebidas carbonatadas Embutidos, Pescado Pielés, Leche Enfriamiento de agua Plásticos de inyección, Procesos químicos

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Tabla IX. Equipos comerciales de aire acondicionado

SEGMENTO	TIPO / CARACTERÍSTICAS	FIGURA
COMERCIAL	<p><b>AIRE ACONDICIONADO VENTANA</b></p> <p>Son equipos que actualmente cayeron en desuso debido a que son muy ruidosos y poco eficientes</p> <p><b>VENTAJAS</b> Bajo costo No necesitan instalaciones especiales Solo requieren de un agujero tipo ventana en la pared</p> <p><b>APLICACION</b> En hoteles de bajo costo Pequeñas oficinas</p> <p><b>CAPACIDADES</b> 9,000 / 12,000, 18,000, 24,000 Btu/h</p>	 <p>Fuente: ALTHOUSE, Andrew D, TURNQUIST, Carl H, BRACCIANO, Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning, p 856 y 857.</p>
COMERCIAL	<p><b>MINI SPLIT PARED ALTA (HIGH-WALL)</b></p> <p>Son versátiles para su instalación: Evaporador plástico Condensador metálico</p> <p><b>VENTAJAS</b> Inversión baja Bajo nivel de ruido Eficiente para pequeñas áreas Control remoto inalámbrico Bajo consumo eléctrico</p> <p><b>APLICACION</b> En habitaciones de hoteles Pequeñas oficinas Pequeñas clínicas</p> <p><b>CAPACIDADES</b> 9,000 / 12,000, 18,000, 24,000 Btu/h</p>	 <p>Fuente: Revista cero grados, junio 2015 .p 6. <a href="http://www.issuu.com/javdesigner/docs/cero_grados_web_junio_748c70716ecbd8">www.issuu.com/javdesigner/docs/cero_grados_web_junio_748c70716ecbd8</a>. Consulta: noviembre 2019</p>
COMERCIAL	<p><b>MINI SPLIT PISO TECHO (FLOOR-CEILING)</b></p> <p>Son versátiles para su instalación: Evaporador plástico, Condensador metálico</p> <p><b>VENTAJAS</b> Tiro de aire largo Bajo nivel de ruido Alta eficiencia para áreas medianas hasta 50 m2 Control remoto inalámbrico Bajo consumo eléctrico</p> <p><b>APLICACION</b> Restaurantes Oficinas medianas Salas de reuniones</p> <p><b>CAPACIDADES</b> 24,000, 36,000, 48,000, 60,000 Btu/h</p>	 <p>Fuente: YORK, Equipos comerciales. <a href="http://www.johnsoncontrols.com/es_mx/buildings/hvac/equipment/residencial-y-comercial">www.johnsoncontrols.com/es_mx/buildings/hvac/equipment/residencial-y-comercial</a>. Consulta: noviembre 2019</p>
COMERCIAL	<p><b>SPLIT (DUCTED SPLIT SYSTEM)</b></p> <p>Requieren instalación especial, usa ductos para difundir el aire, Evaporador y condensador metálicos</p> <p><b>VENTAJAS</b> Mejor difusión de aire Bajo nivel de ruido Alta eficiencia para áreas grandes de 50 a 140 m2 Control remoto inalámbrico Bajo consumo eléctrico</p> <p><b>APLICACION</b> Restaurantes Oficinas grandes Salas de reuniones hoteles Salas de reuniones oficinas Laboratorios, Hospitales</p> <p><b>CAPACIDADES</b> 36,000, 48,000, 60,000 , 90,000 Btu/h</p>	 <p>Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. Refrigeration &amp; Air Conditioning Technology 6th Edition, p. 928,933</p>

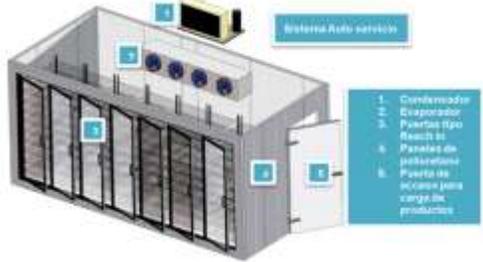
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

Tabla X. Equipos comerciales e industriales de aire acondicionado

SEGMENTO	TIPO / CARACTERÍSTICAS	FIGURA
<p style="text-align: center;"><b>COMERCIAL / INDUSTRIAL</b></p>	<p>Conocida como unidad autocontenida el condensador y evaporador en la misma unidad</p>	 <p style="font-size: small;">Fuente: ALTHOUSE, Andrew D, TURNQUIST, Carl H, BRACCIANO, Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning, p 957.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>VENTAJAS</b></p> <p>Maneja mayor volumen de aire que los Split Bajo nivel de ruido instalación externa, solo ingresa ductos al área a acondicionar Alta eficiencia para áreas grandes de 50 a 450 m<sup>2</sup> Control de temperatura con termostato de pared</p>	
	<p style="text-align: center;"><b>APLICACIÓN</b></p> <p>Restaurantes Oficinas completas incluyendo salas de reuniones al mismo tiempo Hoteles Agencias bancarias Laboratorios Hospitales Industria Cuartos eléctricos Procesos</p>	
	<p style="text-align: center;"><b>CAPACIDADES</b></p> <p>3, 5 , 10, 12.5, 15 20 25 TR</p>	
<p style="text-align: center;"><b>INDUSTRIAL</b></p>	<p>Es un enfriador de agua de uso industrial, la circulación del agua se hace por sistema de bombeo</p>	 <p style="font-size: small;">Fuente: ALTHOUSE, Andrew D, TURNQUIST, Carl H, BRACCIANO, Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning, p 954.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>COMPONENTES</b></p> <p>Compresores de Tornillo, o centrífugos Evaporador (intercambiador de concha y Tubo) Condensador (de torre de enfriamiento) Gabinete de control</p>	
	<p style="text-align: center;"><b>APLICACIÓN</b></p> <p>Procesos industriales para enfriar otras máquinas Enfriamiento de plantas de procesos alimenticios Hoteles y edificios Laboratorios farmacéuticos</p>	
	<p style="text-align: center;"><b>CAPACIDADES</b></p> <p>Desde 10 TR hasta 400 TR</p>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

Tabla XI. Equipos comerciales e industriales de refrigeración

SEGMENTO	CARACTERÍSTICAS	FIGURA
COMERCIAL	Equipos destinados para para conservación de productos perecederos que serán consumidos posteriormente	 <p>Fuente: BOHN, Refrigeración comercial e industrial <a href="http://www.mexicobajocero.com/wp-content/uploads/2019/01/BCT-001-CT-1-Catalogo-Condensado-Bohn-Tecnico.pdf">www.mexicobajocero.com/wp-content/uploads/2019/01/BCT-001-CT-1-Catalogo-Condensado-Bohn-Tecnico.pdf</a>. consulta: noviembre 2019</p>  <p>Fuente: Revista cero grados. Noviembre 11 de 2013. p. 08. <a href="http://www.issuu.com/javdesigner/docs/cg_web_noviembre">www.issuu.com/javdesigner/docs/cg_web_noviembre</a>. Consulta: noviembre 2019</p>
	<b>VENTAJAS</b>	
	Inversión económica inicial baja Versatilidad en su instalación debido a su tamaño Eficientes para áreas de almacenamiento 20 a 30 m2 Costo de mantenimiento bajo	
	<b>APLICACIÓN</b>	
	Auto servicios (Reach-In) Cuartos refrigerados Cuartos congelados Salas de proceso de alimentos	
	<b>CAPACIDADES</b>	
	9,000 a 90,000 Btu/h o 1HP a 30 HP	
INDUSTRIAL	Equipos destinados para para elaboración y procesamiento de productos alimenticios.	 <p>Rack de compresores      Evaporador</p> <p>Instalación de Evaporadores</p> <p>Fuente: BOHN, Refrigeración comercial e industrial <a href="http://www.mexicobajocero.com/wp-content/uploads/2019/01/BCT-001-CT-1-Catalogo-Condensado-Bohn-Tecnico.pdf">www.mexicobajocero.com/wp-content/uploads/2019/01/BCT-001-CT-1-Catalogo-Condensado-Bohn-Tecnico.pdf</a>. consulta: noviembre 2019</p>
	<b>VENTAJAS</b>	
	Mayor capacidad de enfriamiento y congelación que los equipos comerciales Utilizan varios compresores en racks para mayor capacidad.	
	<b>APLICACIÓN</b>	
	Plantas de procesos Elaboración de hielo Procesos criogénicos IQF (Congelamiento super rápido)	
	<b>CAPACIDADES</b>	
	90,000 Btu/h o mayores (30 HP a 200 HP)	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word



## **4. MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS EN APLICACIONES DE REFRIGERACIÓN**

### **4.1. Motores eléctricos, principios y funcionamiento**

Al analizar los sistemas de refrigeración o aire acondicionado se tiende a priorizar la capacidad de enfriamiento del equipo en toneladas de refrigeración o Btu/h, a las características técnicas del condensador, evaporador, válvula de expansión, tuberías, aislamiento, refrigerante etc. Sin embargo, es importante también tomar en cuenta la parte eléctrica, debido a que con esta energizaremos al sistema para satisfacer ciertas condiciones de acuerdo a nuestra instalación de refrigeración o aire acondicionado.

La parte eléctrica de un sistema de refrigeración o aire acondicionado la dividiremos en sistema eléctrico de potencia, sistema eléctrico de control y sistema eléctrico de protección.

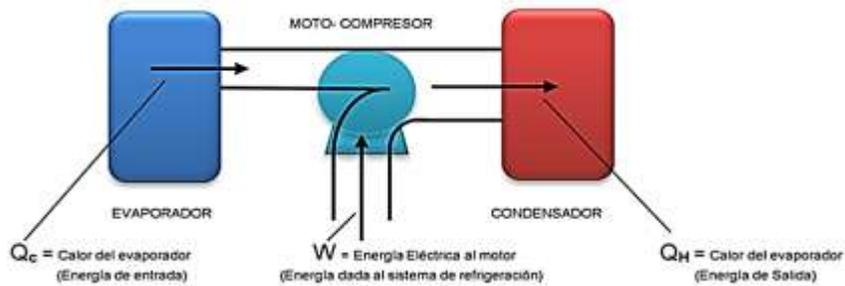
El mejor sistema de refrigeración es aquel que cuenta con la capacidad de remover la mayor cantidad de calor (en el evaporador), con la mínima cantidad de trabajo mecánico o energía (consumida por compresor). De acuerdo a ASHRAE el rendimiento de un ciclo de refrigeración se describe mediante “un coeficiente de rendimiento, COP se define como el beneficio del ciclo (cantidad de calor eliminado) dividido por la energía requerida de entrada para operar el ciclo”<sup>27</sup>. De lo anterior Calor/Energía está dada en por unidad, debido a que ambas tienen las mismas unidades de energía, Btu, Kcal, Watt-h, Joules.

---

<sup>27</sup> ASHRAE, HVAC Fundamentals. USA: 2001. p. 1.3.

$$COP = \frac{(Refrigeracion (Watts - h))}{(Potencia de entrada (Watts - h))} \quad p. u.$$

Figura 9. **Diagrama de flujo de energía en un sistema de refrigeración y aire acondicionado**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

De la figura 9 tenemos que el calor transmitido al punto caliente  $Q_H$  es:

$$Q_H = Q_c + W$$

Si el equipo se usa para refrigerar un ambiente, el COP sería:

$$COP = Q_c / W$$

Mientras que si se quiere aprovechar el ciclo inverso de un equipo de refrigeración que sería la calefacción el COP es:

$$COP = (Q_c + W) / W$$

De las ecuaciones del COP podemos ver que cuanto más alto sea el valor del COP, el sistema es más eficiente, su costo operativo es menor.

En las placas características de los equipos, la potencia de enfriamiento viene en Btu/h, la potencia de entrada al motor en Watts. En base a esto los fabricantes definieron el EER, como:

$$EER = \frac{\text{Refrigeracion (Btu/h)}}{\text{Potencia electrica de entrada al motor (Watts)}}$$

El valor del COP o EER no es constante, debido a que depende de sus condiciones de operación como temperatura, presión de succión, descarga del compresor, eficiencia mecánica-eléctrica factor de potencia. Es importante que, al comparar dos Motocompresores, estos cumplan exactamente las mismas condiciones de presión, al igual que las mismas condiciones de temperatura de succión y descarga. En la siguiente tabla se pueden ver los valores mínimos promedio estimados del EER.

Tabla XII. **Valores promedio mínimos de EER para aire acondicionado o refrigeración**

APLICACION	EER	Temperatura en locales o cámaras	OBSERVACIONES
Aire acondicionado	9Btu/h-W o mayores	22 a 24 °C	Entre mayor sea el valor del EER en un motocompresor, evidentemente es más eficiente, costando menos su operación, mientras que para los sistemas de refrigeración de baja temperatura la eficiencia es menor por consiguiendo los costos de refrigeración de productos es alta.
Refrigeración a alta temperatura de evaporación áreas de trabajo donde se procesan alimentos perecederos	9 Btu/h-W	7 a 12 °C	
Refrigeración a media temperatura de evaporación cámaras refrigeradas	6 Btu/h-W	2 a 6° C	
Refrigeración a baja temperatura de evaporación cámaras congeladas	3 Btu/h-W	-18 a -25 °C	

Fuente: elaboración propia, en base a Ortega, Javier 2010, Consideraciones eléctricas en los compresores, empleando Microsoft Excel

Los fabricantes de equipos, por convención, regularmente estiman un diferencial de temperatura BOHN recomienda “ $\Delta T$  entre aire del ambiente y el refrigerante en el evaporador de 5,5 °C (10 °F)”<sup>28</sup>, para obtener la temperatura de evaporación, esta debe estar por debajo de la temperatura deseada para poder acondicionar un ambiente o enfriar un producto, como se describe a continuación:

$$T_{evap} = T_{diseño} - \Delta T$$

$$T_{evap} = T_{diseño} - 5.5 \text{ °C}$$

#### **4.1.1. Potencia de un motor eléctrico**

Los motores eléctricos se clasifican por la potencia que pueden producir, KILLINGER, la define como “la cantidad de potencia requerida, para levantar 550 libras un pie en un segundo, esta puede expresarse en watts; (746 watts = 1 HP)”<sup>29</sup>. En refrigeración es importante que, al comparar dos sistemas de refrigeración, o dos Motocompresores, no se pueden ni deben compararse en base a sus HP, debido a que en Refrigeración dos motores del mismo caballaje no resultan tener la misma potencia de enfriamiento en Btu/h, a la misma condición establecida de Temperatura-Presión del refrigerante en la descarga o la succión del compresor. Los HP en refrigeración únicamente nos da una referencia del tamaño físico del motocompresor.

---

<sup>28</sup> BOHN, *Boletín 28 Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo (Primera Parte)*. México. 2008. p.7.

<sup>29</sup> KILLINGER Jerry, Killinger LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS. 3rd Edition. U.S.A. Goodheart-Willcox Co Inc. 2003. p. 396.

## 4.2. Motores eléctricos en refrigeración

Como se mencionó en los párrafos anteriores, la eficiencia y la potencia son parámetros eléctricos importantes a tomar en cuenta, existe una larga lista de otros parámetros proporcionados por los fabricantes de equipo, de estos se tomarán los más importantes para el análisis de una instalación eficiente además de segura para los sistemas de Refrigeración o Aire Acondicionado. Uno de estos parámetros es FLA, el cual se define como “la corriente en funcionamiento del motor a plena carga (*Full Load Amperage*), los motores de inducción funcionan a menos del FLA porque el motor rara vez funcionan en condiciones de carga completa”<sup>30</sup>. En el medio de compresores herméticos los fabricantes usan el término RLA (*Rated Load Amperage*). es la corriente en funcionamiento del motor a plena carga,

La Corriente a Rotor Bloqueado (*Locked Rotor Current, LRA*) WITTMAN, la define como “la corriente de un motor eléctrico cuando se enciende por primera vez, normalmente esta es cinco a seis veces el amperaje de carga completa”<sup>31</sup>. Nos indica el valor máximo de corriente de entrada al arrancar el compresor.

## 4.3. Motores de inducción trifásicos y monofásicos

En esta sección se analizarán los dos motores de corriente alterna de uso más común en aplicaciones de refrigeración o aire acondicionado, los Trifásicos y los Monofásicos, ambos bajo el mismo principio de funcionamiento de inducción, aplicados a los motocompresores herméticos o semiherméticos.

---

<sup>30</sup> KILLINGER Jerry, Killinger LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS. 3rd Edition. U.S.A. Goodheart-Willcox Co Inc. 2003. p. 398.

<sup>31</sup> WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. Refrigeration & Air Conditioning Technology. 6th Edition. U.S.A. 2009. p.1365.

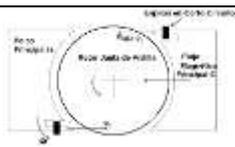
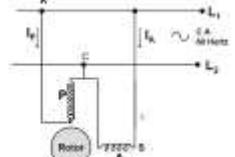
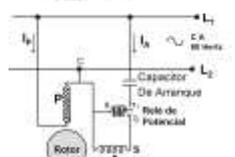
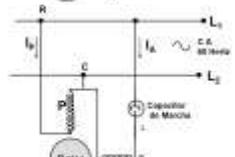
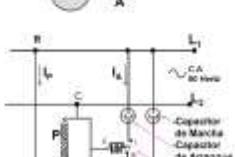
Como se ha mencionado anteriormente, un Motocompresor para refrigeración o aire acondicionado, es una combinación de motor y compresor que se encuentran encerrados dentro de la misma carcasa.

#### **4.3.1. Motor Monofásico**

Existen varios medios de arranque para motores monofásicos, los cuales no son el objetivo principal del presente trabajo de graduación, sin embargo, serán mencionados como referencia debido a que existen libros del género que se dedican a la explicación de cada uno de ellos, el punto importante es dejar claro que para las aplicaciones de motores eléctricos existen dos características a tomar en cuenta para su selección: las características de arranque y su funcionamiento.

Un motor para uso en compresores necesita de un alto par de arranque para vencer la carga que representa el refrigerante, por otro lado, un motor para ventilación no lo necesita porque simplemente debe vencer la resistencia a la fricción, esto es un claro ejemplo que dependerá de la aplicación para la cual fueron diseñados.

Tabla XIII. Medios de arranque motores monofásicos

MOTORES MONOFASICOS	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	APLICACIÓN	CAPACIDADES	FIGURA
Motores con polos sombreados	Dos velocidades o mas	Ventiladores de potencia fraccionaria para refrigeración	1/20 hasta 1/4 HP	
Motor de inducción de fase bipartida	Bajo par de arranque	Ventiladores de potencia fraccionaria	Ventiladores fraccionarios de 1/6, 1/4, 1/3 y 1/2 hasta 5 HP Motores Abiertos hasta 10 HP	
Motor de arranque con capacitor y marcha de inducción (CSIR Capacitor Star-inducción Run)	Alto par de arranque	Refrigeración alta, media y baja temperatura. Equipos comerciales (vitrinas, enfriadores de botellas)	1/12 hasta 1/2 HP	
Motores de fase bipartida con capacitor de marcha permanente sin capacitor de arranque y sin relé (PSC Permanent Split Capacitor)	Bajo par de arranque para disminución de corriente de línea	Motores de eje visible para ventiladores de Condensadores de 40° a 60° C de uso comercial de A/C, Refrigeración, Evaporadores y fan coils de doble eje	1/20 a 2 HP	
Motores de fase Bipartida con capacitor de arranque y capacitor de marcha con relé (CSCR, Capacitor Star-Capacitor Run)	Alto par de arranque	Compresores herméticos para aire acondicionado	1 a 5 HP	 A = Devanado auxiliar o de arranque P = Devanado de operación o marcha

Fuente: EMERSON Climate technologies, Motores Eléctricos en Aire Acondicionado y Refrigeración, p 07.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 4.3.2. Capacitores para motores monofásicos

Existen dos tipos de capacitores para compresores monofásicos.

El capacitor de arranque regularmente tiene altos valores de capacidad en microfaradios ( $\mu\text{F}$ ), diseñado para trabajar de forma ocasional, para los arranques

del compresor, se llama así debido a que “crea un alto par de arranque que vence el estado de equilibrio de los motores cuando están apagados, es un cilindro de plástico negro con una tapa de cartón duro que aloja las conexiones eléctricas”<sup>32</sup>, estos son de tipo electrolítico.

El capacitor de marcha o funcionamiento está diseñado para estar en funcionamiento continuo en el circuito de operación del compresor, están fabricados con carcasa metálica y dieléctrico sumergido en aceite.

Tabla XIV. Capacitores de arranque y de marcha

TABLA DE REFERENCIA PARA CAPACITORES DE REEMPLAZO DE COMPRESORES MONOFÁSICOS				
MOTOR	CAPACITOR DE ARRANQUE		CAPACITOR DE MARCHA	
Potencia (HP)	Capacitancia (µF)	Voltaje (V)	Capacitancia (µF)	Voltaje (V)
1/8	77 - 88	110 Vac	5	370 Vac
	75 - 80	110 Vac	6	370 Vac
1/8	86 - 100	110 Vac	7.5	370 Vac
			7.5	440 Vac
1/4	108 - 130	110 Vac	10	370 Vac
	124 - 149	110 Vac	10	440 Vac
1/3	161 - 193	110 Vac	12.5	370 Vac
			15	370 Vac
1/2	200 - 240	110 Vac	15	440 Vac
	216 - 259	110 Vac	15	440 Vac
3/4	324 - 385	110 Vac	17.5	370 Vac
	340 - 408	110 Vac	20	370 Vac
1	378 - 440	110 Vac	20	370 Vac
	400 - 480	110 Vac	20	370 Vac
1 1/2	540 - 645	110 Vac		
	75 - 90	250 Vac	25	370 Vac
	81 - 97	250 Vac		
	108 - 130	250 Vac	25	440 Vac
2	121 - 145	250 Vac		
	177 - 157	330 Vac	20	370 Vac
			25	370 Vac
3	135 - 162	330 Vac	30	370 Vac
			35	370 Vac
	130 - 162	330 Vac	40	440 Vac
5	829 - 1200	110 Vac	40	370 Vac
	161 - 193	250 Vac	50	370 Vac
	270 - 324	250 Vac		

TABLA DE CAPACITORES ELECTROLITICOS PARA ARRANQUE DE MOTORES MONOFÁSICOS 110 Vdc Y 220 Vdc	
CAPACITANCIA (µF)	APLICACIÓN
60 - 70	Motores de 1/8 de HP
70 - 90	Motores de 1/8 de HP
80 - 100	Motores de 1/8 de HP
100 - 120	Motores de 1/5 de HP
120 - 140	Motores de 1/4 de HP
140 - 160	Motores de 1/3 de HP
170 - 190	Motores de 1/2 de HP
190 - 210	Motores de 1/2 de HP
210 - 240	Motores de 1/2 de HP
240 - 270	Motores de 3/4 de HP
270 - 310	Motores de 3/4 de HP
320 - 360	Motores de 1 HP
360 - 400	Motores de 1 HP
380 - 420	Motores de 1 1/2 HP
400 - 430	Motores de 1 1/2 HP
450 - 500	Motores de 1 1/2 HP
500 - 600	Motores de 2 HP
660 - 700	Motores de 2 HP
700 - 800	Motores de 2 HP

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

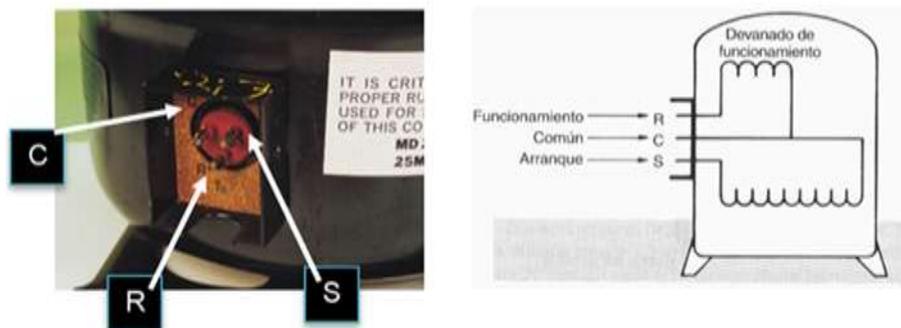
<sup>32</sup> KILLINGER Jerry, Killinger LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS. 3rd Edition. U.S.A. Goodheart-Willcox Co Inc. 2003. p.404

### 4.3.3. Motores para compresores herméticos y Semiherméticos (1Fase/3Fases)

Los motocompresores herméticos están diseñados para funcionar en una atmósfera de refrigerante en estado de vapor (capítulo 1 ciclo de refrigeración), por ello se recomienda que “el refrigerante en estado líquido no pase a la carcasa, esto comúnmente ocurre cuando existe una sobrecarga de refrigerante, la cual no se evapora en el serpentín por lo tanto el refrigerante retorna en estado líquido”.<sup>33</sup>

“Los compresores fraccionarios monofásicos herméticos más usados son fabricados con una potencia de hasta 5 HP”<sup>34</sup>, si es requerida mayor capacidad se puede usar un sistema múltiple (*tándem*) o utilizar equipos trifásicos más grandes.

Figura 10. Caja de conexión de un compresor monofásico



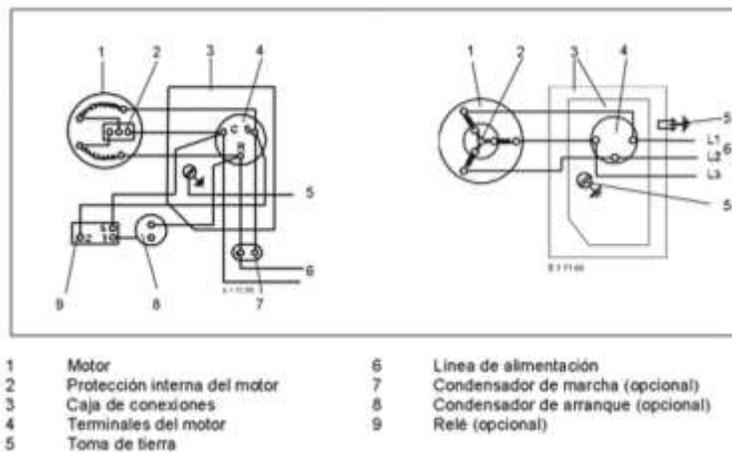
Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, Tomo I, Fundamentos.* p 287.

<sup>33</sup> WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology.* 6th Edition. U.S.A. 2009. p.346.

<sup>34</sup> EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, *Artículo Motores Eléctricos en Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción.* México: 2005. p.6.

Cuando es requerida una mayor capacidad en refrigeración y se cuenta con energía trifásica podemos instalar equipos fabricados para uso trifásico, anteriormente los “compresores herméticos trifásicos estuvieron limitados durante muchos años a capacidades de 7.5 TR, pero en la actualidad se fabrican hasta 50 TR, para voltajes dobles 208-230V/3ph/60Hz o en 460 V/3ph/60Hz”<sup>35</sup>, Los motores de compresores trifásicos cuentan con cajas de conexiones de tres terminales eléctricas, la resistencia de los devanados suele ser la misma, los motores trifásicos tienen un alto par de arranque, por lo tanto, no deberían de presentar problemas en el arranque.

Figura 11. **Conexión de terminales compresor monofásico y trifásico**



Fuente: COPELAND. Motores de Compresores Copeland Scroll TM.

<https://climate.emerson.com/documents/motores-de-compresores-copeland-scroll-informaci%F3n-t%E9cnica-es-es-4215560.pdf>

consulta: noviembre 2019.

<sup>35</sup> WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. Refrigeration & Air Conditioning Technology. 6th Edition. U.S.A. 2009. p.350.

Los compresores Semiherméticos reciprocantes, son fabricados hasta 125 TR, estos compresores son comúnmente utilizados para voltajes trifásicos en tensión nominal de 208-230V/3ph/60Hz o 460V/3ph/60 Hz. Cuando falla el motor estos compresores suelen reconstruirse, es recomendable realizar una revisión general cuando falla el motor.

#### **4.4. Motores para ventilación**

Un motor ventilador es una máquina eléctrica que se utiliza para aplicaciones diversas como, crear flujo de aire principalmente para ventilación de ambientes, refrescar máquinas u objetos, por una red de conductos o a través de serpentines (de alta o baja temperatura).

Los motores ventiladores son parte importante del ciclo de refrigeración en las etapas de evaporación y condensación, conocer sus características además de especificaciones técnicas será de mucha ayuda para la selección de motores de recambio.

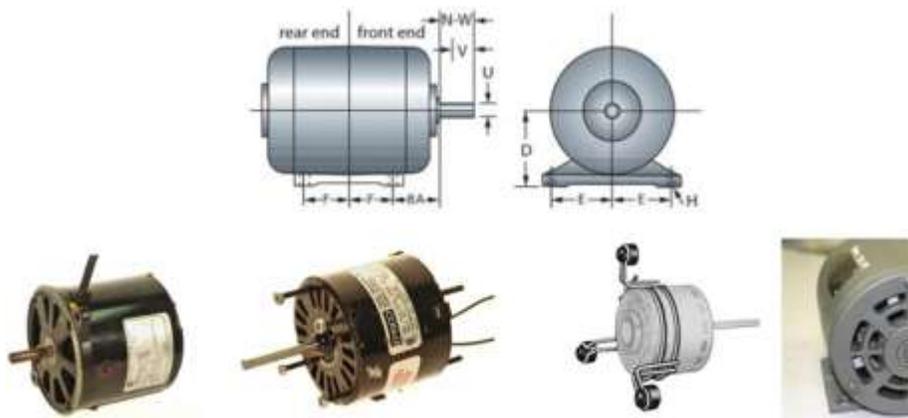
##### **4.4.1. Tamaños de marco de montaje NEMA**

Los números de marco (*frame*, en inglés) no indican características eléctricas de un motor, sin embargo, hay muchos motores de la misma potencia construidos en diferentes marcos. El tamaño del marco NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) se refiere solo al montaje, no tiene una relación directa con el diámetro del cuerpo del motor.

El número de designación NEMA para marco o *frame* viene con dos o tres números.

Ejemplos típicos de los números de marco 56 y 145. El número de marco se refiere a la distancia desde el centro del eje hasta la parte inferior central del soporte, en el marco 56 de dos dígitos, la dimensión "D" (véase figura 12) es  $3\frac{1}{2}$  " o 56 dividido entre 16 =  $3\frac{1}{2}$ ", para un número de marco de tres dígitos, 145 considere solo los dos primeros dígitos, use el divisor 4 por ejemplo, los dos primeros dígitos divididos por la constante 4 son iguales a 14 dividido entre 4 =  $3\frac{1}{2}$ ". Según la definición de NEMA, los números de marco de dos dígitos son cuadros fraccionales a pesar de que pueden incorporarse motores de 1 HP o más. El tercer número indica la distancia entre los orificios de montaje paralelos a la base.<sup>36</sup>

Figura 12. Características de montaje de motores



Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology 6th Edition*, p. 368,369,370.

#### 4.5. Motores ventiladores para evaporadores y condensadores

Los motores ventiladores para aplicaciones de aire acondicionado o refrigeración en unidades evaporadoras por lo regular son motores de fase bipartida PSC (*Permanent Split Capacitor Motor*) con especificación NEMA 42 Y 48, para algunas aplicaciones de refrigeración la carcasa es sellada para evitar goteos en los embobinados por condensación.

<sup>36</sup> NEMA MG1-2009, Motors and Generators.USA.2009

Los motores ventiladores para aplicaciones de aire acondicionado o refrigeración para condensadores son de fase bipartida PSC, especificación NEMA 48 Y 56, por lo general la carcasa es sellada para evitar filtraciones de agua debido a que son para unidades expuestas a intemperie, su posición de instalación es vertical.

Tabla XV. **Motores ventiladores para evaporadores**

Características motor ventilador de evaporador A/C y Refrigeración NEMA 42			
Potencia en HP	1/10 - 1/20 - 1/30	RPM	1 350
Voltaje	1F/208-230 V	Rodamientos	Buje
Frecuencia	60 Hz	Giro	CCW/CW
FLA (A)	0.84 - 0.37 - 0.25	No. de ejes	1
Capacitor	5 $\mu$ F en 370 V	Diámetro del eje	1/2 Plg.
No. de velocidades	03 (alta, media, baja)	Longitud del eje	5 3/4 "



Fuente: Boletín TOTAL LINE fabricante Motores aire acondicionado NEMA 42, 48

Características motor ventilador de evaporador A/C, Fan Coil y Mini Splits NEMA 48			
Potencia en HP	1/4 - 1/2	RPM	1 350
Voltaje	1F/208-230 V	Rodamientos	Buje
Frecuencia	50/60 Hz	Giro	CCW
FLA (A)	1.9 - 3.2	No. de ejes	1
Capacitor	5 $\mu$ F en 370 V	Diámetro del eje	1/2" y 1/4"
No. de velocidades	03 (alta, media, baja)	Longitud del eje	8" - 7 5/8"



Fuente: Boletín TOTAL LINE fabricante Motores aire acondicionado NEMA 42, 48

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVI. **Motores ventiladores para condensadores**

Características motor ventilador de Condensadoras NEMA 48			
Potencia en HP	1/4 - 1/3 - 1/2	RPM	900
Voltaje	1F/220-240 V	Rodamientos	Cojinete
Frecuencia	50/60 Hz	Giro	CCW/CW
FLA (A)	1.5 - 1.9 - 2.7	No. de ejes	1
Capacitor	5, 7.5 y 10 $\mu$ F en 370 V	Diámetro del eje	1/2 Plg.
No. de velocidades	1	Longitud del eje	4 7/8 "



Fuente: Boletín TOTAL LINE fabricante Motores aire acondicionado NEMA 42, 48

Características motor ventilador de Condensadoras NEMA 56			
Potencia en HP	1	RPM	1 140
Voltaje	3F-460/208-230 V	Rodamientos	Cojinete
Frecuencia	50/60 Hz	Giro	CCW/CW
FLA (A)	1.8 /3.7 - 3.6	No. de ejes	1
Capacitor	N/A	Diámetro del eje	5/8 Plg.
No. de velocidades	1	Longitud del eje	5 7/8"



Fuente: Boletín TOTAL LINE fabricante Motores aire acondicionado NEMA 42, 48

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

#### 4.6. Forma de chequear un motocompresor, comprobación de daños

Existen varias razones por las cuales un motocompresor no funciona, las más comunes son las siguientes:

Contactor no actúa. En el capítulo 6 será analizado a profundidad las características del contactor, sin embargo, en esta sección se explicarán los pasos a seguir para verificar su funcionamiento. Medir con un voltímetro si hay presencia de voltaje en las terminales de la bobina del contactor (por lo regular 24 Vac, 120 Vac o 240 Vac), si no existe presencia de voltaje, esto puede dar indicios de que existe un circuito abierto o cortocircuito en el cableado de alimentación del contactor. Se requiere de revisión a profundidad del circuito del contactor. Si existe presencia de voltaje entre terminales y este no actúa, es necesario reemplazarlo.

Bobinados abiertos, protector térmico de sobrecarga interno abierto (*overload*). Para revisar los devanados del motocompresor se requiere de un procedimiento simple por medio de un multímetro digital. Para esta medición debe poner en la posición de apagado el interruptor que alimenta la unidad de condensación (verifique con el medidor). Retire los cables Común, Arranque, Marcha (C, S, R) no olvide anotar la posición o tome una fotografía de la conexión. Ajuste el medidor en la menor escala de valor en ohmios ( $\Omega$ ), proceda a medir entre los puntos C-S, C-R, S-R, tome nota de los valores de resistencia. En un motocompresor monofásico los valores comunes son C-S  $3\Omega$ , C-R  $1\Omega$ , S-R  $4\Omega$ , para el caso de un motocompresor trifásico los valores de resistencia en las tres bobinas serán del mismo valor. Para motores monofásicos el Arranque (C-S) siempre tendrá un valor de resistencia mayor que el de Marcha (C-R), el valor entre S-R siempre será la suma de C-S con C-R. Si alguno de estos devanados está abierto, se debe reemplazar el compresor. Si encuentra que C-

S y C-R están abiertos, el compresor está apagado por sobrecarga interna. La sobrecarga es un dispositivo de seguridad interno que está en serie con el Común. Esta condición ocurre cuando el compresor está expuesto a un consumo excesivo de calor debido al incremento de amperaje. Cuando el compresor se enfría la sobrecarga debería de cerrar, si esto no ocurre, el compresor necesita ser reemplazado. Si este es el caso, se deberán encontrar las causas por la que se abrió. Algunas razones comunes son fallas en el ventilador del condensador, sobrecarga en el compresor o rotor bloqueado.

Bobinados en cortocircuito. Esto ocurre cuando el aislamiento del motocompresor ha fallado o el devanado está en contacto con la carcasa del compresor u otro devanado. El interruptor del condensador ha actuado, este no podrá reiniciarse. Para verificar, deberá raspar la pintura de la carcasa del compresor para dejar el metal descubierto, medir con el multímetro en la escala más alta de ohmios ( $\Omega$ ). Coloque una punta de medición contra el metal de la carcasa y la otra punta en las terminales C, S, R. Si existe un corto, habrá muy poca resistencia a tierra, 1 o 2 ohmios aproximadamente. Si el compresor está en cortocircuito, deberá ser reemplazado.

Rotor bloqueado. Esto sucede cuando el rotor del motor está físicamente bloqueado. Se escucha un zumbido cuando el compresor intenta arrancar, identifique en placa el valor del LRA (Locked Rotor Amperage) a continuación mida con un amperímetro de gancho si sobrepasa este valor y abra el cortacircuitos o interruptor en caso de sobrecarga interna. Si el compresor está bloqueado, deberá ser reemplazado.

Todas las situaciones antes mencionadas demandan una investigación del motivo de la falla, en base a un análisis del sistema eléctrico, sustituir el compresor sin investigar sería un mal procedimiento de sustitución.

#### **4.7. Conexiones, borneras, distribución de bobinados en motores monofásicos y trifásicos.**

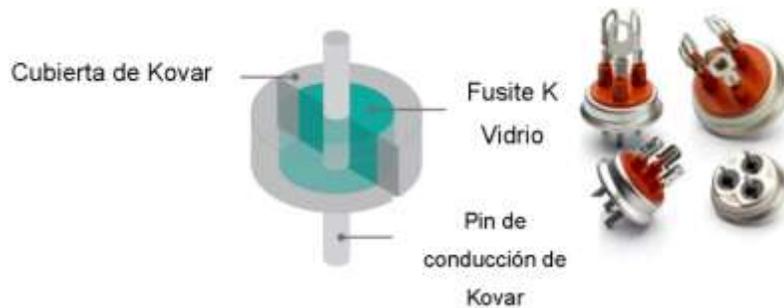
Para ingresar eléctricamente al interior de los motores herméticos que se encuentran encerrados en atmosferas de refrigerante, las conexiones internas del motor deben atravesar la carcasa hacia el exterior para poder conectarse y ser energizado.

Los sellos de vidrio a metal (*GTMS-Glass to metal seal*) son la solución para el aislamiento hermético a los conductores eléctricos del interior al exterior del compresor. “El vidrio funciona como barrera hermética además como aislante entre las terminales o pines y la carcasa del compresor, debido a que el vidrio tiene propiedades de alto aislamiento eléctrico, baja conductividad térmica. GTMS es conocido técnicamente en el medio como Fusite”<sup>37</sup>.

---

<sup>37</sup> 1. ALTHOUSE Andrew D, Turnquist Carl H, Bracciano Alfred F. Modern Refrigeration and Air Conditioning. USA, Illinois. The Goodheart-Willcox Company Inc.2004. pp.271-272. 49. ISBN-13:978-1-59070-280-2 ISBN10 : 1-59070-280-8

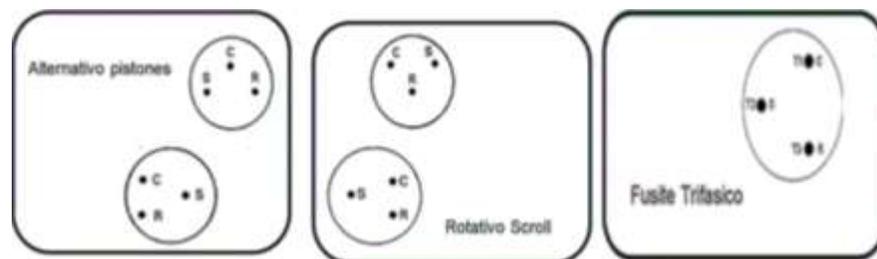
Figura 13. Sellos de vidrio a metal (gtms) o fusite



Fuente: EMERSON, Climate, Sellos de vidrio a metal. <https://climate.emerson.com/es-es/brands/fusite>. Consulta: noviembre 2019.

La industria de la refrigeración ha establecido reglas para evitar confusiones en las terminales común, arranque o marcha para que siempre se identifiquen en ese orden, “similar a la forma como leemos un libro, de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo, las terminales son siempre C, S, R. La identificación está estampada en la carcasa del compresor o en la cubierta de caja bornera”<sup>38</sup>.

Figura 14. Disposición de terminales fusite en compresores herméticos monofásicos y trifásicos



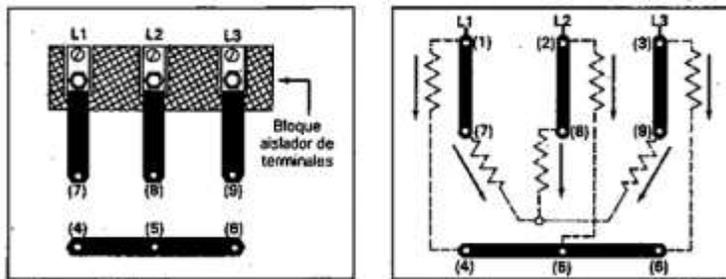
Fuente: COPELAND, Boletín de ingeniería de aplicación AE-1629-R2, *Conexiones de las terminales del motor copelaweld*.

<sup>38</sup> COPELAND, BOLETIN DE INGENIERIA DE APLICACIÓN AE-1029-R2. *Conexiones de las terminales del motor copelaweld*. U.S.A. Sidney, Ohio: 1991. p.1.

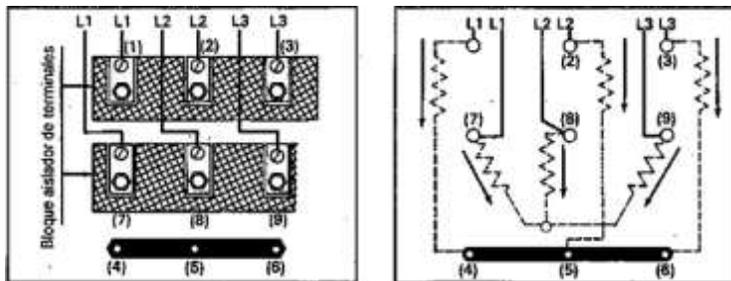
Los compresores trifásicos semi herméticos incluyen dos devanados trifásicos separados para dar flexibilidad a los métodos de arranque y a voltajes de operación, los compresores vienen provistos de un kit que incluye pletinas, barras, aisladores, terminales, extensiones, entre otros.

Los compresores con nueve terminales, cuentan con un primer devanado conectado a las terminales No. 7,8,9, internamente está conectada en estrella, en el segundo devanado las terminales están conectadas entre sí en los extremos 1, 2, 3 y 4, 5, 6 en paralelo, para aplicaciones de 230 Voltios/60Hz o 200 voltios/50 Hz, estos bobinados son conectados en serie cuando se usa en voltaje 460Voltios a 60 Hz<sup>39</sup>.

Figura 15. **Compresores trifásicos de 9 terminales**



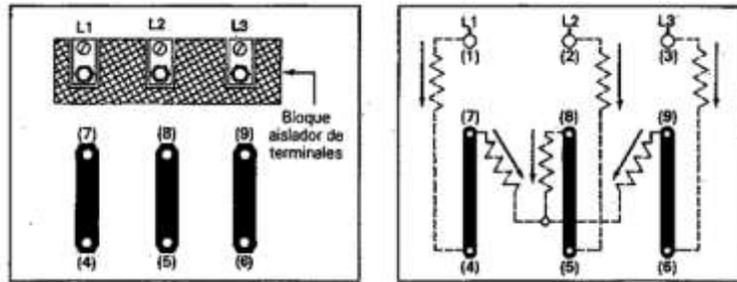
Conexión para 208-230V/60Hz/3ph o 200 V/60Hz/3ph, para arrancar a tensión plena con un solo contactor y 3 líneas, instale el Bloque aislador de terminales, las zapatas y los puentes como se indica, conecte las líneas de suministro a las terminales 1,2 y 3



Conexiones para 208-230V/60Hz/3ph o 200V/50Hz/3ph, para dos contactores, devanado parcial o circuito de contactor sencillo con seis líneas de alimentación.

<sup>39</sup> COPELAND, BOLETIN DE INGENIERIA DE APLICACIÓN AE-1076-R12. Conexiones de la placa de terminales para compresores de devanado bipartido. U.S.A. Sidney, Ohio: 1994. 01 p.2

Continuación de figura 15.

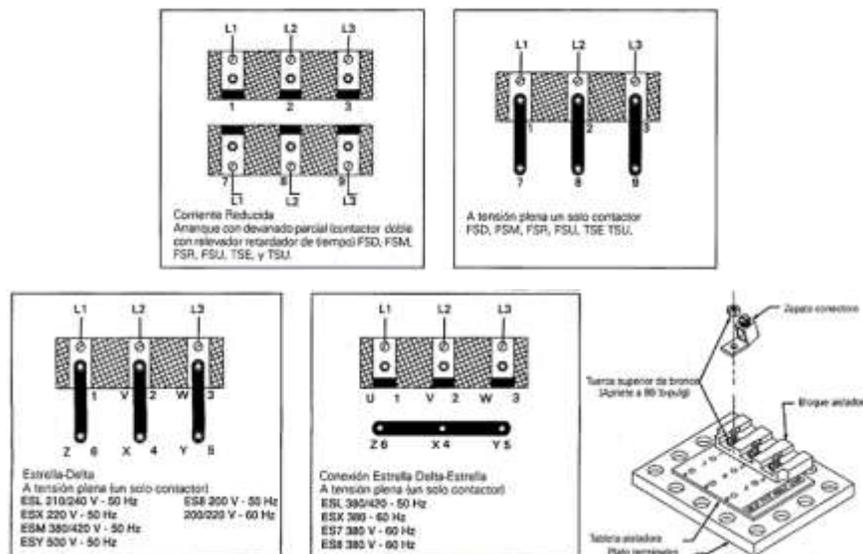


Conexiones para 460V/60Hz/3ph, o 380 V/50Hz/3ph, para arrancar a tensión plena, instale el bloque aislador de terminales y los puentes como se indica.  
 Conecte las líneas de alimentación a las terminales 1,2 y 3

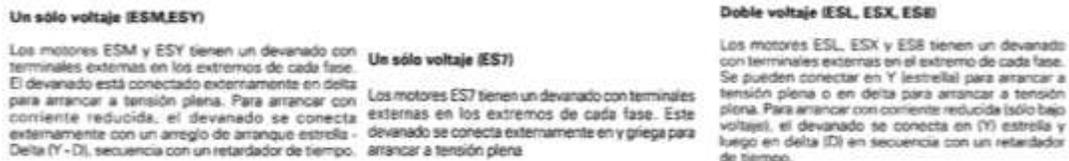
Fuente: COPELAND, Boletín de ingeniería de aplicación AE-1076-R12. *Conexiones de la placa de terminales para compresores de devanado bipartido.* p. 02

Los compresores para aplicaciones de un solo voltaje vienen provistos de seis terminales, cuentan internamente con dos devanados separados conectados en Y (estrella). Los dos devanados se pueden conectar externamente para arranques a tensión plena o a devanado parcial.

Figura 16. **Compresores trifásicos de 6 terminales**



Continuación de figura 16.



Fuente: COPELAND, Boletín de ingeniería de aplicación AE-1076-R12. *Conexiones de la placa de terminales para compresores de devanado bipartido*. p. 03 y 04.

## 4.8. Prevención de fallas eléctricas y diagnóstico de compresores

Las fallas en compresores de los sistemas de refrigeración o aire acondicionado se clasifican en Mecánicas y Eléctricas, la Asociación de Investigaciones Eléctricas del Reino Unido demostró que:

La causa común de las fallas en motores eléctricos es debido a sobrecargas 30 %, por contaminación 18 %, por pérdida de una sola fase 15 %, por desgaste de rodamientos 2 %, desgaste natural 10 %, por falla en el rotor 5 % y otras fallas el 20 %<sup>40</sup>.

El origen es por desbalance de voltaje entre fases, mala selección de contactores o ciclos cortos de arranque-paro.

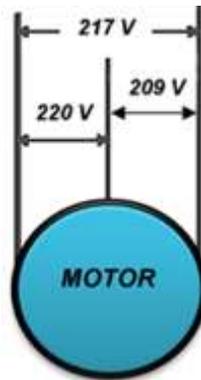
### 4.8.1. Fallas por desbalance de voltaje entre fases

El desbalance de voltaje entre fases es la diferencia existente entre los voltajes aplicados a los tres devanados del motor trifásico, tomando en cuenta que la resistencia de los tres es la misma, aplicar voltajes diferentes puede hacer que los devanados se sobrecalienten. Para comprender el desbalance de voltaje entre fases se analizará el esquema de medición de voltajes abajo. El voltaje nominal de fases es de 220 V. el primer paso es determinar el valor del voltaje

<sup>40</sup> BOHN. Boletín 30 Tips sobre la protección eléctrica de motores en equipos HVAC. México: 2008. p.3.

promedio y luego la desviación máxima la cual es la diferencia máxima respecto del valor medio.

Figura 17. Esquema de medición de voltajes



Fuente: elaboración propia. usando Microsoft Word

$$V_{promedio} = \frac{217 + 209 + 226}{3} = 217 \text{ Voltios}$$

$$Vd = 217 - 217 = 0, \quad Vd = 217 - 209 = 8, \quad Vd = 220 - 217 = 3$$

$$Desviacion\ Maxima = 217\ V - 209\ V = 8\ Voltios$$

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), en sus motores y generadores, Normas MG1 parte 14,36, define la tensión de desequilibrio de la siguiente manera:

$$\% \text{ de desbalance de tension} = 100 \frac{Desviacion\ Maxima}{V\ promedio}$$

La publicación de normas NEMA MG1 Sección 12.45 establece que los motores polifásicos operarán con éxito bajo condiciones de funcionamiento a carga nominal cuando el desequilibrio de voltaje en los terminales del motor no supere el 1 %<sup>41</sup>.

Para este caso de análisis

$$\% \text{ de desbalance de tension} = 100 \times \frac{8}{217} = 3.68 \%$$

<sup>41</sup> NEMA MG1-2009, Motors and Generators.USA.2009

El principal problema de desbalance en motores eléctricos en marcha es el incremento de temperatura, debido a las corrientes de secuencia negativa en sus devanados. Estas producen un campo electromagnético contrario al que impulsa el giro del motor, provocando una pérdida de potencia en el motor, convirtiéndose en más calor para los devanados.

El aumento del calor deteriora acumulativamente los devanados del motor lo que disminuye su vida útil. El porcentaje de sobrecalentamiento será:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de Incremento de la Temperatura Estimado en una fase, según NEMA} \\ & = 2 X (3.68\%)^2 = 24.87 \% \approx 25\% \end{aligned}$$

El protector de sobrecarga abre los tres circuitos internos del motor, en ocasiones los daños se producen antes de que las protecciones puedan actuar. Se recomienda utilizar monitores de fase para lograr una protección más precisa en los motores trifásicos o utilizar guarda motores.

#### **4.8.2. Falla por contactor dañado o mala selección de contactor**

El contactor será discutido ampliamente en el capítulo 6, aquí serán explicados los factores a tomar en cuenta para la determinación de fallas que puede generar en un motocompresor.

En ocasiones, los contactos principales del contactor se quedan pegados o soldados por arranque continuo debido al calentamiento por el paso de corriente o arco eléctrico, un contacto está pegado cuando es posible separarlo con herramientas sencillas sin dañarlo o deformarlo, se dice que un contacto esta

soldado cuando solo es posible separarlo mediante herramientas de corte produciendo daño irreversible.

Tabla XVII. **Causas que producen daños en contactores**

<b>ITEM</b>	<b>CAUSA</b>
1	Cortocircuito en línea que alimenta el contactor.
2	Voltaje de alimentación inestable (alto o bajo)
3	Tiempo de conmutación reducida
4	Suciedad en el entrehierro del contactor
5	Fin de vida útil eléctrica.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Es recomendable realizar en los mantenimientos preventivos el reapriete de terminales, cableado, revisar los platinos del contactor, utilizar limpia contactos para eliminar el carbón que generan los arcos eléctricos, nunca lijarlos porque provoca que el aislante del aluminio del platino se quede pegado, si los platinos son separados pueden seguir siendo utilizados, si un platino o contacto se encontró soldado, el origen de la falla debe ser analizada, posteriormente el contactor debe ser reemplazado.

Una mala selección en un contactor de recambio puede generar fallas en el motocompresor, en ocasiones resulta que no se cuenta con los datos del contactor, debido a que ya no cuenta con su etiqueta o placa de fabricación.

Tabla XVIII. **Parámetros por considerar para selección del contactor**

ITEM	PARÁMETROS
1	Número de polos (motores trifásicos 3 polos, motores monofásicos 2 polos y algunos monofásicos 1 polo para voltaje 120 V)
2	Amperaje nominal de funcionamiento del contactor, este debe ser igual o mayor al valor indicado en placa del compresor del FLA o RLA
3	Amperaje inductivo, los contactores tienen dos valores de corriente, amperios resistivos y amperios inductivos, utilice el valor de amperios inductivos algunos no lo traen indicado en su placa, pedir hoja de especificaciones.
4	Voltaje nominal, el voltaje debe ser como mínimo igual al de las líneas de carga
5	Voltaje nominal de la línea de la bobina de control (24 Vac, 120 Vac o 240 Vac)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

#### **4.8.3. Falla por ciclos cortos de arranque y paro en los motocompresores**

Regularmente las fallas por corto ciclajes es indicador de presión inestable, esto es común en sistemas de refrigeración condensados por aire. Estos ciclos cortos de arranque-paro provocan daños en los motocompresores por las elevadas corrientes de arranque que sufren los bobinados y el desgaste de las piezas mecánicas debido a la carga de refrigerante.

Las causas de estos ciclajes de arranque-paro tienen muchos orígenes que a continuación se indican en la tabla:

Tabla XIX. **Origen de ciclos cortos de arranque y paro**

ITEM	ORIGEN
1	Suciedad en el serpentín del condensador, esto evita que circule libremente el aire y eleva la presión
2	Ecuilibración de presión de refrigerante en el arranque del condensador, si el volumen de refrigerante en el sistema es grande necesitará un periodo de tiempo para estabilizar la carga de refrigerante a condiciones ambiente
3	Exceso de carga de refrigerante, si el equipo fue cargado con mucho refrigerante los presostatos entran a operar por alta presión
4	Daño en el termostato, cuando la medición de la temperatura en el ambiente es errónea mandará a arrancar o a parar el equipo en repetidas ocasiones
5	Contactador dañado, el contactor puede tener daño en la bobina que cierra los contactos y provoca cortociclos

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Para evitar cortociclos debe revisarse la presión del refrigerante que esté acorde a las propiedades del refrigerante o aplicación, hacer limpieza a fondo del serpentín del condensador, evitar que esté obstruido, revisar termostatos para control de temperatura asegurarse de su funcionamiento, revisar contactores.

Existen dispositivos que protegen a los motores de corto ciclos como retardadores de tiempo, que cumplen la función de controlar el retardo de arranque del compresor para evitar la entrada inmediatamente luego de haberse apagado.

Los retardadores están provistos de un selector o perilla de tiempo de acuerdo a la necesidad de cada caso, varían de 0 a 10 minutos otros vienen con rangos más extendidos, todo depende del precio, marca o modelo que se selecciona.

Figura 18. Retardador de tiempo (*time-delay*)



Fuente: TIME DELAYS

[www.qequality.com/categories/200/TIME\\_DELAYS/products/168/TIME\\_DELAYS.aspx](http://www.qequality.com/categories/200/TIME_DELAYS/products/168/TIME_DELAYS.aspx).

Consulta: noviembre 2019

## **5. SISTEMAS DE DESCONGELAMIENTO Y CONTROLES DE TEMPERATURA**

### **5.1. Sistemas de descongelación**

El ciclo de descongelación en refrigeración, tanto comercial como industrial, está dividido en rangos de temperatura media o de temperatura baja, lo que hace distinta la forma en la que se realiza el deshielo y los componentes que se utilizan para esta aplicación.

Cualquier evaporador que funcione por debajo de 0 °C (32 °F), necesitará de algún método para descongelación. Esto también aplica para sistemas comerciales cuando los productos deben almacenarse por encima de 0 °C. Cuando la temperatura sobre la superficie de las aletas y tubería del serpentín cae por debajo de la congelación forma una pequeña capa de escarcha. Debido a la acumulación de escarcha puede formarse un bloque de hielo que evita el libre flujo de aire del ventilador o bloquea la hélice dañándola.

Para evitar los bloqueos por escarcha, el espacio entre aletas es importante, por ello los evaporadores son fabricados de acuerdo a su aplicación, a más baja temperatura más espacio debe existir entre aletas, las separaciones para aletas están estandarizadas en la industria como sigue:

- Evaporadores de baja temperatura 4 a 6 aletas por pulgada
- Evaporadores de temperatura media y alta 6 a 10 aletas por pulgada
- Evaporador de aire acondicionado 12 a 15 aletas por pulgada

Al separar las aletas deberá mantenerse la relación de transferencia de calor, eso solo es posible con un evaporador más grande, por lo tanto, hay que minimizar la escarcha para reducir el espacio entre aletas y su tamaño, obteniendo un evaporador más económico. Descongelar la escarcha de la superficie del evaporador logrará este objetivo, para ello existen tres sistemas de descongelación: fuera de ciclo (o periodo de inactividad), programada por calor (resistencia eléctrica o por gas caliente).

## **5.2. Tipos de temporizadores de deshielo**

Para permitir la descongelación en evaporadores, es necesario detener el funcionamiento del compresor durante cierto periodo de tiempo. Para garantizar que esto sea posible en el momento justo, de forma adecuada, se utilizan dispositivos de control llamados temporizadores de descongelamiento, para la apertura o cierre de circuitos a intervalos de tiempo predeterminados.

Los dispositivos de control temporizado son llamados relojes de deshielo porque el método más popular de equipos de descongelamiento funciona por tiempo o intervalos, pueden ser electromecánicos o electrónicos. Los intervalos se clasifican de acuerdo al tipo de circuito de control de descongelación como:

- Inicio por tiempo – terminación por tiempo
- Inicio por tiempo – terminación por temperatura
- Inicio por tiempo – terminación por presión

Normalmente en los circuitos de terminación por presión o por temperatura se fija una finalización de respaldo llamada tiempo límite del ciclo de descongelación, si por cualquier razón se prolongara anormalmente.

Tabla XX. Tipos de temporizadores de deshielo

ESTÁNDAR	TEMPORIZADOR ELECTRÓNICO	TEMPORIZADOR ELECTROMECAÁNICO
Ciclo de vida	30 000 Ciclos	6 000 Ciclos
Eventos por día	12 por día	4 por día
Ambiente de instalación	-30 °F a 130 °F (-34 °C a 54 °C)	Temperatura ambiente
Requisitos de carga	Carga máxima permitida por contactos (30 A)	No requiere carga
FIGURA		
	Fuente: PARAGON, Manual temporizador mecánico de descongelamiento serie 9145 p.01	Fuente: PARAGON, Manual temporizador mecánico de descongelamiento serie 8000 p.01

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

Otras ventajas de los temporizadores electrónicos sobre los electromecánicos es que no requiere de clavijas o tornillos que ajustar para la selección de inicio de deshielos, tiene un botón de descongelamiento manual perfecto para mantenimiento del sistema.

### 5.3. Tipos de descongelación

Existen tres tipos de descongelación:

- Descongelación fuera de ciclo o Aleatoria
- Descongelación programada (periodo de inactividad programado)
- Descongelación por calor interno o externo (Gas caliente / Resistencia eléctrica)

### 5.3.1. Descongelación fuera de ciclo o aleatoria

Este método se realiza a través de ventilación. “Por lo general el deshielo del serpentín se consigue por medio de aire (para cámaras arriba de 2.2°C), para temperaturas menores se aplicarán otros medios de descongelación”.<sup>42</sup>

Tabla XXI. **Recomendación de tipos de deshielos**

Recomendación de tipos de deshielo en base a la temperatura de la cámara				
Temperatura	Deshielo aire	Deshielo agua	Deshielo eléctrico	Deshielo gas caliente
Temperatura ALTA > 4.4°C (40°F)	Sí	No	No	No
Temperatura MEDIA > -6.7°C (20°F) < 4.4°C (40°F)	No	Sí	Sí	Sí
Temperatura BAJA > - 6.7°C (20°F)	No	Sí	Sí	Sí
Temperatura MUY BAJA > - 40°C (-40°F)	No	No	Sí	Sí

Fuente: GÜNTNER, Manual de instalación y operación evaporadores, Enfriadores de Aire.  
[http://www.guntner.us/fileadmin/literature/america/evaporators\\_air\\_coolers/Evaporators\\_and\\_Air\\_Coolers\\_IOM\\_V1.1\\_SPA\\_07.2015-web.pdf](http://www.guntner.us/fileadmin/literature/america/evaporators_air_coolers/Evaporators_and_Air_Coolers_IOM_V1.1_SPA_07.2015-web.pdf)

Consulta: diciembre 2019.

La descongelación fuera de ciclo puede realizarse únicamente cuando el sistema tenga la suficiente capacidad de refrigeración de reserva, entonces será apagado por lapsos de tiempo por el termostato, el aire en el interior del refrigerador puede descongelar el hielo del serpentín.

Cuando el compresor se encuentra apagado por que la temperatura en cámara se alcanzó, los ventiladores del evaporador continuarán operando, el aire en el interior de la cámara descongelará el hielo del serpentín, a este proceso de descongelación se le llama también deshielo por ventilación. Si el sistema de

<sup>42</sup> GÜNTNER. *Manual de instalación y operación evaporadores, Enfriadores de Aire.* México: 2015. p.17

refrigeración no cuenta con la capacidad suficiente o la cámara refrigerada tiene una carga constante será necesario realizar una descongelación programada.

### **5.3.2. Descongelación programada**

El descongelamiento programado se obtiene cuando se obliga al compresor a apagarse por períodos de tiempo pequeños, para que el aire en la cámara pueda descongelar el hielo del serpentín. Un temporizador que se puede programar detiene el compresor durante los momentos en que la cámara refrigerada tiene la menor cantidad de carga. Por ejemplo, una cámara refrigerada de restaurante puede descongelarse a las 2 a.m. y a las 2 p.m. evitando las horas pico. Es recomendable consultar siempre con el fabricante de la cámara para conocer los intervalos, además de la duración de cada período de deshielo.

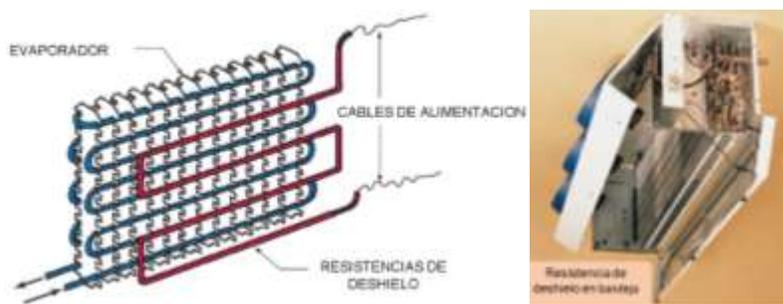
### **5.3.3. Descongelación por calor externo (resistencia eléctrica)**

Este método, como su nombre lo indica, se realiza por medio de elementos de calefacción eléctricos (figura 19), que son instalados por el fabricante junto al serpentín del evaporador. Este medio de descongelación también es un método de descongelación planificada, controlado por temporizador. El método de deshielo por resistencia es menos eficiente que el deshielo por gas, porque tiene un mayor costo de energía para la descongelación, sin embargo, el deshielo eléctrico es el método mayormente utilizado por el bajo costo de inversión inicial en comparación del deshielo por gas caliente.

El proceso de descongelación eléctrica tiene la siguiente secuencia:

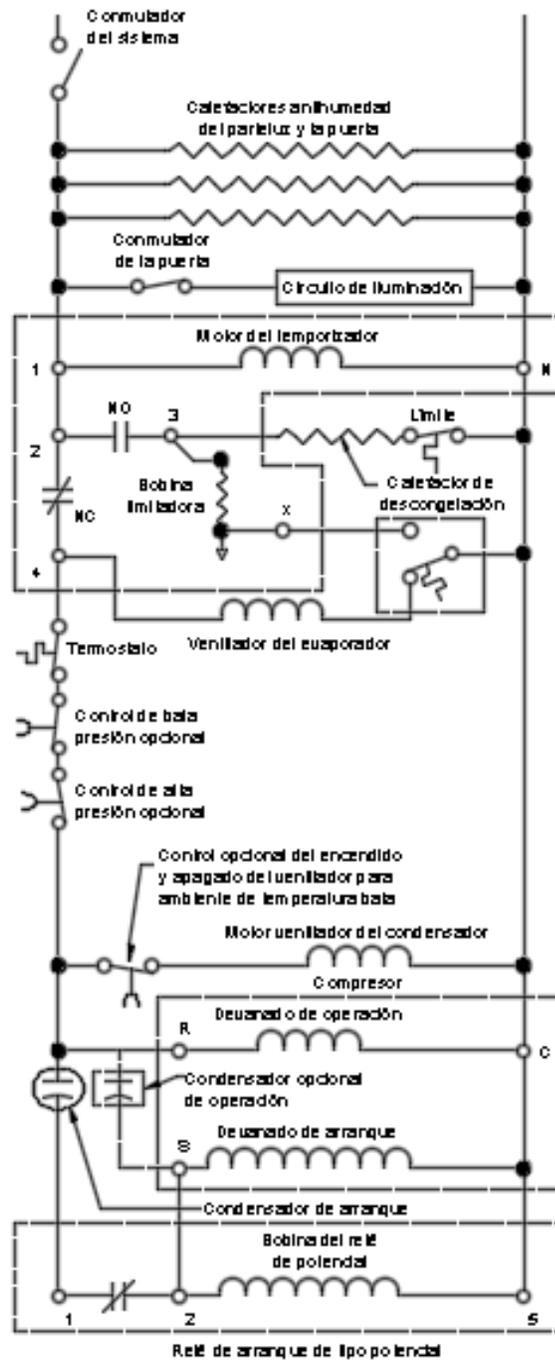
- Se cierra la válvula solenoide en la tubería de refrigerante líquido, lo que causa que el evaporador sea evacuado
- El ciclo de refrigeración se detiene por baja presión
- Se detienen los ventiladores del evaporador
- El compresor también detiene su marcha
- Se activan las resistencias
- Cuando el serpentín se encuentre por arriba del punto de congelación, deberá programarse un tiempo máximo de descongelación en el temporizador para cuando el switch de fin de descongelación (límite) no logre detener esta
- Después de que se ha deshielado el evaporador, las resistencias se desenergizan
- El sistema entra en operación

Figura 19. Descongelación por resistencias



Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology 6th Edition*. p. 418, 571.

Figura 20. Diagrama de conexión timer electromecánico



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD versión estudiantil.

## 5.4. Fallas comunes en sistemas de deshielo

Un plan de mantenimiento aceptable debe incluir como mínimo una revisión al mes (o más de ser necesario), con el fin de contar con un sistema de deshielo funcional, la escarcha puede variar en tipo/cantidad. Esto depende de la temperatura en cámara, producto a almacenar, frecuencia de almacenaje, tiempo de aperturas de puerta para ingreso-salida, requerirá de algunos cambios en cuanto a número de ciclos de deshielo o duración del deshielo.

Tabla XXII. Posibles fallas del evaporador y sistema de deshielo

PROBLEMA	CAUSAS POSIBLES	MEDIDAS CORRECTIVAS POSIBLES
El o los Ventiladores no funcionan.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interruptor principal abierto.</li> <li>2. Fusibles fundidos.</li> <li>3. Motor defectuoso.</li> <li>4. Reloj o termostato de deshielo defectuoso.</li> <li>5. Está deshielando el evaporador.</li> <li>6. El serpentín no se enfría lo suficiente para restablecer el termostato.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cierre el interruptor.</li> <li>2. Reemplace los fusibles. Revise si hay algún corto circuito o condiciones de sobrecarga.</li> <li>3. Reemplace el motor.</li> <li>4. Reemplace el componente defectuoso.</li> <li>5. Espere a que se complete el ciclo.</li> <li>6. Ajuste el termostato del retardador del ventilador, vea la sección del termostato de deshielo en este boletín.</li> </ol>
Temperatura de Cuarto Demasiado Alta.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibración demasiado alta del termostato de cuarto.</li> <li>2. Sobrecalentamiento demasiado alto.</li> <li>3. Sistema bajo de refrigerante.</li> <li>4. Serpentin bloqueado o escarchado.</li> <li>5. Evaporador colocado muy próximo a la puerta.</li> <li>6. Infiltración de aire en grado extremo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ajuste el termostato.</li> <li>2. Ajuste la válvula de expansión termostática.</li> <li>3. Agregue refrigerante.</li> <li>4. Deshiele el serpentín manualmente. Revise que los controles de deshielo funcionen correctamente.</li> <li>5. Reubique el evaporador o agregue una cortina de aire en la entrada de la puerta.</li> <li>6. Sellar todos los posibles puntos donde el aire se infiltra en el cuarto.</li> </ol>
Acumulación de hielo en el techo, alrededor del evaporador y/o guardas del ventilador, venturi y hojas del ventilador.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Duración de deshielo demasiado largo.</li> <li>2. El retardador del ventilador no retarda los ventiladores después del periodo de deshielo.</li> <li>3. Reloj o termostato de deshielo defectuoso.</li> <li>4. Demasiados deshielos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ajuste el termostato de terminación de deshielo.</li> <li>2. Termostato de deshielo defectuoso o mal ajustado.</li> <li>3. Reemplace el componente defectuoso.</li> <li>4. Reduzca el número de deshielos.</li> </ol>
Serpentin escarchado o bloqueado durante el ciclo de deshielo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La temperatura del serpentín no alcanza una temperatura superior al punto de congelación durante el deshielo.</li> <li>2. Insuficientes ciclos de deshielo por día.</li> <li>3. Ciclo de deshielo demasiado corto.</li> <li>4. Reloj o termostato de deshielo defectuoso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revise el funcionamiento de la resistencia.</li> <li>2. Ajuste el reloj para más ciclos de deshielo.</li> <li>3. Ajuste el termostato de deshielo o reloj para ciclos más largos.</li> <li>4. Reemplace el componente defectuoso.</li> </ol>
Acumulación de hielo en la charola de drenado.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resistencia Defectuosa.</li> <li>2. Inadecuada inclinación de la unidad.</li> <li>3. Línea de drenado tapada.</li> <li>4. Resistencia de la línea de drenado defectuosa.</li> <li>5. Reloj o termostato defectuoso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reemplace la resistencia.</li> <li>2. Revise y ajuste si es necesario.</li> <li>3. Limpie la línea de drenado.</li> <li>4. Reemplace la resistencia.</li> <li>5. Reemplace el componente defectuoso.</li> </ol>
Congelación del Serpentin inesperada.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resistencia defectuosa.</li> <li>2. Localización del evap. muy próxima a la puerta o a la entrada.</li> <li>3. Ajuste del deshielo bajo del tiempo de terminación del deshielo.</li> <li>4. No tiene la espesa del distribuidor ó no es la correcta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambie la resistencia.</li> <li>2. Reubique el evaporador.</li> <li>3. Suba más alto el ajuste del control de terminación del deshielo.</li> <li>4. Agregue la espesa ó reemplazela por la del orificio adecuado para las condiciones.</li> </ol>

Fuente: Instalación del Sistema de Refrigeración

<http://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT-020-H-IM-64-APM-Manual-de-instalacion-equipos-BOHN.pdf>

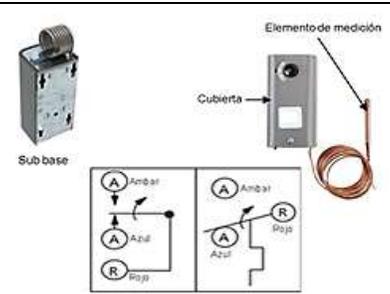
Consulta: diciembre 2019

## 5.5. Termostatos

Existen muchas razones para controlar la temperatura en un sistema de refrigeración o aire acondicionado. Esto es posible realizarlo por medio de un dispositivo de control llamado termostato, que su función simple es la de abrir o cerrar un circuito eléctrico en función de la temperatura.

Termostatos existen en varios tamaños, características de construcción o forma en la que actúan, de acuerdo a esto se pueden dividir en: manual y automático, en este trabajo de graduación solo se analizarán los automáticos.

Tabla XXIII. **Termostatos de refrigeración**

TERMOSTATO	TIPO	CARACTERÍSTICAS	FIGURA
REFRIGERACIÓN	ELECTROMECÁNICO	<p>Termostato automático análogo, robusto</p> <p>Utilizan la tensión de red</p> <p>Circuito de conmutación robusto</p> <p>Contactos de plata que reducen la resistencia</p> <p>Bulbo de medición</p> <p>Punto de instalación atrás del evaporador de refrigeración</p>	 <p>Fuente: JOHNSON CONTROLS A19 Series p R19  <a href="http://www.johnsoncontrols.com/es_mx/-/media/ci/be/united-states/refrigeration/commercial-refrigeration/be_cat_publ5510.pdf">www.johnsoncontrols.com/es_mx/-/media/ci/be/united-states/refrigeration/commercial-refrigeration/be_cat_publ5510.pdf</a>.            Consulta: diciembre 2019.</p>
REFRIGERACIÓN	ELECTRÓNICO	<p>Termostato automático Digital, cubierta plástica</p> <p>Utilizan la tensión de red</p> <p>Circuito de conmutación electrónico</p> <p>Display de lectura de temperatura</p> <p>Bulbo de medición por termistor</p> <p>Mayor sensibilidad y precisión</p> <p>Punto de instalación remota y termistor atrás del evaporador de refrigeración</p>	 <p>Fuente: JOHNSON-CONTROLS Control electrónico de temperatura A421.  <a href="http://www.johnsoncontrols.com/-/media/ci/be/united-states/refrigeration/commercial-refrigeration/files/be_cat_penn_sselectronictempcontrols.pdf">www.johnsoncontrols.com/-/media/ci/be/united-states/refrigeration/commercial-refrigeration/files/be_cat_penn_sselectronictempcontrols.pdf</a>            consulta: diciembre 2019</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXIV. Termostatos para aire acondicionado

TERMOSTATO	TIPO	CARACTERÍSTICAS	FIGURA
AIRE ACONDICIONADO	ELECTROMECÁNICO	<p>Termostato automático análogo, regulador de temperatura de baja tensión</p> <p>Rango de corriente <math>\leq 2</math> A. Circuito de conmutación espiral con pequeños alambres y ampolleta</p> <p>Elemento de medición ampolleta de gas inerte con una gota de mercurio</p> <p>Contactos de cierre con mercurio de la ampolleta</p> <p>Punto de instalación en la pared, cercano a rejilla de retorno del aire acondicionado</p>	<p>Fuente: Quality, Termostatos analógicos A/C  <a href="http://www.zequality.com/categories/173/THERMOSTATS/products/114/AC_ANALOG_THERMOSTATS.aspx">http://www.zequality.com/categories/173/THERMOSTATS/products/114/AC_ANALOG_THERMOSTATS.aspx</a>                      Consulta: diciembre de 2019</p>
AIRE ACONDICIONADO	ELECTRÓNICO	<p>Termostato automático Digital, regulador de temperatura de baja tensión</p> <p>Rango de corriente <math>\leq 2</math> A. No cuenta con partes móviles</p> <p>Programable</p> <p>Pantalla Touch con iluminación</p> <p>Mide temperatura ambiente</p> <p>Punto de instalación en la rejilla de retorno del aire acondicionado</p>	<p>Fuente: elaboración propia, noviembre 2019, empleando Microsoft Paint</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Los termostatos para aire acondicionado tienen unos selectores para ajuste, que se describen a continuación: FAN tiene dos posiciones ON/AUTO, la posición ON tendrá encendido en todo momento el ventilador de la unidad evaporadora, mientras que la posición AUTO, encenderá el ventilador únicamente cuando el sistema de refrigeración esté en funcionamiento, el selector SYSTEM (Sistema) tiene dos o tres opciones OFF/COOL o HEAT/OFF/COOL. En el caso que tenga dos posiciones, será para equipos de solo FRIO, en la posición COOL arrancará el sistema de refrigeración, la posición OFF lo apagará, los termostatos con tres posiciones se utilizan para equipos que tengan la modalidad de FRIO-CALOR cuando está en la posición HEAT funcionará la calefacción, cuando está en la posición COOL funcionará la

refrigeración, mientras que la posición OFF apagará el sistema, la palanca de temperatura, sirve para posicionar la temperatura a la que necesitamos enfriar el ambiente, en la carátula del termostato se pueden visualizar dos indicadores de aguja, uno para selección de temperatura deseada, la otra indica la temperatura en el ambiente.

En las conexiones de control que se indican en la tabla XXIV, el punto R se conecta con una de las terminales de salida del transformador de 24 voltios, el punto Y se conecta la bobina del contactor del condensador que incluye el compresor, ventilador del condensador, por último el punto G se conecta con la bobina del contactor o relé del ventilador del evaporador, en el punto Y se pueden conectar en serie accesorios de protección como un temporizador para evitar corto-ciclajes, presostatos de alta o baja presión.

El termostato electrónico cuenta también con las opciones *FAN*, *SYSTEM*, Selector de TEMPERATURA, además de programación horaria, diaria y semanal, protección contra corto-ciclajes, estado del filtro de aire, reloj, el acceso a estos selectores es a través de botones para algunos modelos sencillos, los hay más sofisticados con pantalla de tacto (*touch-screen*) para hacer los ajustes, las terminales de conexión son similares a los controles electromecánicos como se indica en la tabla XXIV.



## 6. COMPONENTES ELECTRICOS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y POTENCIA

### 6.1. Componentes eléctricos de protección

Todos los circuitos eléctricos de acuerdo al NEC “deben tener algún medio de protección por medio de un dispositivo de seguridad”<sup>43</sup>, regularmente un fusible o un cortacircuitos (dependiendo de la región puede recibir varios nombres como *circuit breaker*, *Breaker* o disyuntor, en Guatemala *Flip-On*), estos dispositivos tienen la función de proteger contra sobre corriente. Ambos medios de protección son fabricados en varias formas y tamaños, están diseñados para interrumpir el flujo de corriente cuando es excedido el límite de seguridad.

Los fusibles y cortacircuitos deben ser capaces de interrumpir la sobre corriente excesiva generada por un cortocircuito, hay que considerar que, como todo dispositivo, tiene un límite de interrupción, más allá no podrá realizar su función como es cortar el flujo de corriente de cortocircuito. Este límite es llamado AIC que significa Capacidad Interruptiva en Amperes. La AIC es mucho mayor que la capacidad de corriente de carga de un dispositivo de protección.

#### 6.1.1. Fusibles

Un fusible es el dispositivo más simple de protección contra sobre corriente y sobrecalentamiento. Los fusibles en su mayoría cuentan con una tira de lámina

---

<sup>43</sup> NEC, NATIONAL ELECTRICAL CODE. Handbook. Massachusetts: 2011.

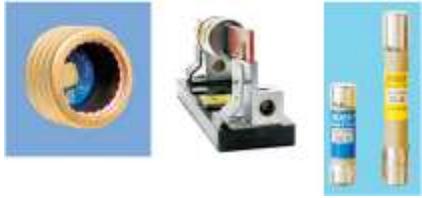
metálica que tiene una resistencia más alta que la de los conductores del circuito que protegen, esta lámina recibe el nombre de elemento fusible.

Los fusibles para protección de motores son de acción retardada, se dimensionan de acuerdo a FLA del motor. La información de FLA se encuentra en la placa de datos del motor, se selecciona un fusible de acción retardada con una clasificación de un 25 % mayor que FLA del motor.

$$I_{fusible} = FLA \times 125\%$$

un motor con un FLA de 12 A. debe usar un fusible de 15 A.

Tabla XXV. **Parámetros de selección de fusibles**

ELEMENTO DE PROTECCIÓN	TIPO DE PROTECCIÓN	PARÁMETROS DE SELECCIÓN	FIGURA
FUSIBLE	SOBRECORRIENTE  SOBRECALENTAMIENTO	<p>Según (NEC, 2011) Los fusibles deben estar marcados por impresión o etiqueta en el cuerpo indicando lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clasificación en Amperios</li> <li>2. Voltaje Nominal</li> <li>3. Clasificación de interrupción diferente a 10,000 A</li> <li>4. Limitación de corriente cuando corresponda</li> <li>5. Nombre o marca comercial de fabricante</li> </ol>	<p>TIPOS DE FUSIBLES: BASE EDISON, CARTUCHO CON FERULA, CARTUCHO SIN FERULA</p>  <p>Fuente: NEC, <i>National Electrical Code Handbook</i> 2,011. pp. 201, 202, 628</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

### 6.1.2. Cortacircuitos

Un cortacircuito puede cumplir con dos funciones: una es como conmutador, otra como un medio para abrir un circuito cuando ocurre una sobrecarga de corriente.

Tabla XXVI. **Parámetros de selección de cortacircuitos de 1, 2 y 3 polos**

ELEMENTO DE PROTECCIÓN	TIPO DE PROTECCIÓN	PARÁMETROS DE SELECCIÓN	FIGURA
CORTACIRCUITOS	SOBRECORRIENTE SOBRECALENTAMIENTO	Según (NEC, 2011) Los cortacircuitos deben estar especificados de acuerdo a  1. Clasificación en Amperios 2. Voltaje Nominal de operación 3. Clasificación de interrupción $\geq 10,000$ A 4. Limitación de corriente cuando corresponda 5. Nombre o marca comercial de fabricante	 <p>Fuente: KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS 3rd. p. 425</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

### 6.1.2.1. **Parámetros para selección de cortacircuitos para motocompresores**

De acuerdo al NEC:

Artículo 210, sección 210.20 A, Cargas continuas y no continuas, establece que:

Cargas Continuas:

La carga continua no deberá exceder el 80 % del rango del interruptor, para una carga continua de 100A deberá tener un cortacircuitos de 125A nominales.

Cargas Continuas y No Continuas: Cuando un cortacircuitos suministre a ambos tipos de cargas, tanto el interruptor como los conductores deberán tener la capacidad de soportar la suma de carga no continua, más la carga continua, más el 25 % de la carga continua.

Protección de circuitos para motores: El cortacircuitos deberá tener un rango continuo no menor al 115 % de la corriente a plena carga del motor. El interruptor deberá ser capaz de conducir la corriente de arranque del motor.

Artículo 440.22 Ajuste de protección para Motocompresores individuales:

Es permitido usar un dispositivo de protección que su corriente nominal no exceda el 175 % de la corriente nominal con carga del motocompresor, o la corriente seleccionada del circuito ramal, según cual sea mayor, con la condición de que cuando la protección especificada no sea suficiente para la corriente de arranque del

motor se podrá aumentar la corriente nominal o de disparo, pero que no exceda el 225 % de la corriente nominal con carga.<sup>44</sup>

*Capacidad del breaker para motocompresores = 2.25 (RLA) + FLA*

### 6.1.3. Monitores de voltaje

Su principal función es proteger ante la ausencia o inversión de fase de fluctuaciones de voltaje (bajo o alto), desbalance de fases. Es indispensable en equipos con costo de inversión significativo, evitará daños costosos en reparaciones o sustitución de equipos, pérdidas cuantiosas en productos almacenados en cuartos refrigerados o líneas de producción.

Los parámetros para su selección son únicamente el valor de voltaje de operación y el número de fases.

Figura 21. Monitor de voltaje trifásico



Fuente: Monitor digital trifásico de voltaje, <http://media.diversitech.com/doc/DOC00093.pdf>  
Consulta diciembre 2019.

<sup>44</sup> NEC, NATIONAL ELECTRICAL CODE. Handbook. Massachusetts: 2011.

## 6.2. Componentes eléctricos de control

Estos dispositivos se utilizan para operar una serie de dispositivos de diversas aplicaciones, dentro de las que se incluyen apertura y cierre de válvulas, arranque de motores y control de circuitos.

### 6.2.1. Válvula Solenoide

La válvula solenoide es un dispositivo de control de flujo de refrigerante “muy utilizado en sistemas de refrigeración de media y baja temperatura, regularmente se utiliza para cierre de la línea de descarga en las etapas de deshielo, trabaja por medio de electromagnetismo para controlar eléctricamente la apertura o cierre de la válvula”<sup>45</sup>.

Tabla XXVII. Parámetros para selección válvula solenoide

ELEMENTO DE CONTROL	TIPO DE CONTROL	PARÁMETROS DE SELECCIÓN	FIGURA
VÁLVULA SOLENOIDE	CONTROL DE FLUJO DE REFRIGERANTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Voltaje de la bobina 24, 120, 208-249 /1F/60Hz</li> <li>2. Normalmente abierta o normalmente cerrada</li> <li>3. Conexión en pulgadas a la tubería</li> <li>4. Soldable, roscable, hembra o macho</li> <li>5. Gas refrigerante</li> <li>6. Potencia en Vatios</li> </ol>	<p>Fuente: KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS 3rd. p. 422</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

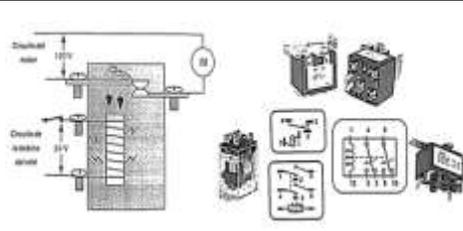
<sup>45</sup> KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. *HEATING AND COOLING ESSENTIALS*. 3rd Edition. U.S.A. 2003. p.422

## 6.2.2. Relés

En los compresores herméticos no es posible utilizar interruptores internos, por la formación de arcos eléctricos en los contactos del interruptor, el arco provocaría la descomposición del aceite, el refrigerante en ácido destruiría los devanados del motor. Para esta aplicación son utilizados relés de arranque exterior se usan para desconectar el devanado de arranque en motores monofásicos.

Solo hay dos tipos de relés, el primero de amperaje, el segundo de potencial.

Tabla XXVIII. **Parámetros de selección de los Relés de uso general**

ELEMENTO DE CONTROL	TIPO DE CONTROL	PARÁMETROS DE SELECCIÓN	FIGURA
RELÉ DE USO GENERAL	CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN DE MOTORES MONOFÁSICOS	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Circuito de potencia hasta 10 A máximo</li> <li>2. Circuito de control hasta 0.25 A máximo</li> <li>3. Los hay de 04 pines, algunos cuentan hasta con 12 pines</li> <li>4. contactos disponibles NO / NC</li> </ol>	 <p>Diagrama de un relé de arranque que muestra un bobinado de control conectado a un circuito de potencia. Se indican los pines de control y potencia. A la derecha se muestran varios tipos de relés de uso general con diferentes configuraciones de pines y contactos.</p> <p>Fuente: KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS 3rd. p. 423, 424</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

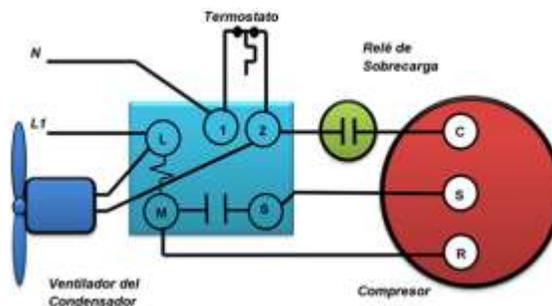
## 6.2.3. Relé térmico o de corriente

El relé térmico es un relé de amperaje o intensidad para motores monofásicos, se encuentra dentro de una caja plástica moldeada, no está montado sobre el compresor, a menudo vienen impresas en la caja la letra L para línea de alimentación, S para la línea de la bobina de arranque (*Start*) del

compresor, M para la línea de marcha (*Run*), algunos vienen impresos con la palabra "UP" o con una flecha hacia arriba cuando el relé es sensible a la posición.

Los contactos dentro del relé siempre están entre M-S, y la bobina entre L-M. Algunos relés de amperaje vienen con terminales extras que no tienen ninguna función, son útiles para puntos de conexión o empalme de cables, se utilizan a criterio del instalador, regularmente se usan para conexión de termostatos, o ventiladores como en la siguiente figura:

Figura 22. Relé térmico



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

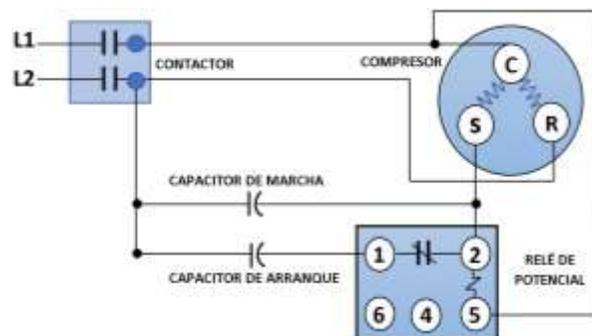
En el circuito anterior, el termostato está conectado en serie con una línea del lado de la alimentación, permitiendo ciclar la unidad de condensación en respuesta a los cambios de temperatura, mientras que el ventilador del condensador está conectado en paralelo, de tal forma que se puede encender o apagar simultáneamente con el compresor.

#### 6.2.4. Relé de potencial

El relé de potencial es empleado en motores que son accionados por capacitor de arranque (monofásicos). La diferencia del relé de potencial con el de corriente es que la bobina del de potencial tiene un devanado con mayor arrollamiento de alambre, está conectado en paralelo con el devanado de arranque. Los contactos del relé de potencial están conectados en serie con el capacitor de arranque, estos son normalmente cerrados. En el momento del cierre del contactor del motocompresor entran en funcionamiento los devanados de arranque (S) y marcha (R), al alcanzar el motor su velocidad, la tensión en el devanado de arranque (S) aumenta por arriba del voltaje de línea debido al capacitor que está en serie con este devanado.

El alto voltaje generado en el devanado de arranque produce una corriente alta en la bobina del relé, haciendo que operen los contactos abriendo el circuito de arranque, el compresor seguirá funcionando solo con el devanado de marcha en operación normal.

Figura 23. Diagrama de conexión relé de potencial



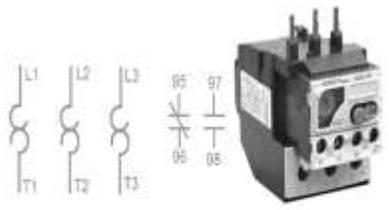
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Los relés de potencial se identifican por números, en lugar de las letras, el relé de potencial se etiqueta como 1, 2, 5. Los contactos se encuentran entre los terminales 1 - 2, la bobina entre 2 - 5, también cuentan con terminales extras etiquetadas con 4 - 6 vienen incluidas por conveniencia para instalación de termostatos, ventiladores o para empalmes de cables.

### 6.2.5. Relé térmico bimetalico

Este dispositivo es el sistema de protección más sencillo, esta conmuta por el calentamiento del motor a través de su consumo. El principio de funcionamiento se debe al calentamiento de sus componentes bimetales que operan cuando tienen una deformación mecánica, la cual conmuta el sistema de apertura, para protección de motores trifásicos.

Tabla XXIX. **Parámetros de selección para relé bimetalico trifásico**

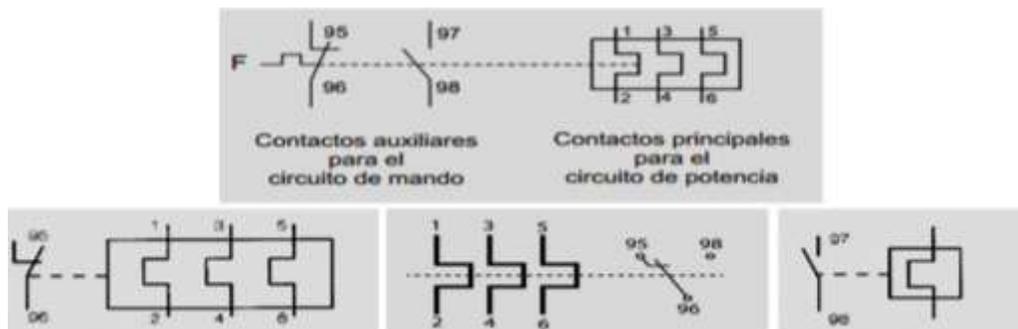
ELEMENTO DE CONTROL	TIPO DE CONTROL	PARÁMETROS DE SELECCIÓN	FIGURA
RELÉ TÉRMICO BIMETÁLICO	SOBRECALENTAMIENTO	Se calcula de acuerdo a la determinación de cargas continuas y no continuas y protección de circuito para motores dependerá de la aplicación	 <p>Fuente: Catalogo técnico, Contactores, Relés y Arrancadores. p. 45.  <a href="http://www.chintelectrics.es/catalogos-tecnicos.html?file=files/documentacion/CatalogosTecnicos/B04%20Catalogo%20tecnico%20-%20Contactores%2C%20reles%20y%20arrancadores.pdf">www.chintelectrics.es/catalogos-tecnicos.html?file=files/documentacion/CatalogosTecnicos/B04%20Catalogo%20tecnico%20-%20Contactores%2C%20reles%20y%20arrancadores.pdf</a>            Consulta: diciembre 2019</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

$$I_{rele} = 125\% \times RLA$$

En la siguiente figura, se indican por medio de diagramas los tipos de contacto existentes, también sus números de identificación, los contactos 95 - 96 son normalmente cerrados, los contactos 97 - 98 son normalmente abiertos.

**Figura 24. Identificación de contactos en relés térmicos**



Fuente: TELEMECANIQUE, Dispositivos de protección térmica Cap. 7 p.188.  
<https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>. Consulta: enero 2019

### 6.3. Componentes eléctricos de potencia

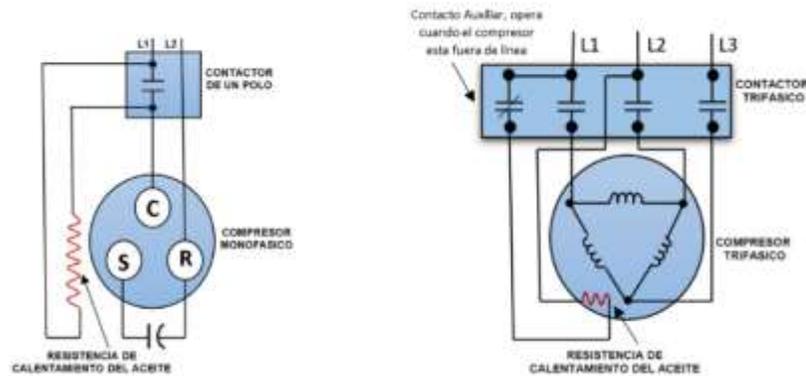
Los circuitos para motores de baja potencia manejan corrientes bajas que pueden ser conducidas por los contactos del termostato, con este logran la conmutación del circuito, sin embargo, a medida que la potencia del motor aumenta, la corriente también lo hace, por lo que esta debe ser conducida por los contactos de un dispositivo más robusto sin dañarse por el arco eléctrico que provocan en la conmutación.

Los dispositivos de potencia son dispositivos de conmutación que combinan partes mecánicas y eléctricas para conformar su mecanismo, mediante estos dispositivos se pueden arrancar o parar motores de alta potencia.

### 6.3.1. Contactores

Un contactor es similar a un relé, solo que, de mayor tamaño, es un dispositivo electromagnético usado para manejar contactos de uso pesado, estos contactos son normalmente abiertos (NO), se cierra cuando la bobina del relé esta energizada. Voltaje de control disponible 24 V, 120 V, 208 V, 230 V.

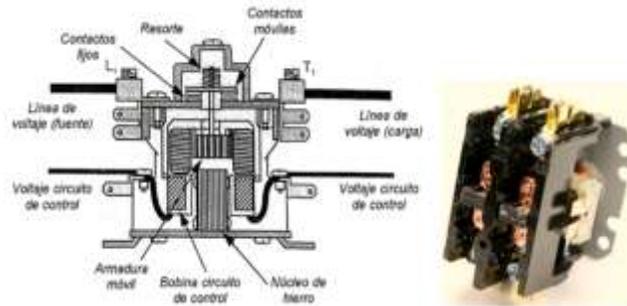
Figura 25. Esquemas conexión de contactores, de un polo y de tres polos más auxiliar



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Internamente, un contactor está conformado por una armadura móvil, la armadura lleva montados los contactos móviles, que se mantienen alejados de los contactos fijos por medio de un resorte, como en la siguiente figura.

Figura 26. **Mecanismo interno de un contactor e imagen de un contactor típico de dos polos**

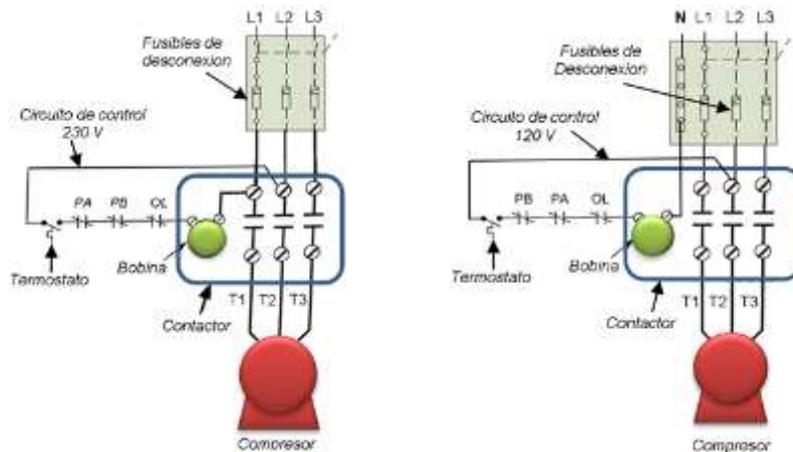


Fuente: KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. *HEATING AND COOLING ESSENTIALS*  
3rd. p. 436

### 6.3.2. **Contactores para aire acondicionado y refrigeración comercial**

Los sistemas de refrigeración comercial en su mayoría funcionan con sistemas de alimentación trifásicos de 208 V o 230 V, los sistemas industriales en ocasiones cuentan con sistemas de alimentación en 440 V. Los circuitos de control pueden operar a 120 V o 230 V, lo que permite el uso de dispositivos estándar como interruptores de seguridad (presostatos de alta o baja presión), relés de sobre carga (*over loads*), controles de temperatura (termostatos), los cuales se instalan en serie con la bobina del contactor.

Figura 27. **Sistemas trifásicos con circuitos de control 230 v y 120 v**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 6.3.3. Elección del contactor

Es de vital importancia poder seleccionar correctamente un contactor para la carga que manejará, debido a que un contactor mal seleccionado puede destruir al mejor de los compresores.

La determinación del tamaño del contactor se calcula a partir del valor de RLA, viene dado por la relación.

$$\text{Tamaño del contactor} = RLA \times 1.25$$

El valor del RLA está dado por el fabricante del equipo, es el amperaje máximo permisible por el compresor antes de sufrir alguna falla prematura.

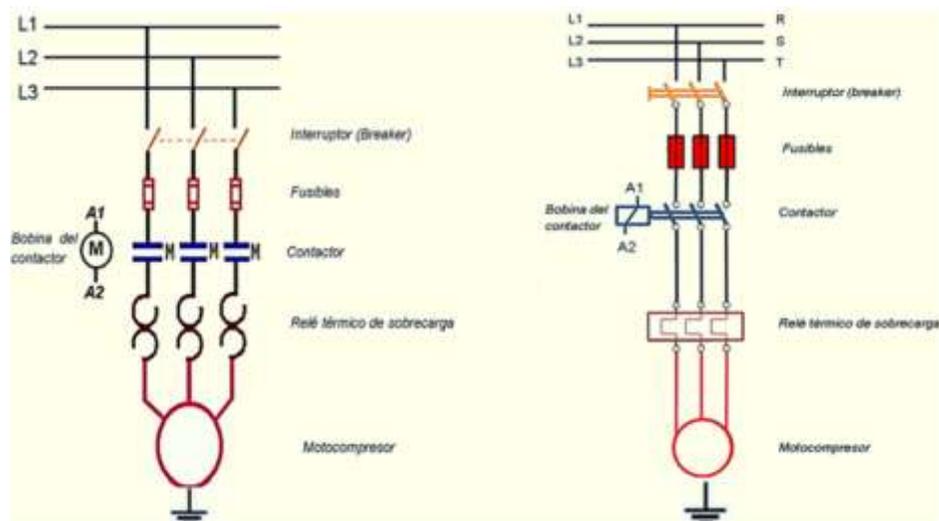


## 7. ANALISIS DE CIRCUITOS DE POTENCIA-CONTROL EN ESQUEMAS ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS

### 7.1. Circuito de potencia y dispositivos de arranque-paro

En instalaciones tanto comerciales como industriales de voltaje trifásico, los circuitos de alimentación eléctrica requieren de un medio de conexión o desconexión de las tres fases simultáneamente, para ello se requiere de cuatro dispositivos fundamentales que deben conformar un circuito de potencia, los cuales se indican en el siguiente esquema:

Figura 28. Circuito de potencia simbología americana, simbología europea

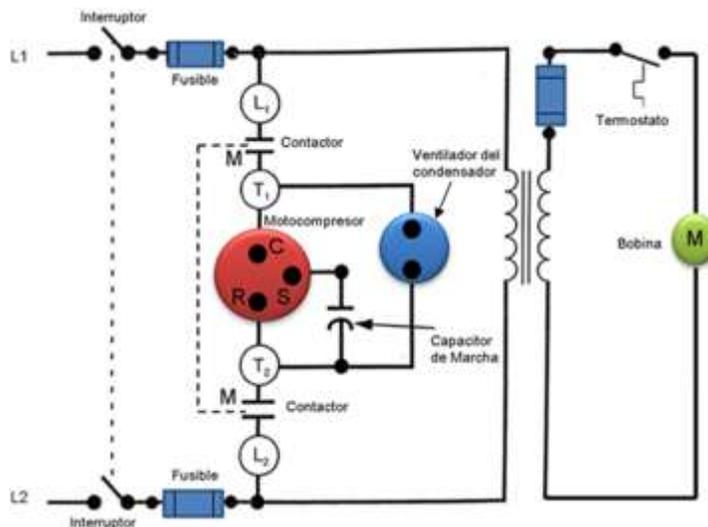


Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## 7.2. Circuitos de potencia en instalaciones monofásicas

Básicamente trabajan con el esquema de la Figura 29, como se puede observar no cuenta con un relé de sobrecarga externo, en algunos compresores lo traen en el bobinado interno.

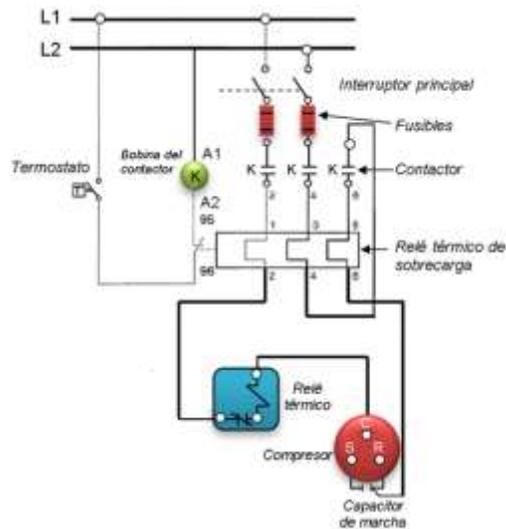
Figura 29. Esquema básico de circuito de potencia y control de un equipo monofásico de aire acondicionado mini-Split



Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Para un caso especial, en que se necesite que una instalación monofásica requiera de la implementación de un relé térmico, se debe asegurar que cada fase tenga el mismo consumo. Para ejemplificar, supondremos que se necesita alimentar y proteger a un compresor monofásico que utiliza capacitor de marcha, el esquema quedaría como en la figura 30.

Figura 30. Circuito de potencia en instalaciones monofásicas



Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

Al accionar el interruptor principal el arranque depende del termostato, este último cierra sus contactos en base a la temperatura previamente seleccionada en él, en ese instante L1 energiza la bobina del contactor por medio de los contactos 95-96, mientras que L2 alimentará directamente A1-A2 de la bobina del contactor. Si existiera una variación de corriente nominal en el compresor por cualquier causa los contactos del relé 95-96 abrirán el circuito de la bobina del contactor parando el compresor.

### 7.3. Arranque con capacitor y relé de corriente

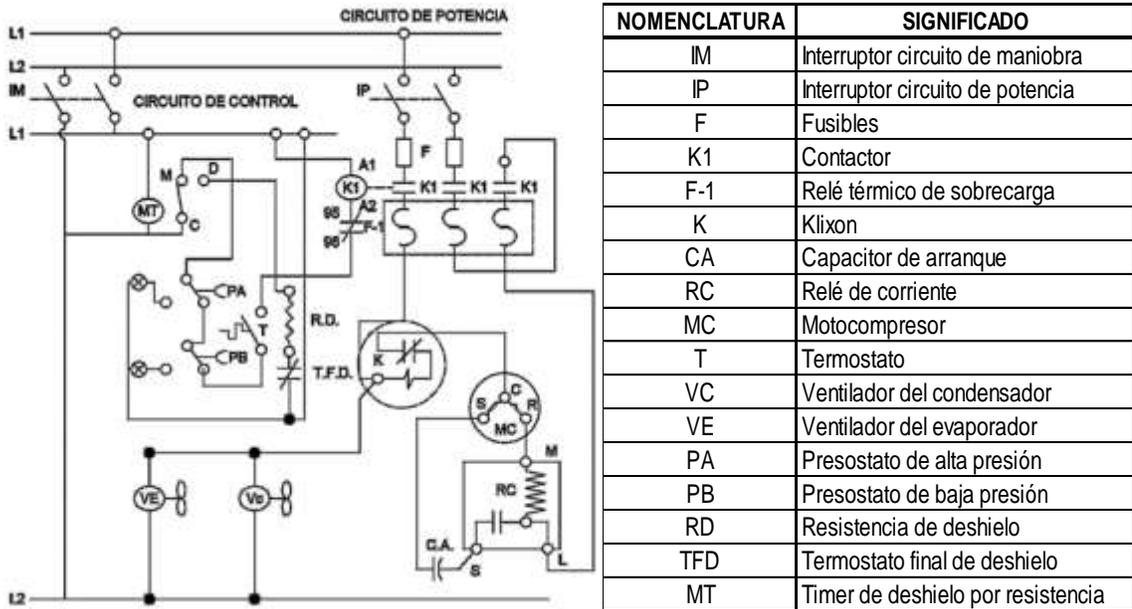
Este circuito habitualmente se encuentra en el panel eléctrico de la unidad condensadora, el relé va fijado por medio de tornillos debido a que, como se explicó anteriormente (capítulo 6), estos tienen que tener cierta posición para que la armadura pueda activar los contactos rápidamente a su posición inicial (Normalmente Abiertos “NO”), es importante tener esto muy en cuenta para casos

en los que deba sustituirse el relé de corriente, porque puede quedar activado provocando que el compresor no arranque, dando como resultado problemas de cortociclajes debido a la desconexión-conexión del protector de motor, el esquema puede verse en la figura 31.

En el circuito están instalados dos interruptores uno para los circuitos de control, otro para el circuito de potencia respectivamente (IM o interruptor de maniobra) se analizará el funcionamiento de cada uno independientemente, sin embargo, tomar en cuenta que será solo para ejemplificar porque en aplicaciones reales se instala un interruptor general para ambos circuitos de maniobra y potencia simultáneamente.

En el esquema de la Figura 31, el reloj de deshielo (MT) es quien gobierna el circuito de control, debido a que si está en la posición (M) este ordenará el funcionamiento del motocompresor (MC), el camino de la señal de control L1 va directa a la bobina de contactor A1, mientras que la otra línea de control L2 tiene que hacer su recorrido a través de los presostatos de alta y baja presión (PA, PB normalmente cerrados), continua a través del termostato de temperatura (T°), los contactos 95-96 del relé de sobrecarga con los contactos cerrados, llegando a A2 de la bobina del contactor haciendo que se cierren los contactos, alimentando con L1 - L2 al relé térmico de sobrecarga también al terminal (L) del relé de corriente donde la bobina interior unirá eléctricamente al terminal R del motocompresor.

Figura 31. Esquema de arranque con capacitor y relé de corriente



Fuente. elaboración propia, empleando AutoCAD versión estudiantil

Quando el contacto del relé de corriente se cierre por la acción del campo magnético en la bobina del relé, este cerrará la línea de potencia L2 hasta el terminal (S) del relé, el cual pone en serie el capacitor de arranque con el devanado de arranque del motocompresor (S).

La otra línea de potencia L1 después de pasar por el relé térmico de sobrecarga pasa a un relé térmico de protección monofásico llamado clixon luego llega a la terminal C del motocompresor de la línea L1, también se alimentan los ventiladores de la unidad condensadora (VC) y del evaporador (VE), cerrando circuito la línea de L2 a los ventiladores desde el interruptor de control (IM), los ventiladores funcionan únicamente cuando está en funcionamiento el motocompresor (MC).

Cuando el reloj de deshielo (MT) conmuta su contacto hacia D, el motocompresor y los ventiladores salen de funcionamiento, esto pone la línea de control L2 a la resistencia de deshielo. La resistencia recibe la otra línea de control L1 directamente del interruptor de maniobra (IM) a través del termostato de final de deshielo (TFD) instalado en serie con la resistencia.

Cuando el reloj finaliza su ciclo de deshielo, el contacto conmuta al punto M nuevamente, reiniciando nuevamente el ciclo de refrigeración.

#### **7.4. Arranque con capacitor y relé de potencial**

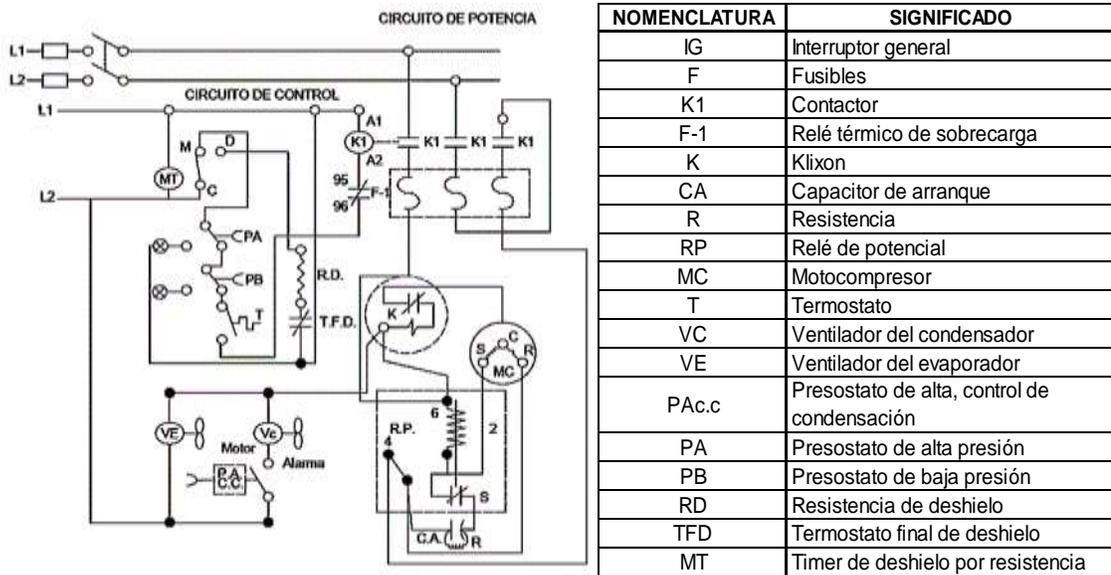
En la figura 31, se muestra el esquema de un circuito de arranque con relé de potencia con capacitor de arranque, el cual será descrito a continuación para comprender su funcionamiento.

Al igual que el esquema del relé de corriente, las líneas de potencia L1 - L2 están protegidas por fusibles (F), además un interruptor general (IG), también estas líneas alimentan el circuito de control.

El circuito de control está alimentado de la misma manera que en la figura 30, L1 alimenta a la bobina del contactor en la terminal A1, L2 alimenta a la terminal A2 de la bobina del contactor por medio de los presostatos de presión (PA, PB), pasando por el termostato de temperatura (T°), luego los contactos 95 – 96 del relé térmico. El arranque se logra a través de un relé de potencial, el cual cuenta con un contacto normalmente cerrado al momento de que el motocompresor alcanza su velocidad, el campo magnético de la bobina del relé abre el contacto del circuito que alimenta al capacitor de arranque.

Una variante en este circuito de refrigeración es la implementación de un presostato de alta presión para control de condensación, este activa el ventilador del condensador hasta que el circuito de la línea de alta presión alcance un valor de presión que garantice una buena condensación, luego el ventilador empezará a funcionar bajando la presión del circuito.

Figura 32. Esquema de arranque con capacitor y relé de potencial



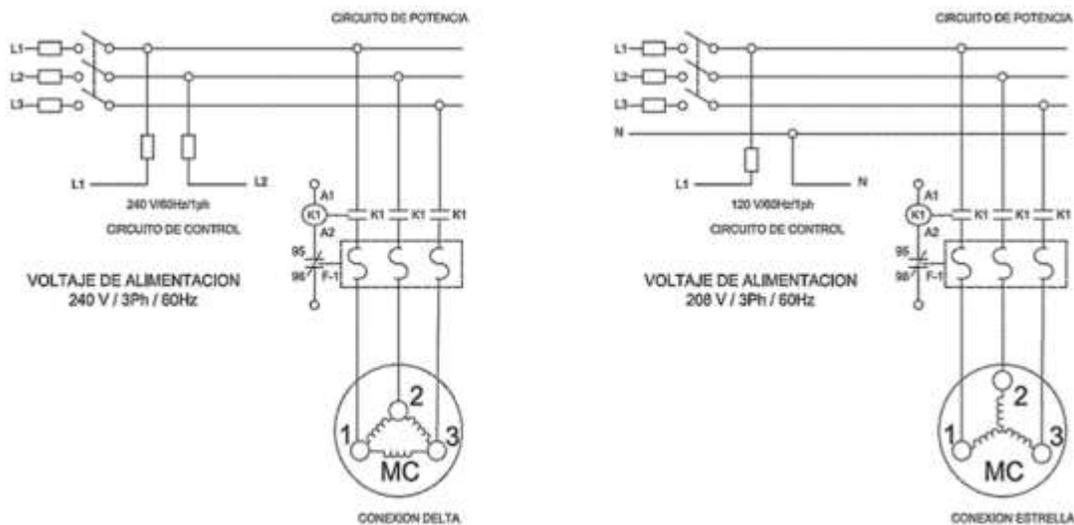
Fuente. elaboración propia, empleando AutoCAD versión estudiantil.

## 7.5. Circuitos de potencia en instalaciones trifásicas

Los circuitos de potencia en instalaciones eléctricas trifásicas son parecidos entre sí, en cuanto a sus componentes de potencia y control, la diferencia reside en los voltajes de operación, estos se pueden encontrar en voltajes disponibles de 120-240 V/ 3 fases / 60Hz, 120-208 V/ 3 fases / 60 Hz, 240-480 / 3 fases / 60 Hz todos en 4 cables (L1, L2, L3, N), en el caso del voltaje 240 V / 3 fases los devanados de los compresores deberán instalarse en delta,

mientras que en el caso del voltaje 208 V / 3 fases estos deberán conectarse en estrella, por ultimo para 480 V / 3 fases, deberán utilizarse las conexiones indicadas en el capítulo 4 sección 4.9 de conexión de borneras, también distribución de bobinados en motores trifásicos, la alimentación de los circuitos de maniobra o control deberán ser seleccionados para 120 V o 240 V monofásico 2 cables, esto dependerá de los voltajes disponibles.

Figura 33. Circuito de potencia para sistemas trifásicos



Fuente. elaboración propia, empleando AutoCAD versión estudiantil.

## 7.6. Diagnóstico preliminar de fallas debido a componentes eléctricos

A continuación, se detallan algunos de los problemas generados por los componentes eléctricos de potencia y control de los sistemas de refrigeración o aire acondicionado, también sus posibles soluciones.

Es importante en todo momento para realizar pruebas o diagnósticos tomar todas las medidas de seguridad para evitar accidentes eléctricos, es necesario

desconectar el suministro de energía eléctrica a excepción de los casos en que sea estrictamente necesario tener energía, de ser posible utilice bloqueadores de dispositivos eléctricos para el interruptor, conserve una única llave para evitar accidentes, señalice áreas de trabajo, si usa escaleras o andamios revíselos antes de usarlos, siempre cumpla con normas de salud y seguridad ocupacional. Como referencia revise los “acuerdos gubernativos del reglamento 229-2014, su reforma 33-2016 del Ministerio de Trabajo guatemalteco”.<sup>46</sup>

**Figura 34. Dispositivos de bloqueo/señalización**



Fuente: Dispositivos de bloqueo/señalización y cumplimiento de la osha  
<https://es.masterlocklatinamerica.com/industrial-safety/safety-lockout-tagout>

Consulta: diciembre 2019

<sup>46</sup> MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISION SOCIAL GUATEMALA C.A. ACUERDO GUBERNATIVO NUMERO 33-2016. Enero 2016.Consulta:2019 <https://sgp.gob.gt/wp-content/uploads/2016/04/AG-033-2016-1.pdf>

Tabla XXX. Problemas comunes en los interruptores y su corrección

PROBLEMA	CAUSA	ACCION CORRECTIVA
El interruptor se dispara térmicamente	A. Corriente excesiva	A El interruptor quizás esté operando correctamente y despejando una sobrecarga. Verifique si la corriente a la cual está operando excede está en el rango de los valores de disparo térmico.
	B. Las terminales no están fijadas adecuadamente a la base del interruptor	B La decoloración en el área de las terminales es indicativa de pérdidas en forma de calor. Revise si esta floja la conexión base terminal
	C. Cable mal ajustado en la terminal	C. Un mal contacto cable terminal origina pérdidas en forma de calor que se transfieren al interruptor termomagnético. Compruebe si esta floja la conexión cable terminal.
	D. Calibre in adecuado del con ductor.	D A medida que circulen corrientes superiores a la nominal del con ductor se incrementaran las pérdidas en forma de calor, las cuales se transfieren al interruptor haciéndolo operar. Utilice el calibre adecuado de con ductor.
	E. Altas temperaturas ambientales.	E. Para temperaturas que excedan los $r0^0$ C se hace necesario la utilización de interruptores con compensación de temperatura.
	F. Unidad de disparo mal ajustada a la base.	F. Si todos los puntos antes mencionados han sido revisados. verifique si la unidad de disparo está fijada correctamente en la base.
El interruptor se dispara magnéticamente	A. Alta corriente de arranque del motor.	A. Cambie el valor de disparo magnético a inmediato superior.
	B Alto pico de corriente durante la transferencia en un arrancador estrella delta.	B. La transición debe ser cerrada o un ajuste muy elevado del disparo magnético debe ser colocado
Mala operación eléctrica y/o mecánica	A. Alta humedad	A. Puede originar defectos en el aislamiento. La mejor solución es proveerse de una caja aislante.
	B Ambiente corrosivo	B Deben ser aislados de ese tipo de ambiente. Existen tratamientos especiales resistentes a la corrosión
	C. Si algún accesorio es incluido en el interruptor, asegúrese de que opere adecuadamente	C. Compruebe y asegúrese de las condiciones de operación (voltaje adecuado, conexión adecuada, etc.) El interruptor debe estar desenergizado durante esta operación

Fuente: EATON, *Interruptores termomagnéticos de caja moldeada tipo c.* sección ii p.181.

[http://www.eaton.mx/ecm/idcplg?IdcService=GET\\_FILE&allowInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=PCT\\_1128272](http://www.eaton.mx/ecm/idcplg?IdcService=GET_FILE&allowInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=PCT_1128272).

Consulta: enero 2020

Tabla XXXI. Problemas comunes en motores y dispositivos de protección

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
El motor no arranca, y no hace ningún sonido	Interruptor de desconexión abierto y/o fusible abierto	Cierre el medio de desconexión, Sustituya el fusible o reestablezca el interruptor, determinar porque operó o se abrió
	Protector de sobrecarga desconectado (OL)	Restablecer la protección contra sobrecargas y determinar porque operó
	La protección contra sobrecarga ha actuado, cables de alimentador dañados o defectuosos	Reparar o reemplazar el protector, repare o sustituya el cableado o los conectores dañados
El motor no arranca, zumba y opera la protección de sobrecarga	Suministro de energía variable Cojinetes atrancados o resbalan.	Corrija el suministro de energía Cambie cojinetes, rodamientos o el motor
	Faja muy tensada o sobrecargada	Ajuste la faja
		Cierre la tapa de la sección del ventilador
		Reduzca la carga
	Contatos en cortocircuito (motores de fase partida)	Cambie a un motor mayor
Capacitor de arranque dañado o defectuoso Capacitor de marcha dañado o defectuoso	Cambie el capacitor (aplica para motores monofásicos)	
El motor arranca y funciona por poco tiempo	Suministro de energía variable, desbalance de voltaje, ausencia de fase, cojinetes atrancados o que resbalan	Corrija el desbalance de voltaje antes de arrancar el motor, cambie los cojinetes, rodamientos o el motor
	Faja muy tensada	Ajústela la faja
	Sobrecarga mecánica, protección contra sobrecarga dañada o defectuosa a	Cierre la tapa de la sección del ventilador, reduzca la carga mecánica, cambie a un motor mayor, compruebe la carga real en el dispositivo de protección contra sobrecarga y sustitúyalo si responde por debajo de las especificaciones"

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Tabla XXXII. **Problemas comunes en compresores y dispositivos de protección**

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
El compresor no arrancó, no hace ningún sonido	Fusible o <i>breakers</i> abiertos Protección contra sobrecarga activada	Reemplace el fusible o reestablezca el breaker y determine por qué se activó
	Revise si los presostatos están bloqueados o abiertos	Restablézcalos o sustitúyalos, determine por qué se abrió
El compresor no arrancó, o intenta hacerlo y la protección contra sobrecarga lo desactiva	Cables dañados o cableado incorrecto (monofásico y trifásico)	Repárelos o sustituya las terminales de cables, compruebe los terminales común, marcha y de arranque, verifique los voltajes existentes entre fases
	Relé de arranque mal cableado o dañado (aplica para compresores monofásicos)	Recablear el relé si es necesario o sustituirlo si está dañado o defectuoso
	Capacitor de arranque dañado o con defecto (compresores monofásicos)	Sustituya el capacitor
El compresor arranca, pero no permanece en funcionamiento	Embobinado del compresor abierto o en cortocircuito	Sustituya el compresor
	Revisar si hay protección interna contra sobrecarga abierta, debido al calentamiento del compresor	Espere a que el cableado se enfríe después de la falla
	Compresor, atrancado, cableado incorrecto, alimentación de voltaje baja	Sustituya el compresor, compare el cableado con el diagrama en placa del equipo, corrija la fuente de voltaje
	Capacitor de arranque dañado o defectuoso	Sustituya el capacitor
	Relé de arranque dañado o defectuoso	Sustituya el relé
	Devanado abierto en el compresor	Sustituya el compresor
	Capacitor de marcha dañado o defectuoso	Sustituya el capacitor
	Alta presión de descarga	Sobrecarga de refrigerante, enfriamiento del condensador insuficiente, válvula de mantenimiento de descarga cerrada

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

Tabla XXXIII. Problemas comunes en equipos de Aire Acondicionado

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
El equipo no enfría, la unidad exterior no funciona, el ventilador de unidad interior si funciona	Medio de desconexión abierto	Cierre el medio de desconexión (breaker o conmutador)
	Fusible o Cortacircuitos (Breaker) abierto	Sustituya el fusible o reactive el cortacircuitos y determine la causa que lo saco de operación
	Cableado dañado o defectuoso	Repáre o sustituya el cableado o terminales dañadas o defectuosas
El equipo no enfría y no funcionan los ventiladores tanto del evaporador como del condensador de la unidad	Termostato	Reapriete las conexiones flojas o sustituya el termostato y su base, revise la carga de las baterías
	Cableado o conexiones	Repáre o sustituya el cableado y las terminales de conexión
	Transformador de control	Sustitúyalo si esta dañado, revise si hay alto consumo de corriente por devanados en corto o echados a tierra tome precaución
El equipo no enfría, los ventiladores tanto del condensador como del evaporador funcionan, pero el compresor no arranca	La protección interna contra sobrecargas (OL) del compresor ha operado debido a:	
	1. El voltaje de red esta por debajo del límite permitido	Corrija problema de voltaje, consulte a empresa que suministra el servicio, cambie terminales, reapriete conexiones
	2. Presión de descarga de refrigerante esta elevada por:	
	Unidad condensadora sucia o bloqueada	Limpie el condensador
	Corto ciclajes en ventilador del condensador	Revise el motor ventilador y su capacitor en la unidad condensadora
Recirculación del aire que sale de la unidad condensadora	Vea la causa y corrija el problema de recirculación	
Sobrecarga de gas Refrigerante	Corrija el nivel de carga de refrigerante	
El sistema está bajo carga de refrigerante y el compresor no enfría lo suficiente	Corrija el nivel de carga de refrigerante, si falta carga se debe a una fuga, localícela y repárela	

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

Continuación tabla XXXIII.

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
Serpentín del evaporador congelado	Flujo de aire completamente bloqueado o con restricción	Lave los filtros si son lavables o sustitúyalos si son descartables
		Si tiene ductos abra los dámper o reguladores de paso de suministro de aire o rejillas
		Elimine bloqueos del aire de retorno o de las rejillas de retorno.
		Limpie los álabes del ventilador
		Aumente la velocidad de funcionamiento del ventilador
	El sistema de refrigeración está bajo de carga de gas refrigerante	Ajuste la carga de la unidad, localice y repare las posibles fugas sí ha habido pérdida de refrigerante
	Problema del dispositivo de expansión o dosificador	Cambie o limpie el dispositivo de expansión o dosificador
El equipo está funcionando bajo condiciones ambientales de baja temperatura sin una regulación adecuada de lo presión de descarga	Instale un regulador de presión de descarga para condiciones de baja temperatura del ambiente	
Filtro secador obstruido	Cambie el filtro deshidratador de la línea de líquido	

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

Tabla XXXIV. **Problemas comunes en los contactores y su corrección**

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
El contactor no funciona	No llega voltaje a la bobina, tensión insuficiente en la misma	Comprobar los esquemas de conexión, comprobar el voltaje que le llega a la bobina.
	Piezas interiores mecánicas en posición errónea que no dejan cerrar el contactor	Comprobar las piezas mecánicas interiores
	Bobina con espiras interrumpidas	Cambiar la bobina si es desmontable o cambiar contactor si es bobina fija
El contactor no sostiene los contactos al poner el equipo en funcionamiento	Daño en alguna conexión o cableado	Revisar conexiones y reparar conexiones defectuosas
	Bobina del circuito de control no funciona correctamente	cambiar la bobina si es desmontable o cambiar contactor si es bobina fija
	Muelle móvil atrancado	Aflojar muelle de tracción móvil, comprobar resistencia, en caso necesario sustituir el contactor
El contactor no abre al apagar el equipo	Cableado y conexión incorrecta	Comprobar esquemas de conexionado y corregir los defectos
	Contactor atrancado mecánicamente	Comprobar las piezas internas del contactor, el muelle móvil, y que ninguna pieza esté en posición anormal
	Contactos soldados (pegados)	Revisar el origen de posibilidad de cortocircuitos o caída de voltaje cambiar contactor
	Cables cruzados en el circuito de mando	Revisar esquemas de conexión, localizar los cables cruzados y corregir
El contactor una vez cerrado produce mucho ruido	Voltaje por encima o por debajo de los valores nominales en la bobina	Comprobar tensión de la línea y procurar que le llegue ta tensión nominal a la bobina.
	Suciedad u obstrucción en el entrehierro del contactor evita el cierre completo del contactor	Utilizar limpia contactos no limar los contactos
	Superficie de atracción del electroimán en mal estado por rugosidades, deformidades, desgastadas o aplastadas	Limpia superficies polares, comprobar muelles del electroimán, rectificar superficies polares conservar distancia del entrehierro
	Piezas mecánicas internas en estado anormal	Comprobar et estado de las piezas móviles, si no funciona cambiar contactor

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

Continuación tabla XXXIV.

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>
Los contactos o platinos se calientan demasiado	Oxidación de superficies de los contactos, por ambientes oxidantes o por escasas maniobras del contactor	NO usar lija, use siempre limpia contactos
	Sobrecarga prolongada	Revisar si el contactor es capaz de soportar esas cargas de lo contrario sustituirlo por uno de la capacidad adecuada
	Insuficiente presión en los contactos	Ajustar a la presión adecuada o sustituir los contactos desgastados, si son reemplazables
	Puntos de contacto flojos	Apriete contactos flojos y limpie
Desgaste prematuro de los contactos	Interrupción con corrientes elevadas	Sustituir el contactor por uno de capacidad adecuada
	Los contactos han sido lijados muchas veces	Sustituir el contactor desgastado, Nunca lijar los contactos

Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Word

## **8. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN**

### **8.1. Rango de eficiencia energética estacional**

El rango de eficiencia energética estacional (SEER), según el Instituto de Aire-Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (AHRI), es una relación matemática que “determina la capacidad de enfriamiento total durante los periodos normales de operación de un equipo (que no exceda los 12 meses) dividida por la entrada total de energía eléctrica durante el mismo periodo de tiempo”<sup>47</sup>. En síntesis, el SEER es la cantidad de Btu/h generados por un equipo de acuerdo a cada Watt de electricidad consumido, en otras palabras, cuanto mayor sea la energía generada por cada Watt consumido más eficiente será un equipo.

En la actualidad, podemos encontrar en el mercado nacional equipos con mejor eficiencia energética, la industria de los fabricantes de equipos ha logrado grandes avances en los nuevos sistemas de aire acondicionado para uso comercial. Es común encontrar equipos con etiquetas SEER o con etiquetas de clasificación de energía para equipos de aire acondicionado tipo mini Split.

En la actualidad son fabricados equipos con SEER 13 hasta SEER 24, en comparación con valores de SEER 10 establecidos por el gobierno de Estados Unidos en 1992, cabe mencionar que, a mayor valor de SEER mayor será el ahorro de energía a lo largo de la vida útil del equipo.

En 1992, el departamento de energía del gobierno de Estados Unidos estableció el estándar mínimo de eficiencia energética estacional para las unidades de aire

---

<sup>47</sup> AHRI, Rango de eficiencia energética estacional. Consulta:2019 <https://www.ahrinet.org/homeowners/save-energy/seasonal-energy-efficiency-ratio>.

acondicionado a un SEER 10. El 23 de enero de 2006 se estableció un nuevo valor mínimo de SEER 13.<sup>48</sup>

Es por ello por lo que las unidades con eficiencia SEER 10 no se importan al mercado local desde Estados Unidos, regularmente la procedencia de las unidades con eficiencia 10 provienen del mercado asiático y no están certificadas por AHRI.

AHRI cuenta con un directorio, en donde enumera las clasificaciones de eficiencia energética certificadas para equipos específicos.

Los equipos de aire acondicionado tipo Split y Paquete también son calificados bajo ciertos parámetros, para poder llevar una etiqueta de eficiencia energética denominada *ENERGY STAR*®. “Para lograr esta calificación deben tener un mínimo de eficiencia SEER 14. Los propietarios de equipos pueden identificar si su equipo tiene calificación *ENERGY STAR*® en el Directorio de HVAC de CEE / AHRI”<sup>49</sup>.

AHRI, en su página oficial establece una ecuación para calcular los costos operativos aproximados de un sistema inverter por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{CAPACIDAD \left(\frac{Btu}{h}\right)}{(SEER) \times 1\,000} \times \text{Horas de trabajo} \times \text{Tarifa eléctrica} = \text{Costo operación}$$

Para un equipo mini Split de 12000 Btu/h SEER 10, sustituyendo los valores en la ecuación, tendremos del primer término:

---

<sup>48</sup> AHRI, Rango de eficiencia energética estacional. Consulta:2019 <https://www.ahrinet.org/homeowners/save-energy/seasonal-energy-efficiency-ratio>.

<sup>49</sup> CEE, Directory of Efficient Equipment. USA. Consulta: 2019 <http://www.ceedirectory.org/>

$$(12\,000\text{ Btu/h}) / (10\text{ (Btu/h/watts)} \times 1\,000) = 1,2\text{ KW}$$

El uso promedio es de 6 horas, con 2 horas de paros por temperatura, asumiendo que es un aire acondicionado comercial (oficinas), el valor de la tarifa eléctrica en Guatemala ronda por los Q1,75/kilowatt-h por lo que tenderemos

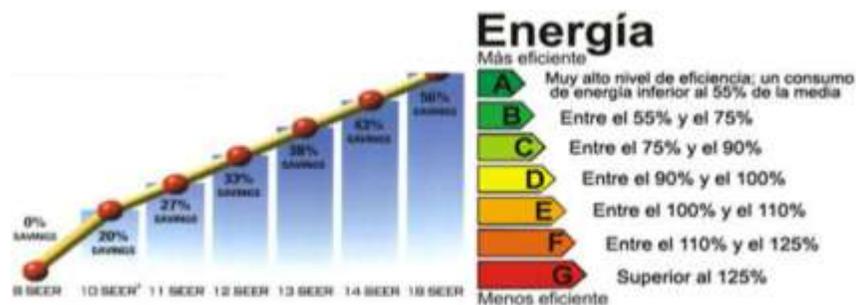
$$\text{Costo de operacion} = 1,2\text{ kw} \times 6\text{ hr} \times \frac{Q1,75}{\text{kw} - \text{hr}} = Q\ 12,60\ \text{diarios SEER 10}$$

En 22 días laborales el equipo tendrá un costo de operación de:

$$Q\ 12,60 \times 22 = Q\ 277,20$$

El fabricante da valores porcentuales de ahorro en base a un equipo SEER 8 (clasificación G) a lo largo de 12 meses de uso del equipo, estos porcentajes son estimaciones promedio de ahorro.

Figura 35. Eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado



Fuente. Programas de normalización y etiquetado de eficiencia energética. P.09

<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00358.pdf>

Consulta: enero 2020

No se debe confundir el costo de operación aproximado con los posibles porcentajes de ahorro porque la comparación entre eficiencias solo representa un 5 % de ahorro promedio por cada punto de eficiencia que exista entre un equipo u otro por ejemplo para los equipos SEER 10 y SEER 16:

$$Diferencia\ en\ puntos = 16 - 10 = 6$$

$$\% de\ ahorro = Diferencia\ en\ puntos \times 5\% = 6 \times 5\% = 30\%$$

$$SEER\ 10 = 20\% \text{ ahorro}$$

$$SEER\ 16 = 20\% + 30\% = 50\%$$

Esto significa que el equipo con eficiencia SEER 16 ahorra un promedio del 50 % más que uno eficiencia SEER 10, en este caso en base a la estimación de costo diario:

$$Ahorro\ mensual = Q\ 277,20 \times 50\% = Q\ 138,60$$

Para tomar la decisión sobre la instalación de un equipo nuevo con tecnología Inverter de SEER 16 hay que hacer una evaluación económica que nos dé un parámetro de retorno de la inversión.

Un equipo de SEER 16 inverter vale Q 3100,00, tomando el dato de costo diario de energía eléctrica de Q 277,20, ahorro mensual de Q 138,60, un equipo de este tipo tiene un promedio de vida aproximado de 10 años, tomaremos una proyección de la inversión para 3 años, la tasa promedio ponderada más baja en el sistema bancario nacional según la Superintendencia de Bancos es de un 15 %. A partir de estos datos se obtiene la siguiente tabla:

Tabla XXXV. **Análisis costo-beneficio de la inversión**

ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN			
Monto del préstamo inicial	Q3100,00	Ahorro a 3 años (Q)	Q4989,60
Tasa de interés k	15,00 %	Valor actual neto a 3 años	Q697,46
Factura Mensual (Q)	Q277,20	Diferencia	Q4292,14
Ahorro mensual (Q)	Q138,60		
Ahorro anual (Q)	Q1663,20		
Ahorro a 3 años (Q)	Q4989,60		
<b>CALCULO TIR</b>			
Inversión Inicial	-Q3100,00		
Ahorro año 1	Q1663,20		
Ahorro año 2	Q1663,20		
Ahorro año 3	Q1663,20		
Tasa Interna de Retorno	28 %		

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es la rentabilidad o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. El criterio de selección será el siguiente: k es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN: Si  $TIR > k$ , el proyecto de inversión será aceptable. En este caso, la tasa interna de retorno que obtuvimos es mayor a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión. En este análisis,  $28\% > 15\%$ , por lo que el proyecto si debe realizarse

Análisis para 3 años y una tasa de interés del 15 %, el ahorro producido por el equipo inverter es mayor que el costo de este

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## 8.2. Sistemas de aire acondicionado con tecnología inverter

Son varios los factores a tomar en cuenta para seleccionar un sistema de A/C debido a que no solo es importante analizar el costo de inversión inicial. Por ello es importante una buena selección que pueda significar un retorno considerable.

Es atribuido a Toshiba “la invención del A/C Inverter, logrando una revolución en los sistemas del aire acondicionado para conseguir la mejor eficiencia energética además de menor consumo”<sup>50</sup>. Esta tecnología regula el funcionamiento del compresor de los equipos de refrigeración o aire acondicionado, de tal manera que trabajan a una velocidad más constante, logrando ahorros de energía de hasta un 40 % con respecto a otros equipos que

<sup>50</sup> TOSHIBA. Que es inverter. Consulta: 2019. <https://www.toshiba-aire.es/que-es-inverter/>.

no utilizan esta tecnología, algunos fabricantes ofrecen en sus equipos de 50 % hasta un 80 % de ahorro energético.

La velocidad de giro de los compresores de este tipo de sistemas de aire acondicionado es controlada por un sistema inversor. Este sistema está diseñado para funcionar a diferentes velocidades, logrando con esto una mejor regulación en su capacidad de enfriamiento. Inverter es una Tecnología Electrónica, sus características principales son las siguientes:

- Regulación del compresor sin llegar a parar el sistema, este disminuye la velocidad del compresor hasta el mínimo posible manteniendo la temperatura ajustada por el usuario, impidiendo que se apague o se encienda con cada cambio de temperatura gastando menos energía eléctrica
- Aceleración del compresor a potencia máxima para que en el encendido alcance la temperatura seleccionada en el menor tiempo posible
- Cuanto mejor es el componente electrónico (Inverter), mejor regula la velocidad del compresor reaccionando antes a los cambios de temperatura en el ambiente a acondicionar
- Cuanto mejor es el compresor para esta tecnología, mayor capacidad de reacción tiene, por lo tanto, es capaz de variar su velocidad a diferenciales mucho menores para que el usuario no perciba cambios de temperatura, logrando un mejor confort

- Menor desgaste del equipo al evitar arranques continuos y velocidades bajas

### **8.3. Tarjeta electrónica de la unidad evaporadora de un sistema inverter**

La tarjeta electrónica de la unidad evaporadora de un equipo de aire acondicionado inverter no tiene variantes significativas en comparación con un equipo que no cuenta con esta tecnología, en algunas unidades la diferencia principal reside en que el motor de la turbina de ventilación es DC la distribución de las bobinas y la alimentación son distintas.

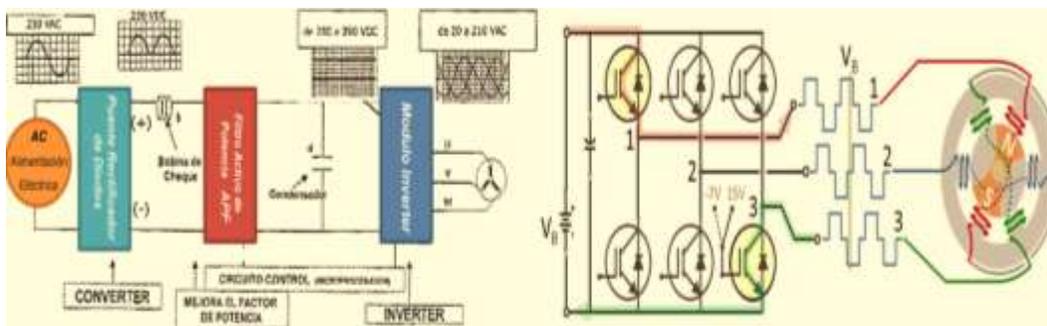
### **8.4. Bloques principales en tarjeta de sistema inverter unidad condensadora**

Tiene un cambio radical completo, en comparación con un equipo convencional, esta es la encargada de gobernar el motocompresor de velocidad variable, básicamente compuesta por cuatro bloques que realizan la función de ahorro energético, los bloques que la componen son:

- Etapa rectificadora, trabaja por medio de tiristores, un puente de diodos conectado a la entrada del suministro de AC
- Bobina de choque, evita las variaciones de corriente también elimina las pulsaciones del puente rectificador de DC
- Filtro/etapa supresora de ruidos, filtro activo de potencia (APF), suprime la alta frecuencia de los armónicos generados durante la rectificación, mejora el factor de potencia

- Estabilizador de corriente directa (DC), esta etapa consiste en un capacitor instalado en paralelo a la salida del APF
- Módulo Inverter, compuesto de seis transistores IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), se utilizan como interruptores controlados en circuitos de electrónica de potencia, son alimentados del voltaje de salida del APF, convierten la salida a voltaje trifásico con frecuencia variable para alimentación del compresor.

Figura 36. Etapas de control sistema inverter en unidad condensadora



Fuente: BUQUÉ, Francisc, Manuales prácticos de refrigeración, Tomo IV. p. 198.

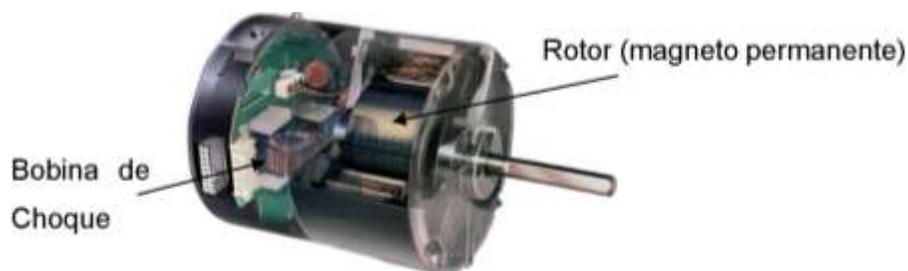
En la figura 35, la sección del INVERSOR convierte dos líneas de DC a tres líneas de AC, alternando los transistores en pares diagonales, logrando una conmutación alterna. Cada fase varía de 0 a  $V_B$  voltios, la salida es aproximadamente senoidal, esto se debe a que el sistema funciona como una fuente de alimentación conmutada.

Los motores para esta aplicación suelen ser sin escobillas, para aplicaciones de refrigeración o A/C se conocen como Motocompresores de corriente directa BLDC (Motores de Corriente Directa Sin Escobillas).

## 8.5. Compresores de corriente directa

Los BLDC son motores síncronos de imanes permanentes. Estos motores cuentan con tres embobinados de cobre conectados en estrella, normalmente los polos de los devanados se encuentran en el estator, frente a los polos van pequeños imanes que al energizar dos polos de las tres bobinas induce un campo magnético en las mismas para así ser repelido por los imanes en el interior.

Figura 37. Interior de motor sin escobillas



Fuente: WHITMAN, William C, JOHNSON, William M, TOMCZYK, John A, SILBERSTEIN, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology 6th Edition*. p. 352.

## 8.6. Válvula de expansión electrónica

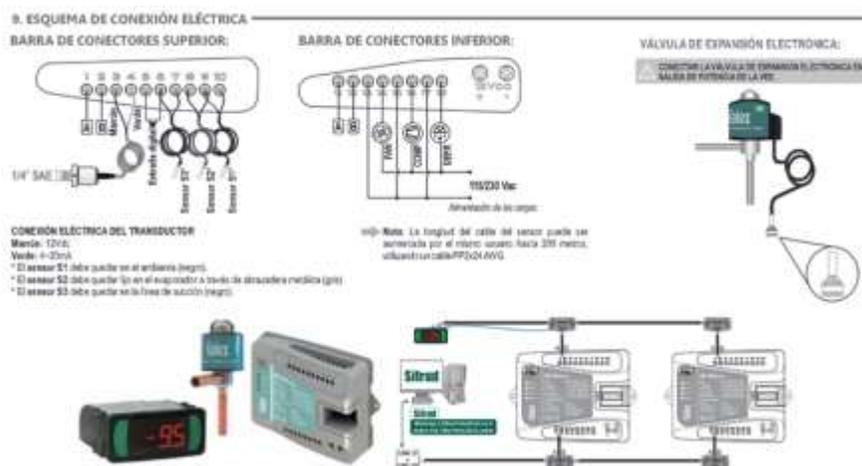
Con la implementación de sistemas inverter se pueden lograr ahorros de energía significativos para aplicaciones de aire acondicionado o refrigeración, el objetivo es encontrar los métodos para producir la mayor cantidad de frío con el menor costo posible, lo que nos lleva a la búsqueda de dispositivos con mejor desempeño en el ciclo de la refrigeración porque de esto dependerá la eficiencia de nuestro sistema.

La eficiencia del compresor depende de la presión de succión, si la reducimos estaremos reduciendo el trabajo del compresor, por lo tanto, estaremos haciendo un ahorro de energía, eso es exactamente lo que hace una válvula de expansión electrónica reduciendo la presión de succión.

La válvula de expansión electrónica esta provista de dos sensores uno de temperatura, el segundo de presión controlados por un microprocesador. También cuenta con una electroválvula que regula el flujo de refrigerante que responde a impulsos de una sonda de temperatura electrónica.

El controlador gobierna la carga de refrigerante por medio de la apertura de la válvula, cuenta con varias sondas de medición, como puntos de conexión de control de deshielos, ventiladores y compresor, también tiene un *display* para visualizar las mediciones en campo, pueden conectarse también a un sistema remoto en una PC o en línea por medio de un teléfono inteligente.

Figura 38. Válvula de expansión electrónica y esquema de conexión



Fuente: Controlador VX-950 plus, Full Gauge

<https://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/manual-de-producto-138-4.pdf>

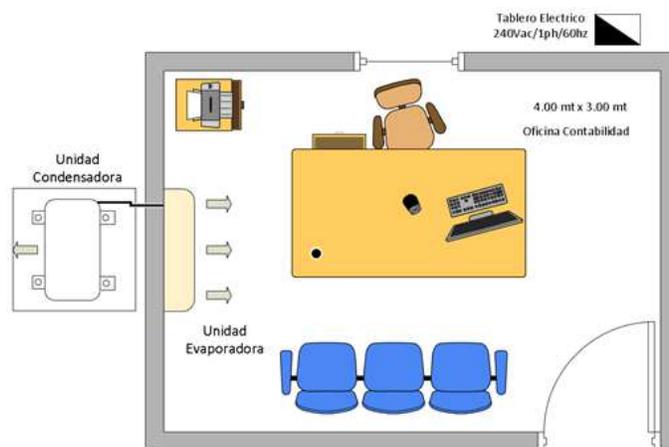
Consulta 2019.

## 9. CÁLCULOS DE IMPLEMENTACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS EN REFRIGERACIÓN O AIRE ACONDICIONADO

### 9.1. Sistema de aire acondicionado tipo mini Split

Es requerida la instalación de un equipo de aire acondicionado Mini Split pared alta, Inverter de 12 000 Btu/h SEER 16, refrigerante R-410A, para un área de 4,00 x 3,00 y altura de 2,50 mt, instalar alimentador eléctrico de potencia, también de control para el funcionamiento del equipo, la información con que se cuenta es la siguiente:

Figura 39. Esquema de ubicación de equipo y tablero eléctrico



Fuente. elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

- Distancia entre evaporador-condensador 3.00 m.
- Distancia de tablero eléctrico hasta condensadora 9.00 m.
- La unidad condensadora requiere de base para evitar contacto con el piso
- La canalización del alimentador de potencia deberá hacerse con tubería Conduit HG; fijada con abrazaderas metálicas
- La tubería de refrigeración será de cobre, con diámetros de acuerdo a capacidad del equipo
- La tubería de refrigeración deberá contar con aislamiento térmico

Selección del equipo. El requerimiento indica 12,000 Btu/h con tecnología inverter, gas refrigerante R-410, el voltaje disponible del equipo viene en 208-230 Vac/1ph/60Hz.

Conductor de potencia. Se determina a partir del valor de la corriente RLA indicada en la placa del equipo o manual del fabricante, generalmente en sistemas inverter la tarjeta va en el condensador, por lo tanto, el alimentador de potencia va al condensador. La distancia tablero-condensador es conocida.

Tomando el valor del RLA del equipo 8.2 A (ver figura 39) se podrá calcular el valor de la corriente del ramal o el MCA .

$$MCA = (1.25 \times RLA) + FLA \text{ ventiladores} = 1.25 \times 8.2 = 10.25 A$$

Se tomó solo el valor del RLA debido a que el manual no proporciona valor de FLA de los ventiladores, el cual está incluido en el valor RLA.

En el mercado nacional guatemalteco se pueden encontrar disponibles cables con especificación THHN, THWN-2 o MTW a 600 V, 90 °C,

seleccionaremos un conductor calibre 14 con ampacidad de 25 A (ANEXO 2, Tabla LXVI).

Figura 40. Datos mecánicos y eléctricos del equipo

INDOOR UNIT MODEL NUMBER		CBS12CD(I)	
OUTDOOR UNIT MODEL NUMBER		CBS12CD(O)	
Power supply	V/Hz/Ph	208-230V/60Hz/1P	
Cooling	Capacity	Btu/h	12000(3580-12965)
	Input	W	3520(1050-3800)
	Rated current	A	5.8(1.3-8.2)
	EER	W/W	3.83
	SEER	W/W	14
Indoor air flow (H/M/Ls)	m <sup>3</sup> /h	550	
Indoor noise level (H/M/Ls)	dB(A)	46/37/34	
Indoor unit	Dimension(W*D*H)	mm	777x258x295
		inch	30.6x10.14x11.61
	Packing (W*D*H)	mm	856x320x276
		inch	33.46x12.6x10.83
Net/Gross weight	KG	8/11	
	lbs	17.64/24.25	
Outdoor noise level	dB(A)	52	
Outdoor unit	Dimension(W*D*H)	mm	700x256x352
		inch	27.56X10.08X13.73
	Packing (W*D*H)	mm	796x356x375
		inch	31.42X14.02X14.73
Net/Gross weight	KG	25/28	
	lbs	55.12/61.73	
Refrigerant type	KG	R410A/0.54Kg	
Design pressure	PSIG	652/275	
Refrigerant piping	Liquid side/ Gas side	mm(inch)	46.35(1.82)/14(0.55)
	Max. refrigerant pipe length	m	15
	Max. difference in level	m	5
Thermostat type		Remote Control	
Operation temperature	°C	16-31	
Operation temperature	Indoor(cooling/heating)	°C	17-32/—
	Outdoor(cooling/heating)-optional	°C	0-50/—
Application area (cooling standard)	m <sup>2</sup>	15-23	

Como podemos observar en la tabla característica de un equipo con tecnología inverter de 12.000 Btu/h nominales, su capacidad varía desde 3.580 Btu/h hasta 12.965 Btu/h, el valor "input" es la potencia de refrigeración en W térmicos, este no es un valor eléctrico, el valor Rated current es el valor del RLA con el que calcularemos el interruptor y el conductor eléctrico.

Dimensiones del equipo interior y exterior para estimar espacios de instalación.

Tipo de refrigerante y cantidad de refrigerante a utilizar si el equipo no viniera precargado.

De esta tabla podemos sacar otros valores como el diámetro de la tubería de cobre de la línea de succion y descarga, 3/4" y 1/2".

La longitud máxima de tubería que se puede utilizar también está indicada en la tabla de referencia, 15 mts de distancia entre condensador y evaporador, altura máxima entre ambos 5 mts.

Otro valor que podemos obtener es el área que podemos "enfriar" con este equipo, hasta un máximo de 23 m<sup>2</sup>. Regulamente este valor oscila entre 15 a 17 m<sup>2</sup> por tonelada de refrigeración.

Fuente. ComfortStar. *Manual del equipo*. p.05

Se debe incrementar un 15 % en la longitud del cable por cada línea, debido a imprevistos en el recorrido.

$$\text{Longitud de cable por línea} = 9 \times 1.15 = 10.35 \approx 11 \text{ mts}$$

Cálculo de la protección de sobre corriente.

$$MOPD = (RLA \times 2.25) + FLA \text{ ventiladores} = 8.2 A \times 2.25 = 18.45 A$$

El valor del breaker será de 2 x 20 A, 240 V.

Se procederá a cuantificar materiales para instalación eléctrica, se usara tubería Conduit HG para intemperie, la trayectoria del tablero sobre la pared con ventana, luego cruzará hacia la unidad condensadora bajando verticalmente hacia una caja de registro, las fijaciones serán con tornillos, tarugos, además abrazaderas; en la tabla XXXVI se especifican las cantidades, precios unitarios obtenidos de tiendas de venta de materiales eléctricos en Guatemala actualizados a la fecha de elaboración del presente trabajo de graduación.

Tabla XXXVI. Integración de costos de materiales instalación eléctrica

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unit.</b>	<b>Total</b>	<b>Observaciones</b>
Abrazaderas hanger de 1/2"	8	Q 1.50	Q 12.00	Criterio de cuantificación, se instalará una abrazadera cada 1.5 mts
Bornera para cable calibre 12	1	Q 12.50	Q 12.50	Criterio de selección, para unión de cable TSJ con THHN
Breaker 2 x 20 A, General eléctrico o similar	1	Q 89.65	Q 89.65	Criterio de selección MOPD
Cable THHN No. 14 AWG Color Rojo	22	Q 1.90	Q 41.80	Criterio de selección MCA
Cable THHN No. 14 AWG Color Verde	11	Q 1.90	Q 20.90	Criterio de selección MCA
Cable TSJ 3 x 14	2	Q 7.55	Q 15.10	Criterio de selección, MCA y recomendación de fabricante para ingreso a bornera de equipo
Caja para intemperie 4" x 4" con prensa estopas	1	Q 27.25	Q 27.25	Criterio de selección, taquete de fijación por medio de tornillos
Conector recto LT de 1/2"	2	Q 9.16	Q 18.32	Accesorio de entrada para tablero y para conexión de conduit
Contratuercas bushing de 1/2"	2	Q 1.50	Q 3.00	Accesorio de fijación a caja de registro frente a condensadora
Copla Conduit HG de 1/2"	3	Q 3.25	Q 9.75	Accesorio para unión de tuberías
Conduit LR de 1/2"	2	Q 11.79	Q 23.58	Accesorio para cambio de dirección de tuberías
Conduit LB de 1/2"	1	Q 11.80	Q 11.80	Accesorio para cambio de dirección de tuberías
Tapadera ciega 4 x 4	1	Q 1.65	Q 1.65	Accesorio para cierre de caja de registro
Tarugo Fisher gris No. 8	10	Q 0.60	Q 6.00	Accesorio de fijación para caja de registro y abrazaderas
Terminal eléctrica tipo horqueta calibre 14	3	Q 1.00	Q 3.00	Accesorio para conexión de cable a bornera de equipo (condensadora)
Tornillos galvanizados No. 10 x 1 1/2"	10	Q 0.35	Q 3.50	Accesorio de fijación para caja de registro y abrazaderas
Tubería Conduit HG de 1/2" x 3 mts	4	Q 57.00	Q 228.00	Criterio de selección de diámetro en base a tabla XLVII, para uso intemperie
Tubería LT de 1/2"	6	Q 1.75	Q 10.50	Tubería para salida de tablero a tubería rígida
Tuerca bushing de 1/2"	2	Q 2.50	Q 5.00	Accesorio de fijación a caja de registro frente a condensadora
<b>Total</b>			<b>Q543.30</b>	

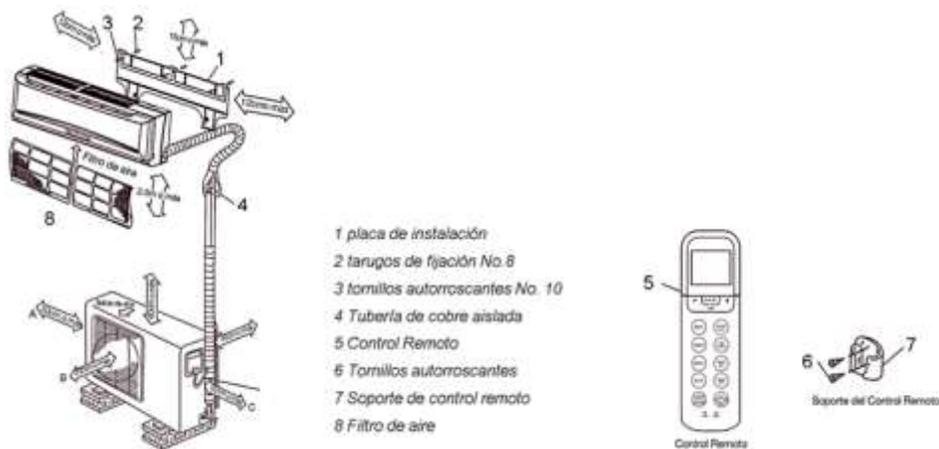
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Tubería de cobre para líneas de refrigerante. Del manual del equipo la descarga es de ¼” y la línea de succión es de ½”, regularmente todas las marcas de A/C de 1 a 2 TR traen kit de instalación que incluye cable de señal TSJ 4 x 18 entre manejadora-condensadora de 3 m, dos tuberías también de 3 m, estas vienen pre-aisladas,

Drenaje de condensado. El equipo necesitara drenar el agua que se genera en la unidad evaporadora debido al choque térmico del evaporador con aire a alta temperatura, El equipo viene provisto de una manguera flexible de ½” con longitud aproximada de 0.75 m. para pasar al otro lado de la pared drenando por gravedad, se instala un tubo de PVC de ¾” acoplado a la manguera de ½”.

La fijación de la unidad se hace por medio de bases plásticas, la unidad evaporadora cuenta con una platina para fijación en pared, la cual se fija con tornillos y tarugos

**Figura 41. Fijación de equipo y materiales a utilizar**



Fuente. Manual de instalación equipo ComfortStar. p10.

**Tabla XXXVII. Integración de costos materiales instalación refrigeración**

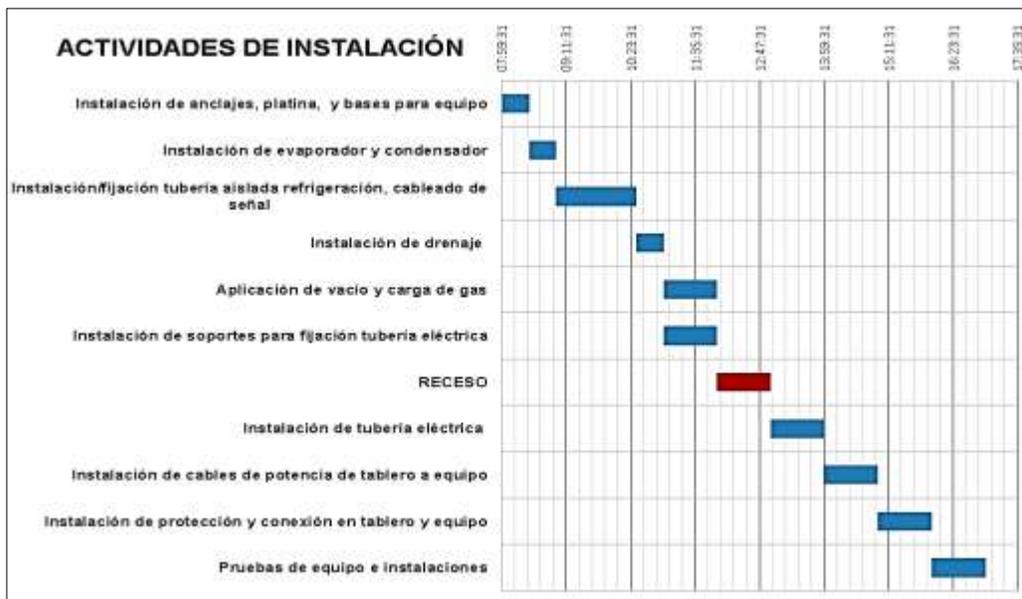
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio Unit.</b>	<b>Total</b>	<b>Observaciones</b>
Equipo de aire acondicionado de 12.000 BTU/h	1	Q 3,100.00	Q 3,100.00	Selección de equipo en base a requerimiento
Aislamiento Armaflex de 1/2" x 3/8" x 6 pies	0	Q 9.50	Q -	Aislamiento para tubería de 1/2"
Aislamiento Armaflex de 1/4" x 3/8" x 6 pies	0	Q 10.00	Q -	Aislamiento para tubería de 1/4"
Cinta foamtape	0	Q 40.00	Q -	Cinta aislante de temperatura de 1/8" de espesor
Tubería de cobre flexible de 1/4" x 1 pie	0	Q 3.65	Q -	Tubería de cobre línea de descarga
Tubería de cobre flexible de 1/2" x 1 pies	0	Q 8.50	Q -	Tubería de cobre línea de succión
Varillas de acero plata al 5%	2	Q 11.00	Q 22.00	Varilla de acero plata para soldar tubería, se puede roscar también, pero la soldadura evita fugas de gas
Presostato de baja presión	1	Q 46.00	Q 46.00	Dispositivo de protección por baja presión
Válvulas pinch de 1/4"	1	Q 5.00	Q 5.00	Válvula para instalación de presostato
Gas Refrigerante R-410	1	Q 30.00	Q 30.00	Gas refrigerante para nivelar presiones
Bomba de condensado 220 v	0	Q 340.00	Q -	Bomba para drenaje de condensado
Lata de MAP GAS	0.5	Q 75.00	Q 37.50	Gas para soldar
Tapón macho roscado 3/4	1	Q 5.00	Q 5.00	Accesorio para sífon de drenaje
Tee roscada PVC de 3/4	1	Q 6.00	Q 6.00	Accesorio para sífon de drenaje
Pegamento pvc	1	Q 37.28	Q 37.28	material consumible para pegar tubería de PVC
Tubo PVC 3/4 agua potable	1	Q 20.00	Q 20.00	Para fabricación de drenaje.
Codos PVC 3/4	5	Q 3.00	Q 15.00	Accesorio para sífon de drenaje
Lata de espuma de poliuretano	1	Q 80.00	Q 80.00	Espuma sellante para agujero en pared por donde sale la tubería
Abrazaderas hanger de 3/4"	3	Q 1.50	Q 4.50	Para fijación de tubería de PVC potable
Abrazaderas hanger de 1 1/2"	3	Q 2.60	Q 7.80	Accesorio de fijación de tubería de cobre
Tomillos de anclaje Kwick bolt de 5/16 x 2"	4	Q 4.00	Q 16.00	Para fijación de base plástica
Tomillo galvanizado No. 10 x 1 1/2"	10	Q 0.35	Q 3.50	Para fijación de abrazaderas
Tarugo Fisher gris No. 8	6	Q 0.50	Q 3.00	Para fijación de abrazaderas
Base tipo bloque plástica para unidad de 12,000 btu/h	1	Q 80.00	Q 80.00	Para fijación de condensadora

<b>Total</b>	<b>Q 3,518.58</b>
--------------	-------------------

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Mano de obra montaje mecánico-eléctrico, La instalación de un equipo de este tipo con alimentador de potencia se realiza con un técnico titular y un técnico auxiliar, el tiempo promedio es de un día (16 horas/hombre).

Figura 42. Diagrama de Gantt instalación de equipo mini Split



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Los salarios promedio para técnicos titulares en jornada diurna de 8 horas laborales dependen mucho de su experiencia y capacitaciones, un precio promedio de mercado ronda por Q 4000,00 a Q 5000,00 en la actualidad, mientras que para un técnico auxiliar el salario es el mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo para actividades no agrícolas Q 3075,10.

El costo de mano de obra no será únicamente el salario base y bonificación, existen otros costos como la cuota patronal del IGSS, con valor de 10,67 %, IRTRA 1 % e INTECAP 1 %, en total 12,67 %, además deben tomarse en cuenta

los costos de prestaciones, bono 14, aguinaldo, vacaciones, indemnización, esto de acuerdo a los portales del Ministerio de Trabajo e IGSS.

**Tabla XXXVIII. Salarios mínimos para Guatemala año 2020**

De conformidad con el “Acuerdo Gubernativo No. 320-2019 publicado en el Diario de Centroamérica el 30 de diciembre de 2019, se establece el salario mínimo que regirá a partir del uno de enero de 2020”<sup>51</sup>.

ACTIVIDADES ECONÓMICAS	HORA DIURNA ORDINARIA	SALARIO DIARIO	SALARIO MENSUAL	BONIFICACIÓN INCENTIVO	SALARIO TOTAL
NO AGRÍCOLAS	Q. 11.61	Q. 92.88	Q. 2,825.10	Q. 250.00	Q. 3,075.10
AGRÍCOLAS	Q. 11.27	Q. 90.16	Q. 2,742.37	Q. 250.00	Q. 2,992.37
EXPORTADORA Y DE MAQUILA	Q. 10.61	Q. 84.88	Q. 2,581.77	Q. 250.00	Q. 2,831.77

Fuente: Ministerio de trabajo y previsión social  
<https://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/dgt/salario-minimo>  
 Consulta: octubre 2020

<sup>51</sup> MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISION SOCIAL. Acuerdo gubernativo No. 320-2019. Consulta: 2020. <https://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/dgt/salario-minimo>.

Tabla XXXIX. **Costos salarios de técnicos con prestaciones y cuotas patronales**

COSTO MENSUAL TÉCNICO TITULAR		
Salario Base		Q4000,00
Bonificación mensual		Q250,00
Cuota patronal	12,67 %	Q506,80
Prestaciones	29,17 %	Q1166,88
		<u>Q5923,48</u>
Costo diario en base a 22 días laborales		Q269,25

PRESTACIONES		
Aguinaldo	Q4000,00	Equivalente a un salario
Bono 14	Q4000,00	Equivalente a un salario
Vacaciones	Q2000,00	Equivalente a 15 días
Liquidación	Q4000,00	Equivalente a un salario
Costo anual	Q14 000,00	12 meses
Costo mensual	Q1166,67	
% mensual	29,17 %	

COSTO MENSUAL TÉCNICO AUXILIAR		
Salario Base		Q2825,10
Bonificación mensual		Q250,00
Cuota patronal	12,67 %	Q357,94
Prestaciones	29,17 %	Q824,00
		<u>Q4257,04</u>
Costo diario en base a 22 días laborales		Q193,50

PRESTACIONES		
Aguinaldo	Q2825,10	Equivalente a un salario
Bono 14	Q2825,10	Equivalente a un salario
Vacaciones	Q1412,55	Equivalente a 15 días
Liquidación	Q2825,10	Equivalente a un salario
Costo anual	Q9987,85	12 meses
Costo mensual	Q823,99	
% mensual	29,17 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

El costo de mano de obra para este caso es entonces

$$\text{Mano de obra} = (\text{costo diario titular} + \text{costo diario auxiliar})$$

$$\text{Mano de obra} = (Q269,25 + Q193,50) = Q 462,75$$

El costo de implementación de este caso es la sumatoria de los materiales de refrigeración, materiales eléctricos y la mano de obra.

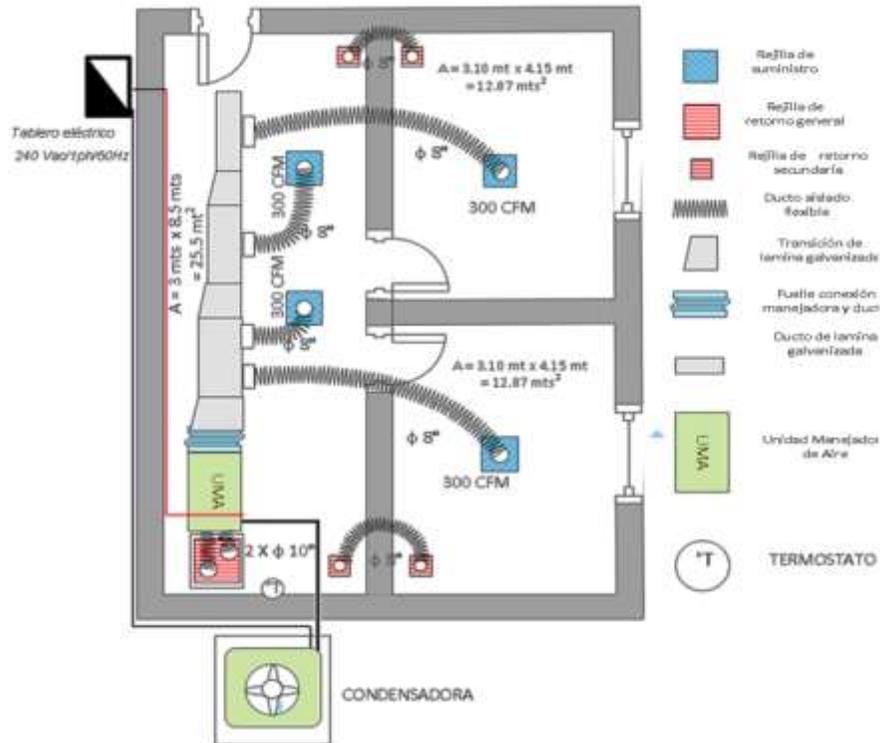
$$\text{Costo total} = Q543,30 + Q3 518,00 + Q462,75 = Q 4 524,05$$

## **9.2. Sistema de aire acondicionado tipo Split**

Es requerida la instalación de un equipo de aire acondicionado Split con ducto, tecnología convencional de 36 000 Btu/h eficiencia SEER 13, gas refrigerante R-410A, para un área de oficinas incluyendo el pasillo según las medidas de esquema de montaje, se requiere alimentador eléctrico de potencia, cableado de control, la información con que se cuenta es la siguiente:

- Distancia entre unidad evaporadora y condensadora 6,00 m
- Distancia a tablero eléctrico hasta condensadora 13,00 m
- Distancia a tablero eléctrico hasta evaporador 10,00 m
- La unidad condensadora se requiere de base para evitar contacto con el piso
- La canalización del alimentador de potencia deberá hacerse con tubería Conduit HG; fijada con abrazaderas metálicas
- La tubería de refrigeración deberá ser de cobre, con diámetros de acuerdo a capacidad del equipo, longitud 5,00 m
- La tubería de refrigeración deberá contar con aislamiento térmico
- Para el control del equipo se requiere de un termostato para encendido-apagado de la unidad
- El termostato deberá tener un medio de protección para evitar que el personal no autorizado lo maniobre

Figura 43. Esquema de ubicación, montaje de equipo Split y tablero eléctrico



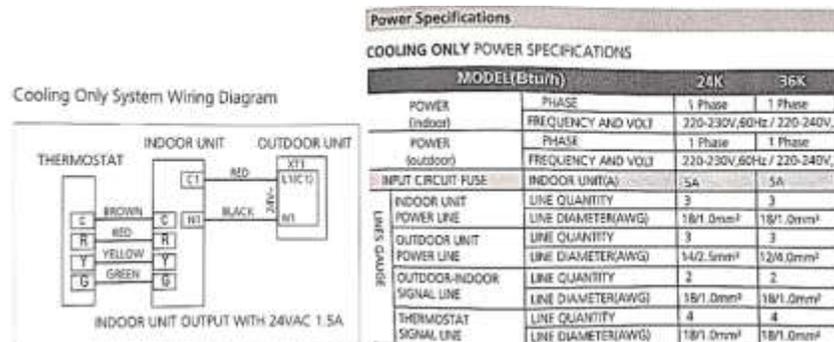
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio

Selección del equipo de aire acondicionado. En el requerimiento se indica la capacidad de 36 000 Btu/h (3 toneladas de refrigeración) con tecnología convencional, gas refrigerante R-410, el voltaje de suministro también es conocido, el estándar de estos equipos es 208-230 Vac/1ph/60Hz, por lo tanto, no habrá problema con el voltaje disponible.

El conductor de potencia se determina a partir del valor de la corriente indicada en la placa del equipo o en el manual, a diferencia de los equipos mini Split, los equipos Split requieren de alimentación independiente para el evaporador y para el condensador, por lo tanto, se obtienen dos circuitos de

potencia. La longitud de los dos conductores se conoce, si no se tuviera esta distancia se puede medir en campo.

Figura 44. Datos del manual



Fuente. ComfortStar. Manual del equipo p. 2

Tomando el valor del RLA del condensador 25,5 A el cálculo del valor de la corriente del ramal o el MCA es:

$$MCA = (1.25 \times RLA) + FLA \text{ ventiladores} = 1.25 \times 25.5 = 31.87 \approx 32 A$$

De la tabla LXVI (ANEXO 2) el conductor calibre 12 soporta hasta 30 A, el 10 hasta 40 A, el fabricante sugiere un calibre de conductor 12 AWG (Figura 102) en el renglón *OUTDOOR UNIT POWER LINE* columna 36K, pero está muy cercano al límite de calentamiento del conductor, provocando disparos continuos del protector de circuito, se estimarán tres líneas calibre 10 AWG siempre con un 15 % más de longitud para tomar en cuenta imprevistos o reserva en tablero.

$$\text{Longitud de cable por linea} = 13 \times 1.15 = 14.95 \approx 15 \text{ mts}$$

Para el alimentador de la unidad manejadora se tiene lo siguiente.

$$MCA = (1.25 \times RLA) + FLA \text{ ventiladores} = 1.25 \times 3.5 = 4.375 \approx 4.4 A$$

De la tabla XLVI (ANEXO 2) se selecciona el conductor del evaporador o UMA, como ya se mencionó el calibre 18 o 16 es utilizado para cableado de señal, por lo tanto, el conductor a utilizar será un calibre 14 AWG, en el manual indica un conductor 18 AWG en el renglón *INDOOR UNIT POWER LINE* columna 36K, pero, como se sabe por norma, no es recomendable usar este calibre.

$$\text{Longitud de cable por linea} = 10 \times 1.15 = 11.5 \cong 12 \text{ mts}$$

Cálculo del medio de desconexión. Los datos de placa también servirán para calcular la capacidad nominal o ampacidad del medio de protección del circuito ramal (Breaker).

Nota: el capítulo 6 indica que existe un régimen o ajuste de protección para Motocompresores individuales.

$$MOPD (\text{condensador}) = 25.5 \text{ A} \times 1.75 = 44.26 \text{ A}$$

Los fabricantes manufacturan cortacircuitos en múltiplos de 10, en este caso en particular se deben elegir uno de 40 o de 50 amperios, pero debido a que se hizo un ajuste de protección porque el conductor del ramal se seleccionó por arriba de la corriente calculada se tomará el cortacircuitos de valor inferior más cercano de 2 x 40 A para el condensador.

$$MOPD (\text{evaporador}) = 3.5 \text{ A} \times 2.25 = 7.87 \text{ A}$$

El de menor capacidad existente es de 15 A, por lo tanto, se tomará un cortacircuito (breaker) de 2 x 15 A para el evaporador.

Cálculo de fusible como medio de desconexión y protección, para el caso de un Split se dimensionarán los fusibles, debido a que el costo de este tipo de equipos es alto en comparación con una unidad mini Split. Funcionará como medio de desconexión del equipo en caso se necesite dar mantenimiento.

$$\textit{Tamaño del fusible} = 1.25 \times 25.5 = 31.875 \approx 32 \textit{ A}$$

Los materiales para la instalación eléctrica serán: tubería Conduit HG para el circuito del condensador, PVC para el circuito del evaporador, debido a que estará instalado en el interior del entretecho montado sobre la pared, la trayectoria será desde el tablero sobre la pared como se indica en el esquema, se instalará la caja de fusible para conexión del alimentador de potencia, las fijaciones se realizarán con tornillos, tarugos incluyendo abrazaderas tipo *hanger*.

Tabla XL. Integración de costos de materiales instalación eléctrica

Descripción	Cant.	Precio Unit.	Total	Observaciones
Abrazaderas hanger de 3/4"	18	Q 1.50	Q 27.00	Criterio de cuantificación, se instalará una abrazadera cada 1.5 mts
Breaker 2 x 40 A, General eléctrica o similar	1	Q 84.40	Q 84.40	Criterio de selección MOPD
Breaker 2 x 15 A, General eléctrica o similar	1	Q 92.30	Q 92.30	Criterio de selección MOPD
Cable THHN No. 14 AWG Color Rojo	24	Q 1.90	Q 45.60	Criterio de selección MCA
Cable THHN No. 14 AWG Color Verde	12	Q 1.90	Q 22.80	Criterio de selección MCA
Cable THHN No. 10 AWG Color Rojo	34	Q 4.20	Q 142.80	Criterio de selección MCA
Cable THHN No. 10 AWG Color verde	17	Q 4.20	Q 71.40	Criterio de selección MCA
Cable TSJ 3 x 10	2	Q 13.40	Q 26.80	Criterio de selección, MCA y recomendación de fabricante para ingreso a bornera de equipo
Cable TSJ 3 x 14	2	Q 7.55	Q 15.10	Criterio de selección, MCA y recomendación de fabricante para ingreso a bornera de equipo
Cable TSJ 2 x 18	5	Q 2.88	Q 14.40	Cable para señal entre condensador y evaporador sugerido por fabricante
Interruptor porta fusibles de 32 A 2 polos	1	Q 120.45	Q 120.45	Criterio de selección, taquete de fijación por medio de tornillos
Conector recto LT de 3/4"	2	Q 5.88	Q 11.76	Accesorio de entrada para tablero y para conexión de conduit
Contratuera bushing de 3/4"	2	Q 0.56	Q 1.12	Accesorio de fijación a caja de registro frene a condensadora
Copla Conduit HG de 3/4"	3	Q 4.59	Q 13.77	Accesorio para unión de tuberías
Copla Conduit PVC 3/4"	3	Q 0.56	Q 1.68	Accesorio para unión de tuberías
Condulet LR de 3/4"	2	Q 14.13	Q 28.26	Accesorio para cambio de dirección de tuberías
Condulet LB de 3/4"	1	Q 14.14	Q 14.14	Accesorio para cambio de dirección de tuberías
Caja cuadrada plástica gris para registro 4 x 4	2	Q 9.92	Q 19.84	Accesorio para acceso a cable
Tapadera ciega de 4 x 4	2	Q 1.66	Q 3.32	Accesorio para tapar cajas de registro
Curva 90° PVC	1	Q 1.03	Q 1.03	Accesorio para cambio de dirección de tuberías
Conector Conduit PVC de 3/4"	3	Q 1.37	Q 4.11	Accesorio par unión de tubería con cajas
Pegamento PVC de 1/32 de galón	1	Q 27.97	Q 27.97	Material consumible para pegar tubería PVC
Tarugo Fisher gris No. 8	30	Q 0.60	Q 18.00	Accesorio de fijación para caja de registro y abrazaderas
Terminal eléctrica tipo horqueta calibre 18	4	Q 1.00	Q 4.00	Accesorio para conexión de cable a bornera de equipo (condensadora)
Terminal eléctrica tipo horqueta calibre 14	6	Q 1.00	Q 6.00	Accesorio para conexión de cable a bornera de equipo (evaporadora)
Terminal eléctrica tipo horqueta calibre 10	6	Q 1.50	Q 9.00	Accesorio para conexión de cable a bornera de equipo (condensadora)
Tornillos galvanizados No. 10 x 1 1/2"	30	Q 0.35	Q 10.50	Accesorio de fijación para caja de registro y abrazaderas
Tubería Conduit HG de 3/4" x 3 mts	6	Q 57.00	Q 342.00	Criterio de selección de diámetro en base a tabla XLVII, para uso intemperie
Tubería PVC de 3/4" x 3 mts	4	Q 5.06	Q 20.24	Criterio de selección de diámetro en base a tabla XLVII, para uso intemperie
Tubería LT de 3/4"	6	Q 1.75	Q 10.50	Tubería para salida de tablero a tubería rígida
Conector recto LT de 3/4"	2	Q 2.50	Q 5.00	Accesorio de fijación a caja de registro frene a condensadora

**Total Q 1,215.29**

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

Tubería de cobre para refrigerante. Del manual del equipo la tubería de la línea de líquido es de 3/8”, la línea de gas es de 3/4”, los Split no traen tubería para instalación, habrá que estimar este costo para la instalación, ambas tuberías tienen una longitud de 5 m, de acuerdo a los datos del requerimiento.

Tabla XLI. **Datos de tubería de equipo Split de 36,000 Btu/h**

MODELO			CCU36-410
Refrigerante	Tipo	R410A	R410A
	Volúmen cargado	kg	1.65
Presión de diseño	MPa	4.2/1.5	4.2/1.5
Tubería de refrigerante	Lado líquido/lado gas	mm	9.52/ 19(3/8'/3/4')
	Max. longitud de tubo refrigerante	m	30
	Max. diferencia en nivel	m	20

Fuente. ComfortStar ficha del equipo Split CCU36-410. p.01.

Drenaje de condensado. El equipo necesitará drenar el condensado que se genera en la unidad evaporadora. La unidad manejadora de aire (UMA) o evaporador se instala en el entretecho de las oficinas, lo que permite que exista un desnivel en la tubería de drenaje para poder drenar por gravedad, el diámetro de la tubería a utilizar será de 1 1/4”, indicado en el manual del equipo, la unidad manejadora deberá tener una inclinación  $\geq 5^\circ$  para poder drenar el condensado hacia la bandeja que tiene internamente, adicional a esto deberá instalarse un sifón para evitar ingreso de plagas al igual que mal olor generado por el agua de drenaje, se instalará un tubo de PVC de 1 1/4", con aislamiento, para evitar derrames por condensación en la tubería, la trayectoria del drenaje será similar a la de la tubería de cobre, por lo tanto se asumirá 5,00 más de tubería incluyendo los accesorios.

Fijación de unidad condensadora. La fijación de la unidad se hace por medio de bases metálicas o bases plásticas, en este caso utilizaremos una base plástica tipo cilíndrica. La fijación de unidad evaporadora se hará de forma horizontal, por medio de dos soportes horizontales tipo trapecio, con riel Unicanal y varillas roscadas de 3/8", fijadas al techo por medio de tarugos metálicos de expansión cuando el techo es de concreto, si el techo es de estructura metálica se aprovecharán los soportes existentes.

En el caso de las unidades Split se requiere tubería de mayor diámetro, con una botella de Map Gas no será suficiente para realizar las soldaduras, por lo tanto, será necesario utilizar equipo de Oxígeno-Acetileno.

**Figura 45. Fijación de unidades condensadora y manejadora**



Fuente. ETCEE Guatemala Sur

**Tabla XLII. Integración de costos de materiales de fijación y drenaje**

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio Unit.</b>	<b>Total</b>	<b>Observaciones</b>
Abrazaderas hanger de 1 1/2"	4	Q 2.60	Q 10.40	Para fijación tubería de cobre
Abrazaderas hanger de 3/4"	4	Q 1.50	Q 6.00	Para fijación de drenaje
Adaptador macho roscado de 3/4"	1	Q 4.50	Q 4.50	Para fabricación de sifón
Arandela 3/8 galvanizada	24	Q 0.25	Q 6.00	Cuatro Arandelas por soporte
Armaflex de 1 1/8 de diámetro x 3/8" pared	1	Q 17.50	Q 17.50	Para aislamiento en tubería de drenaje en el interior de las oficinas
BASE PATA DE ELEFANTE DE 3" PARA CONDENSADORA	4	Q 27.00	Q 108.00	Accesorio de fijación para condensadora
Codos PVC 3/4"	5	Q 5.00	Q 25.00	Para fabricación de drenaje
Espuma de poliuretano lata	1	Q 38.00	Q 38.00	Para sellar pasa tubos en pared (agujeros)
Pegamento de contacto 1/8 de galón	1	Q 18.50	Q 18.50	Para pegar los tramos de armaflex
Reducidor de 1 1/4" a 3/4"	1	Q 8.50	Q 8.50	Para conexión de drenaje
Tapón hembra roscado 3/4"	1	Q 5.00	Q 5.00	Para fabricación de sifón
Tarugos grises Fischer No. 8	30	Q 0.50	Q 15.00	Accesorio para fijación de tuberías
Te de PVC 3/4"	1	Q 6.20	Q 6.20	Para fabricación de drenaje
Teflón 3/4"	1	Q 4.00	Q 4.00	Material consumible para PVC
Tornillos No. 10 x 1/1/2 busca rosca	30	Q 0.50	Q 15.00	Accesorio para fijación de tuberías
Tubo de PVC potable de 3/4"	1	Q 22.50	Q 22.50	Para drenaje de sistema
Tubo pluvial de 2"	0.5	Q 80.00	Q 40.00	Para protección de aislamiento en puntos de fijación con abrazadera (Figura)
Tubo PVC potable de 1 1/4"	0.5	Q 27.50	Q 13.75	Pequeño niple para unir el drenaje con el reducidor de 3/4"
Tuerca 3/8" galvanizada	24	Q 0.25	Q 6.00	Cuatro tuercas por soporte
Varilla roscada de 3/8" x 1 mts	4	Q 12.00	Q 48.00	Accesorio para fijación de UMA
Washa de presión 3/8 galvanizada	16	Q 0.25	Q 4.00	Cuatro Washas por soporte
TOTAL				Q 421.85

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

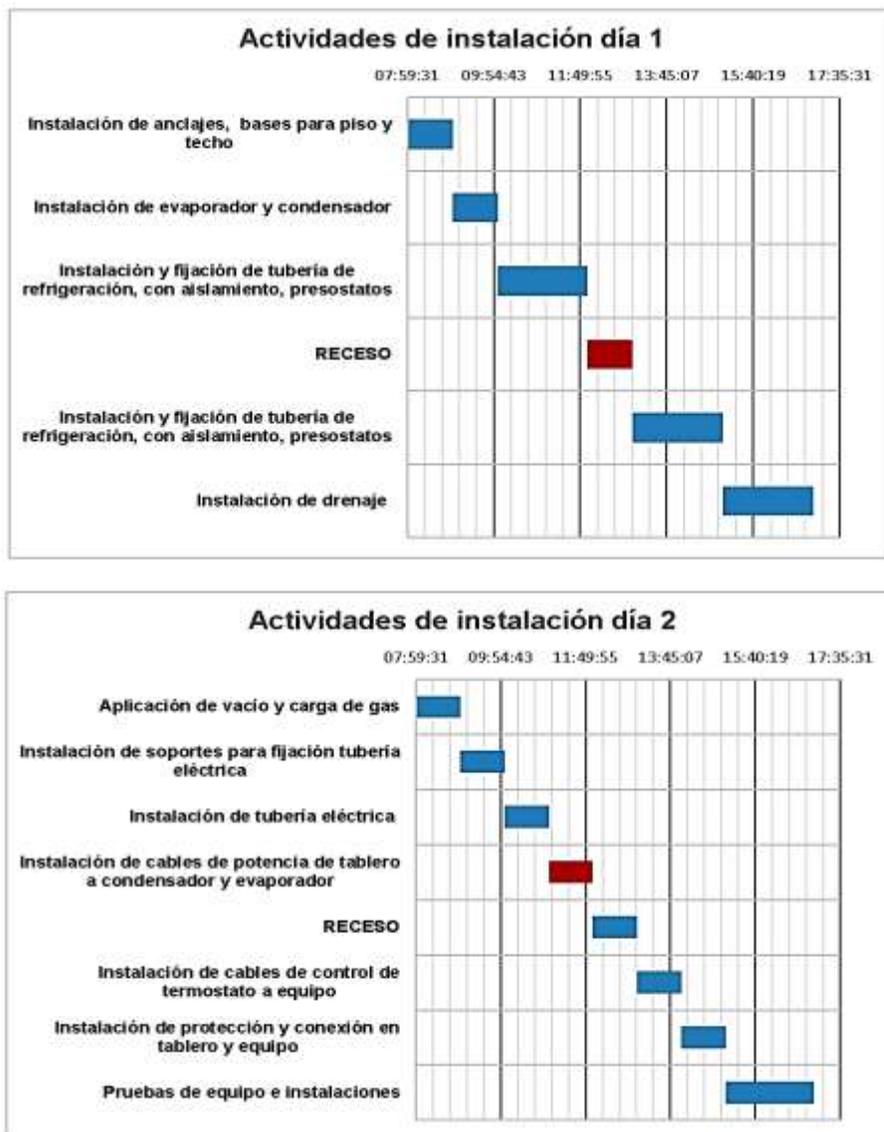
Tabla XLIII. Integración de costos materiales instalación refrigeración

<i>Descripción</i>	<i>Cant.</i>	<i>Precio Unit.</i>	<i>Total</i>	<i>Observaciones</i>
Equipo de aire acondicionado de 36.000 BTU/h SPLIT	1,00	Q 7 000.00	Q 7 000.00	Selección del equipo en base a requerimiento
Tramo de Armaflex de 3 / 4" x 6 Pies	3.00	Q 10.50	Q 31.50	Cantidad de aislamiento en base a longitud de tubería. para sistemas de A/C la pared del aislamiento es de 3/8"
Rollo de Cinta foamtape 2" x 20 pies	1.00	Q 32.00	Q 32.00	La cantidad a utilizar depende de las uniones entre aislamiento que hagamos, este está disponible solo por rollo
Metro de Tubería de cobre flexible de 3/4"	5.00	Q 45.00	Q 225.00	La longitud de tubería la establece el proyecto, el cobre lo está disponible por pie o por rollo hay que hacer la conversión para tener la cantidad de metros
Metro de Tubería de cobre flexible de 3/8"	5.00	Q 18.80	Q 94.00	La longitud de tubería la establece el proyecto, el cobre lo está disponible por pie o por rollo hay que hacer la conversión para tener la cantidad de metros
Codo de cobre 45° de 3/4 soldable	2.00	Q 6.00	Q 12.00	En instalaciones de este tipo siempre se requiere de algunos codos, aunque el tubo sea flexible, debido a que en algunos desarrollos de tubería hay que hacer cortes
Varillas de plata al 0%	4.00	Q 5.00	Q 20.00	El consumo de varilla de plata es variable depende de la experiencia del técnico que realice la soldadura, pero en promedio para instalaciones similares se usan de 3 a 4 varillas
Presostato de alta presión	2.00	Q 55.00	Q 110.00	Sistema de protección electromecánico para protección por alta y baja presión
Válvulas pinch de 1/4"	2.00	Q 5.00	Q 10.00	Accesorio para instalación de presostatos en las líneas de líquido y gas
Gas Refrigerante R-410 lata de 800 gr.	1.00	Q 75.50	Q 75.50	Este rubro es por imprevistos, porque algunos equipos no cuentan con carga de gas suficiente para operar en condición estable (Presión, Amperaje de placa, Temperatura etc.)
Termostato no programable	1.00	Q 225.00	Q 225.00	Solicitud del proyecto, para control de encendido y apagado
Guarda termóstato Acrílico	1.00	Q 70.00	Q 70.00	Solicitud del proyecto para control de acceso solo por personal autorizado
Filtro deshidratante 3 TON	1.00	Q 135.00	Q 135.00	Los filtros en A/C son necesario para eliminar humedad en el sistema, regularmente se usan en unidades con capacidades arriba de 2 TR con la expansión en el evaporador
Oxiacetileno	0.25	Q 350.00	Q 87.50	La carga de cilindros portátil tiene un costo de Q350.00, para proyectos similares dura para 6 a 7 usos
<b>Total</b>			<b>Q 8 127,50</b>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word

Mano de obra montaje mecánico-eléctrico, La instalación de un equipo de este tamaño con alimentador eléctrico de potencia se realiza con un técnico titular y un técnico auxiliar, el tiempo promedio es de dos días (32 horas/hombre).

Figura 46. Diagrama de Gantt instalación de equipo Split



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

De la tabla XXXIX se toma el precio por día de cada técnico y se tendrá lo siguiente:

$$\text{Mano de obra} = 2 \times (\text{costo diario titular} + \text{costo diario auxiliar})$$

$$\text{Mano de obra} = 2 \times (Q269.25 + Q193.50) = Q 925.50$$

El costo de implementación en este caso es la sumatoria de los materiales eléctricos, materiales de fijación, drenaje, materiales de refrigeración, mano de obra.

$$\text{Costo total} = Q1,215.29 + Q421.85 + Q8,127.50 + Q925.50 = Q 10,690.14$$

### **9.3. Sistema de aire acondicionado paquete**

Los equipos tipo paquete no requieren de muchos accesorios o componentes de refrigeración, debido a que son unidades auto contenidas, por lo tanto, para este tipo de equipos el único calculo por realizar es del alimentador de potencia e interruptor.

Un equipo de aire acondicionado tipo paquete de 60 000 Btu/h trifásico modelo PCE4B6032B tiene un alimentador THHN calibre 14 AWG, cuenta con un corta circuito de 30 A. el cortacircuitos se dispara constantemente, se sospecha que el circuito de potencia fue mal dimensionado, el equipo no cuenta con el kit de calefacción, se requiere el recalcu del circuito y del cortacircuitos.

Tabla XLIV. Datos eléctricos del equipo modelo PCE4B632B

ELECTRICAL DATA - 208/230-3-60 SINGLE SOURCE POWER

Model	Compressor			OD Fan Motor	Blower Motor	Electric Heat Option						MCA <sup>1</sup>		Max Fuse <sup>2</sup> or Breaker <sup>3</sup> Size									
	RLA	LRA	MCC	FLA	FLA	Heater Kit	Heater kW		Stages	Heater Amps		Total Unit		Unit Less Heater		Unit Heater Only		Total Unit		Unit Less Heater		Unit Heater Only	
							208	230		208	230	208	230	208	230	208	230	208	230	208	230	208	230
B60	18.0	110.0	24.9	1.7	7.0	none	--	--	--	--	--	28.7	28.7	28.7	28.7	-	-	40	40	40	40	-	-
						6HK06501025	7.2	8.8	1	20.0	22.1	32.0	34.7	28.7	28.7	25.0	27.6	40	40	40	40	25	30
						6HK06501525	10.8	13.2	1	30.0	33.2	44.5	48.5	28.7	28.7	37.5	41.5	45	50	40	40	40	40
						6HK06501825	13.0	15.9	2	36.0	39.8	52.0	56.8	28.7	28.7	45.0	49.8	60	60	40	40	45	50
						6HK16502025	14.4	17.6	2	40.0	44.3	57.0	62.3	28.7	28.7	50.0	55.4	60	70	40	40	-	-
						6HK16502525	18.0	22.0	2	50.0	55.3	69.5	76.2	28.7	28.7	62.5	69.1	70	80	40	40	-	-

NOTE: Single-source power MCA and MCP requirements are given here only for reference if the unit is to be installed with a field-installed single-point power modification.

Fuente. YORK, Unidades paquete PCE4

<https://www.york.com/for-your-home/package-equipment/pce4>

Consulta: enero 2020

De la tabla XLIV se obtienen los valores del RLA del compresor, FLA del ventilador condensador, FLA del ventilador evaporador (*Blower*), para calcular el MCA

$$\begin{aligned}
 MCA &= (RLA \text{ compresor} \times 1.25) + FLA \text{ ventiladores} \\
 &= (16 A \times 1.25) + 1.7 A + 7 A = 28.7 A
 \end{aligned}$$

Dando el valor de MCA1 de la tabla XLIV, con este valor se selecciona el conductor de la tabla XLVI (ANEXO 2), el THHN número 12 AWG es el adecuado con una ampacidad de 30 A.

Cálculo de la protección.

$$\begin{aligned}
 MOPD &= (RLA \text{ compresor} \times 2.25) + FLA \text{ ventiladores} \\
 &= (16 A \times 2.25) + 1.7 A + 7 A = 44.7 A
 \end{aligned}$$

El cortacircuitos comercial inferior más cercano al valor calculado es 3 x 40 A y no de 3 x 30 A como el que se encuentra instalado actualmente.

Con los valores calculados se puede observar que el alimentador está mal dimensionado, debido a que el calibre 14 AWG conduce hasta 25 amperios, el cortacircuitos acciona al 80 % de su capacidad esto es 24 amperios (30 x 0.8).

Es recomendable hacer el cambio de los conductores y cortacircuitos.

#### 9.4. Sistema de refrigeración

En una instalación de baja temperatura se encuentra instalado un equipo de refrigeración modelo BZT-1300L63, unidad para baja temperatura, calcular el cálculo del circuito de alimentación, interruptor, el contactor requiere cambio debido a que en el último mantenimiento se detectó que los platinos tienen desgaste, los datos de placa ya no son visibles.

Figura 47. Datos del equipo por modelo

BZT	0650	L	6	3
BZT Scroll Descarga horizontal	Potencia Nominal en HP 0650 - 6.5 HP 0700 - 7.0 HP 0750 - 7.5 HP 0860 - 8.6 HP 0900 - 9.0 HP 1000 - 10.0 HP 1300 - 13.0 HP 1400 - 14.0 HP		Refrigerante 2- HCFC-22 6- HCFC-404A/507	Características 3 = 208-230V-3-60HZ 4 = 460V-3-60HZ
		Rango de Aplicación L= Baja Temp. (TSS de -17.8 a -34.4°C) HFC-404A/507 H= Alta Temp. (TSS de 4.4 a -17.8°C) HFC-22		

Fuente. BOHN. Manual Unidades condensadoras enfriadas por aire Scroll  
<http://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT-012-BZ-03A-1-03-APM-Unidades-condensadoras-enfriadas-por-aire-SCROLL.pdf>

Consulta: enero 2020

Potencia eléctrica del equipo 13 HP, temperatura de succión de refrigerante para aplicación de baja temperatura -17.8 °C a -24.4 °C, disponible para gas refrigerante 404A y 507, voltaje de operación 208-230/3ph/60Hz.

Tabla XLV. **Especificaciones eléctricas modelos BZT**

Modelo	Compresor	Alimentación de energía		Compresor		Motor Ventilador		Consumo		MCA	MOPD
		Volts 60 HZ	Fases	RLA	LRA	Cantidad	Hp	FLA	(kw)		
Bajo Temperatura, R-22											
BZT-0650L23	ZS24K4E-TWC	208/230	3	26.9	189.0	1	1/3	2.7	7.9	36.4	60
BZT-0750L23	ZS33K4E-TWC	208/230	3	39.1	278.0	1	1/3	2.7	10.56	51.6	90
BZT-0900L23	ZS50K4E-TWC	208/230	3	47.4	350.0	2	1/3	5.4	12.79	64.7	110
BZT-1300L23	ZS48K4E-TWC	208/230	3	49.4	425.0	2	1/3	5.4	16.14	67.1	110
Bajo Temperatura, R-404A/R-507											
BZT-0650L23	ZS24K4E-TWC	208/230	3	26.9	189.0	1	1/3	2.7	8.21	36.4	60
BZT-0650L25	ZS24K4E-TWD	460	3	14.1	94.0	1	1/3	1.9	8.28	19.5	30
BZT-0750L63	ZS33K4E-TWC	208/230	3	39.1	278	1	1/3	2.7	11.81	51.6	90
BZT-0750L64	ZS33K4E-TWD	460	3	18.9	127	1	1/3	1.9	11.88	25.5	40
BZT-0900L63	ZS40K4E-TWC	208/230	3	47.4	350.0	2	1/3	5.4	14.16	64.7	
BZT-0900L64	ZS40K4E-TWD	460	3	22.7	175.0	2	1/3	3.8	14.2	33.4	50
BZT-1300L63	ZS48K4E-TWC	208/230	3	49.4	425	2	1/3	5.4	17.56	67.1	
BZT-1300L64	ZS48K4E-TWD	460	3	21.8	187	2	1/3	3.8	17.7	31	50

Fuente: BOHN, Unidades condensadoras enfriadas por aire Scroll

<http://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT-012-BZ-03A-1-03-APM-Unidades-condensadoras-enfriadas-por-aire-SCROLL.pdf>

Consulta: enero 2020

Cálculo del conductor. El amperaje mínimo del circuito es:

$$MCA = RLA \text{ compresor} \times 1.25 + FLA \text{ ventiladores}$$

Sustituyendo tenemos que el MCA será:

$$MCA = (49.4 A \times 1.25) + 5.4 A = 67.15 A$$

El paso siguiente será seleccionar el conductor de la Tabla XLVI (ANEXO 2), el conductor que mejor se adapta es un THHN calibre 6 AWG con ampacidad para 75 A.

Cálculo de dispositivo de protección:

$$MOPD = (RLA \text{ compresor} \times 2.25) + FLA \text{ ventiladores}$$

$$MOPD = (49.4 \text{ A} \times 2.25) + 5.4 = 116.55 \text{ A} \approx 117 \text{ A}$$

Comercialmente no existe un cortacircuitos de 117 A, seleccionar el valor comercial más cercano, tomando en cuenta que la ampacidad del conductor está por arriba del mínimo calculado, se selecciona el cortacircuitos comercial inferior de 3 x 100 A. Este valor no aparece en la tabla XLV, se puede ver que esa casilla aparece en blanco, sin embargo, para el mismo compresor solo que con gas R-22 se indica un cortacircuitos (MOPD) de 110 A.

Los equipos de refrigeración o aire acondicionado traen su contactor instalado de fábrica, la capacidad en amperios debe ser suficiente para soportar la corriente a plena carga únicamente del motocompresor, en este caso no se cuenta con los datos del contactor por lo tanto tenemos que:

$$\text{Tamaño del contactor} = RLA \text{ compresor} \times 1.25$$

$$\text{Tamaño del contactor} = 49.4 \text{ A} \times 1.25 = 61.75 \text{ A} \approx 62 \text{ A}$$

El valor del contactor en el equipo debe ser de 60 amperios, debido a que el amperaje máximo permitido por el compresor antes de que sufra fallas prematuras debe ser el valor más cercano al RLA, por lo tanto, se selecciona el valor comercial inferior más cercano al tamaño del contactor calculado.

## CONCLUSIONES

1. La importancia principal para que el estudiante o profesional conozca como tema prioritario los principios termodinámicos del ciclo de refrigeración radica en la forma que interactúan los refrigerantes con los componentes mecánicos.
2. Es necesario poder identificar los componentes mecánicos o electromecánicos básicos de un sistema de aire acondicionado y refrigeración para comprender su operación además de su estructura o construcción.
3. El saber diferenciar entre los segmentos de refrigeración comercial e industrial facilitará la determinación de los parámetros y condiciones de funcionamiento de un equipo.
4. Al definir las características de los motores para aplicaciones de refrigeración, el estudiante o profesional tendrá la capacidad de seleccionar, programar su reparación o sustitución de él, y de sus componentes auxiliares para su funcionamiento.
5. El conocer la forma en que se coordinan los deshielos en sistemas de refrigeración, además de su secuencia de operación en alta media y baja temperatura, ayudará a evitar bloqueos en evaporadores de cuartos refrigerados, de producción o almacenamiento de productos perecederos.
6. El dimensionamiento y selección de dispositivos en la presente investigación es un modelo básico que genera fiabilidad en los circuitos de

potencia, protección o maniobra de equipos de refrigeración o aire acondicionado.

7. El estudiante o profesional cuenta con la herramienta necesaria para la interpretación de esquemas eléctricos de los sistemas de refrigeración para la evaluación y prevención de fallas que le ayudarán al planteamiento de un programa de mantenimiento.
8. Se determina que, sí es posible el ahorro de energía eléctrica con la implementación de un equipo inverter, obteniendo un ahorro del 50 % del costo mensual de energía eléctrica en comparación con un equipo estándar, basado al cálculo de factibilidad de inversión en un equipo de este tipo.
9. El estudiante o profesional, al conocer cada uno de los componentes que integran un sistema de aire acondicionado o refrigeración, tiene la capacidad de cuantificar los materiales y presentar un presupuesto de instalación de este o analizar las condiciones de funcionamiento.

## RECOMENDACIONES

1. Actualizar y ampliar los conocimientos en el profesional como una herramienta para aumentar la competitividad, utilizar esta guía para crear el curso de análisis de sistemas eléctricos en máquinas frigoríficas que tendrá como requisito seguir la línea de los cursos de Mecánica analítica 1, Mecánica de fluidos y Termodinámica 1.
2. Crear un diplomado con bases termodinámicas para capacitar al estudiante en el funcionamiento de máquinas frigoríficas y sus sistemas eléctricos en la escuela de ingeniería mecánica eléctrica.
3. Desarrollar un estudio de las instalaciones eléctricas, dispositivos de seguridad y protección en aplicaciones industriales de amoniaco.
4. Seleccionar los motores de recambio o elementos de las instalaciones basados en las especificaciones normadas de cada motor o elemento de acuerdo a su aplicación, comparar las características técnicas del equipo con los catálogos del fabricante.
5. Desarrollar una investigación sobre las técnicas de control de deshielo con unidades supervisoras remotas a través de computadora o teléfonos inteligentes.
6. Implementar la electrónica de potencia por medio de accionamientos de motores de inducción para ajustes de velocidad de compresores, que

reducen las corrientes en el arranque y mantienen la fiabilidad en los circuitos de potencia o protección.

7. Implementar la cultura de prevención y evaluación de fallas, no se sugiere solo cambiar elementos de los circuitos, tomando en cuenta que el origen de una falla es una secuencia de eventos.
8. Reducir los costos de operación en instalaciones existentes sin tecnología inverter por medio de un plan de mantenimiento, instalar dispositivos de corto-ciclajes, monitores de voltaje, limpiar serpentines para lograr una eficiente transferencia de calor.
9. Concientizar al estudiante sobre la importancia y aplicación del conocimiento en el análisis de los sistemas mecánicos eléctricos y el impacto que tiene el análisis de costos para la toma de decisiones en la inversión de un proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AHRI, *Rango de eficiencia energética estacional. Consulta:2019*  
<https://www.ahrinet.org/homeowners/save-energy/seasonal-energy-efficiency-ratio>.
2. ALTHOUSE Andrew D, Turnquist Carl H, Bracciano Alfred F. *Modern Refrigeration and Air Conditioning. USA, Illinois. The Goodheart-Willcox Company Inc.2004. p.49. ISBN-13:978-1-59070-280-2 ISBN10 : 1-59070-280-8*
3. ASHRAE, *HVAC Applications Handbook. USA: 1999. 777p.*
4. ASHRAE, *HVAC Fundamentals. USA: 2001. 892p.*
5. BOHN. *Boletín 30 Tips sobre la protección eléctrica de motores en equipos HVAC. México: 2008. 12p.*
6. BOHN. *CH, CZ, MBHX, MBZX unidades condensadoras ¼ A 30 HP. México: 2019. 81p.*
7. BOHN. *Instalación del sistema de refrigeración. México: 2008. 44 p.*
8. BOHN. *APM-Unidades-condensadoras-enfriadas-por-aire-SCROLL.pdf. Consulta: Enero 2020.*  
<http://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT-012-BZ-03A-1-03->

9. *BRUMBAUGH, James E. HVAC FUNDAMENTALS VOL.1 Heating, system, 2004. USA 720 p.*
10. *BUQUÈ, Francesc, Manuales prácticos de refrigeración, Tomo IV. CEE, Directory of Efficient Equipment. USA. Consulta: 2019 <http://www.ceedirectory.org/>*
11. *CEE, Directory of Efficient Equipment. USA. Consulta: 2019 <http://www.ceedirectory.org>*
12. *CENGEL, Yunus A. Transferencia de Calor y Masa, un enfoque practico tercera edición. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2007. p.27. ISBN-13: 978-0-07-312930-3, ISBN-10: 0-07-312930-5.*
13. *CENGEL Yunus, Boles Michael A, Kanoglu Mehmet novena edición. Termodinámica. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana. 2019. P.171.*
14. *CHEMOURS Company, USA. 2015. P.1. <https://www.freon.com/es/-/media/files/freon/freon-134a-product-information.pdf?rev=2674f202b02e441b8bf1e4dfa33e35d1>*
15. *CHEMOURS Company, Freon 134a. USA. 2017 p.5. <https://www.freon.com/es/-/media/files/freon/freon-hp80-hp81-404a-push-bulletin.pdf?rev=25cc1ef81cf14a7ca3b09f065ba7f00b>*
16. *Copeland Brand Products, Refrigeration Manual, Part 1- Fundamental of Refrigeration. U.S.A. Sidney, Ohio: 1968. 40 p.*

17. *Copeland Brand Products, Refrigeration Manual, Part 2- Refrigeration System Components. U.S.A. Sidney, Ohio: 1967. 64 p.*
18. *Compresores Scroll de Danfoss SM, SY y SZ. Francia: 2016. 60 p.*
19. *COPELAND, INFORMACION TECNICA. Motores de Compresores Copeland Scroll. España: 2004. 11p.*
20. *COPELAND, BOLETIN DE INGENIERIA DE APLICACIÓN AE-1269-R2. Conexiones de las terminales del motor copelaweld. U.S.A. Sidney, Ohio: 1991. 01 p.*
21. *COPELAND, BOLETIN DE INGENIERIA DE APLICACIÓN AE-1076-R12. Conexiones de la placa de terminales para compresores de devanado bipartido. U.S.A. Sidney, Ohio: 1994. 04 p.*
22. *EATON, CUTLER-HAMMER. Módulo de aprendizaje 12: Interruptores de seguridad. México: 2019. 27 p*
23. *EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, Articulo Motores Eléctricos en Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción. México: 2005. 10 p.*
24. *EMERSON, Catálogo General de Productos 2019, Para refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. España: 2019. 315 p.*
25. *EPM, Normas técnicas en base a NTC-2050 y RETIE. 2005. 12 p.*
26. *ETCEE, Oficinas departamento de protecciones, Guatemala Sur. 2019*

27. *FULL GAUGE, Controlador VX-950 plus. Consulta: 2019*  
*<https://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/manual-de-produto-138-4.pdf>*
28. *GÜNTNER. Manual de instalación y operación, Evaporadores, Enfriadores de Aire. México: 2015. 32 p.*
29. *KILLINGER, Jerry. KILLINGER, LaDonna. HEATING AND COOLING ESSENTIALS. 3rd Edition. U.S.A.: 2003. 624 p.*
30. *MANUAL DE INSTALACIÓN EQUIPO, ComfortStar.*
31. *MASTER LOCK, Dispositivos de bloqueo/señalización y cumplimiento de la osha. Consulta: diciembre 2019*  
*<https://es.masterlocklatinamerica.com/industrial-safety/safety-lockout-tagout>*
32. *MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISION SOCIAL. Acuerdo gubernativo No. 320-2019. Consulta: 2020.*  
*<https://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/dgt/salario-minimo>*
33. *MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. Consulta: octubre 2020*  
*<https://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/dgt/salario-minimo>*
34. *NEC, NATIONAL ELECTRICAL CODE. Handbook. Massachusetts: 2011. 1512p.*
35. *NEMA. MG1-2009, Motors and Generators. USA.2009*

36. ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA, *Programas de Normalización y Etiquetado de Eficiencia Energética*, New York: 2015. 64 p.
37. REVISTA DIGITAL CERO GRADOS, México: junio 2015. 44p.
38. REVISTA DIGITAL CERO GRADOS, México: noviembre 2013. 44p.
39. ROBERTHAW. *Universal Defrost Timer 9145/9045 Series Sell Sheet*. U.S.A. Illinois: 2014. 04 p.
40. SERWAY Raymond A, Jewett John W. *FISICA para ciencias e ingeniería*. México D.F. 2008. p. 560. ISBN-13: 978-607-481-357-9 ISBN-10: 607-481-357-4
41. SPORLAN, BOLETIN 10-9(S1). *Válvulas de Expansión Termostática, Teoría de Operación, Aplicación y selección*. U.S.A. Washington: 2011. 20 p
42. SPORLAN, Boletín 100-20(S1). *Válvulas de Expansión Eléctricas SER, SERI, SEHI*. U.S.A. Washington: 2012. 20p.
43. SUGARMAN, SAMUEL C. *HVAC fundamentals*, GEORGIA, USA, 2005 309 p.
44. TOSHIBA. *Que es inverter*. Consulta: 2019. <https://www.toshiba-aire.es/que-es-inverter/>.

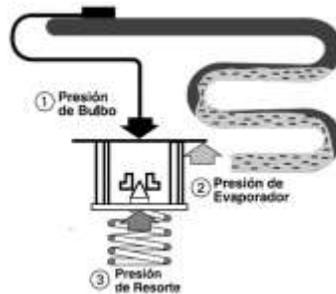
45. WHITMAN, William C. Johnson, William M. Tomczyk, John A. Silberstein, Eugene. *Refrigeration & Air Conditioning Technology. 6th Edition.* U.S.A.: 2009. 1457 p.
46. WHITMAN, William C, JOHNSON, William M. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, Tomo I, Fundamentos. España: 2000. 343 p.*
47. YORK, *Unidades paquete PCE4.* Consulta: enero 2020.  
<https://www.york.com/for-your-home/packaged-equipment/pce4>

## ANEXOS

### Anexo 1. Válvula de expansión termostática

La aguja está gobernada por un diafragma que lo controlan tres fuerzas, la presión de refrigerante en el evaporador debajo del diafragma que cierra la válvula, la fuerza del resorte que se puede calibrar por el vástago debajo del diafragma en la dirección de cierre, por último, una fuerza opuesta a las primeras dos ejercidas por la presión de refrigerante contenida en el bulbo térmico que regularmente se instala en la tubería de salida del evaporador.

- Operación básica de la VET



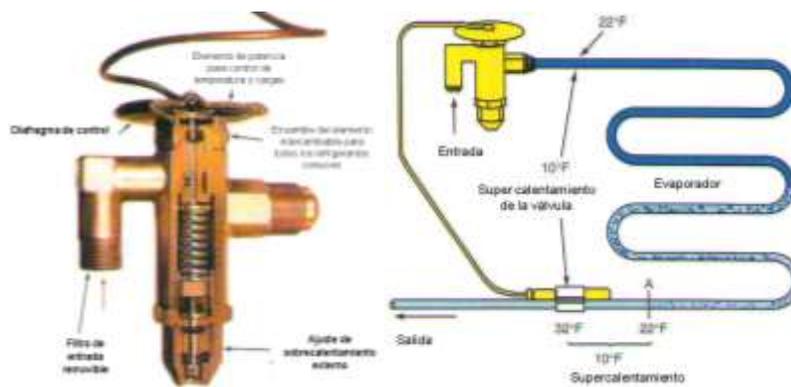
Fuente: SPORLAN. *Válvulas de Expansión Termostática*.

[www.sporlanonline.com/literature/international/s1/10-9\\_S1.pdf](http://www.sporlanonline.com/literature/international/s1/10-9_S1.pdf). Consulta: noviembre 2019

El bulbo está provisto de fábrica con una carga de gas refrigerante del mismo tipo al que está siendo utilizado en el sistema, por tal motivo al seleccionar una válvula deberá tomarse en cuenta este dato. Durante el tiempo que el bulbo esté expuesto a una temperatura superior debido a que el refrigerante en la salida

del evaporador absorbió calor del medio, ejercerá una presión mayor que la del refrigerante en el evaporador, por consiguiente, el efecto neto de las dos presiones producirá la apertura de la válvula. El resorte tiene una presión fija establecida de fábrica que hace que la válvula se cierre siempre que la diferencia entre la presión del bulbo y la presión del evaporador sea inferior a la fijada para el resorte.

- VET, corte transversal y ubicación de bulbo



Fuente: ALTHOUSE, Andrew D, TURNQUIST, Carl H, BRACCIANO, Alfred F. *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. p. 184, 187.

La válvula de expansión termostática es un dispositivo mecánico de control de refrigerante, pero es importante comprender su funcionamiento debido a que existe una variante de la válvula de expansión, con control eléctrico-electrónico.

## Anexo 2. Ampacidades admisibles en conductores aislados

Tabla 310.16 Ampacidades Admisibles de los Conductores Aislados para Tensiones Nominales de 0 a 1000 Voltios y 60°C a 90°C (140°F a 194°F) con No Más de Tres Conductores Portadores de Corriente en Una Canalización, Cable o Directamente Enterrados, Basadas en Una Temperatura Ambiente de 30°C (86°F).

Calibre de los Conductores	Regimen de Temperatura del Conductor (véase la Tabla 310.13)						Calibre de los Conductores
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RHP*, RHW*, THHW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THW*, THW-2, THWN-2, XHH, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RHP*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
AWG/kcmil	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG/kcmil
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	23	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1

Fuente. NEC, NATIONAL ELECTRICAL CODE *Handbook*. P. 336

- Tubería Conduit metálica y plástica para conductores

Tipo	Conductor Calibre (AWG/kcmil)	CONDUCTORES									
		Diámetro comercial (Pulgadas)									
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4
RH	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
RHH	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
RHW-2											
RH RHH RHW RHW-2	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	36
	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	2/0	0	1	1	1	2	4	6	10	13	17
	3/0	0	0	1	1	2	3	5	8	11	14
	4/0	0	0	1	1	1	3	5	7	9	12

Fuente. Normas técnicas EPM en base a NTC-2050 y RETIE

<https://www.epm.com.co/site/Portals/3/Users/001/1/RA8-004.pdf?ver=2018-02-20-162353-810>

Consulta: enero 2020