



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO
PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

Nelson Cáceres Toledo

Asesorado por el Ing. Álvaro Raúl Gaitán Cerezo

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO
PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NELSON CÁCERES TOLEDO

ASESORADO POR EL ING. ÁLVARO RAÚL GAITÁN CEREZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

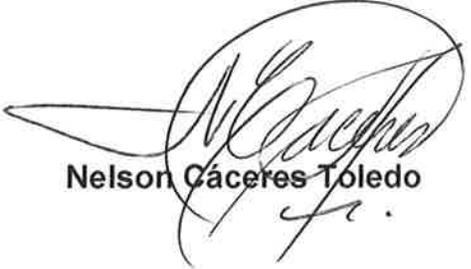
DECANO	Ing. Julio Gonzalez Podzueck
EXAMINADOR	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
EXAMINADORA	Inga. Liliana López González
EXAMINADOR	Ing. Hermenegildo Argueta Morales
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de marzo de 2012.



Nelson Cáceres Toledo

Guatemala 16 de febrero del 2013

Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
Coordinador de Laboratorio
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Chicojay:

Reciba un cordial saludo, el motivo de la presente es para manifestarle que revisé y aprobé el documento y maqueta de trabajo de tesis: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRIO PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO", desarrollado por la estudiante Nelson Cáceres Toledo, carné 84 10874

Sin otro particular, agradezco su amable atención.

Atentamente,


Ing. Álvaro Raúl Gaitán Cerezo
Colegiado No. 4081

Alvaro Raúl Gaitán Cerezo
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 4081

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador de Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, **IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**, del estudiante Nelson Cáceres Toledo, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Anibal Chicoy Coloma
Coordinador de Area

Guatemala, abril de 2013.

behdei.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador de Laboratorios, al Trabajo de Graduación titulado IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO del estudiante Nelson Cáceres Toledo, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2013

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 445 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL ELÉCTRICO DE UN CUARTO FRÍO PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**, presentado por el estudiante universitario: **Nelson Cáceres Toledo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 24 de junio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fortaleza, por guardarme, por todas las bendiciones que he recibido de Él, incluyendo la culminación de mis estudios universitarios.
Mi familia	Porque han sido parte de mi formación como persona.
Mi padre	Justo Cáceres Flores (q.e.p.d.) por ser la fortaleza de mi juventud.
Mi universidad	Fue en ella en donde encontré la inspiración para buscar el conocimiento de mi vocación y en ella pasé los muy buenos tiempos.
Pueblo de Guatemala	Por darme la oportunidad de estudiar una profesión.
Mis amigos	Sergio Perdomo, Raúl Girón, Carlos García, Oscar Caceros, Sergio Andrino, Lilian Linares, Astrid Pineda, Luis Sierra, Sergio Rodríguez, Nora De La Roca y todos aquellos que estuvieron pendientes de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi esposa** Victoria del Carmen Gonón Ardon, por su amor, paciencia y tolerancia en cualquier momento.
- Mi hija** Carmen Noelia Cáceres Gonon, por su gran ayuda, apoyo y empuje para la realización de este trabajo.
- Mi asesor** Álvaro Raúl Gaitán, por su asesoría y apoyo desinteresados durante el proyecto y en la realización del informe final.
- Ing. Julio Campos** Por su apoyo y amistad, por ser mi mentor en el caminar de la vida y del conocimiento.
- Mi madre** Miriam Renata Toledo, por ser la madre más dulce y amorosa que se pueda imaginar, porque en ella se encuentra un ejemplo a seguir.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UN CUARTO FRÍO.....	1
1.1. Generalidades de los cuartos fríos	1
1.2. Funcionamiento general del sistema de refrigeración.....	10
1.2.1. Funcionamiento mecánico.....	11
1.2.2. Funcionamiento eléctrico.....	15
2. CONTROLES ELÉCTRICOS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	25
2.1. Diagrama eléctrico	26
2.2. Descripción del diagrama eléctrico	29
2.3. Descripción del ciclo de deshielo o descongelación	30
2.4. Descripción de los elementos eléctricos del diagrama.....	34
2.4.1. Fusibles y disyuntores termomagnéticos.....	34
2.4.2. Cables	39
2.4.3. Relevadores y válvula solenoide	41
2.4.4. Termostato.....	44
2.4.5. Presostatos.....	49

2.4.6.	Temporizadores (reloj para deshielo)	54
2.4.7.	Termodisco.....	54
2.4.8.	Resistores	55
2.4.9.	Condensadores eléctricos (capacitores)	55
2.4.10.	Transformadores de baja tensión.....	57
2.4.11.	Ventiladores eléctricos	58
2.5.	Simbología utilizada en los diagramas eléctricos de refrigeración.....	61
3.	SIMULADOR	63
3.1.	Materiales de construcción del simulador.....	63
3.2.	Construcción del simulador	67
3.3.	Descripción y uso del simulador	69
3.4.	Procedimiento para la utilización del simulador.....	71
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

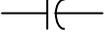
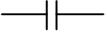
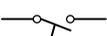
FIGURAS

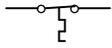
1.	Diagrama del ciclo de refrigeración por compresión de vapor	3
2.	Diagrama del ciclo de refrigeración por gas.....	4
3.	Diagrama del ciclo de refrigeración por absorción	5
4.	Elementos de refrigeración mecánica para cuarto frío	12
5.	Corriente alterna producida en un alternador de 2 polos	17
6.	Diagrama eléctrico del sistema de refrigeración de un cuarto frío	28
7.	Reloj controlador de deshielo	32
8.	Diagrama del ciclo de deshielo	33
9.	Fusible tipo tapón.....	35
10.	Figura tipo cartucho	36
11.	Cortacircuitos termomagnético	38
12.	Relevador utilizado en el simulador	42
13.	Válvula solenoide para refrigeración.....	43
14.	Termostato del tipo con bulbo.....	47
15.	Presotatos precalibrados de alta y baja presión	53
16.	Ventiladores	59
17.	Esquema de simulador en su forma real	68

TABLAS

I.	Calores específicos de alimentos.....	9
II.	Calibre de cables AWG	41

LISTA DE SÍMBOLOS

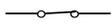
Símbolo	Significado
	Bobina electromagnético de relevador.
	Bobina de inducción para motores eléctricos.
	Elemento térmico del relevador de sobrecarga.
	Capacitor.
	Contacto normalmente abierto.
	Contacto normalmente cerrado.
	Interruptor de circuito.
	Interruptor de flujo normalmente cerrado.
	Interruptor de flujo normalmente abierto.
	Interruptor de presión normalmente cerrado.
	Interruptor de presión normalmente abierto.



Interruptor térmico normalmente cerrado.



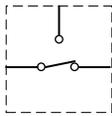
Interruptor térmico normalmente abierto.



Interruptor de tiro normalmente cerrado.



Interruptor de tiro normalmente abierto.



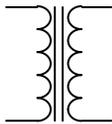
Interruptor de doble tiro.



Resistencia fija.



Resistencia variable.



Transformador de voltaje.

GLOSARIO

AWG	Norma Americana de Calibres de Cables (American Wire Gauge).
BTU	Unidad Térmica Británica.
Microfaradio	Unidad de medida de capacidad de condensación eléctrica (milésima parte de un faradio).
NEMA	Asociación de Normas para Manufactura Eléctrica (National Electric Manufacturers Association).
Presostato	Control o interruptor accionado por acción de la presión.
Relevador	Elemento eléctrico que acciona con inducción eléctrica, haciendo un electroimán que cierra contactos.
Resistor	Resistencia o resistor, es un elemento eléctrico que su función es calentar mediante la resistencia de paso de electrones.

Termostato

Control o interruptor accionado por la acción de la temperatura.

Termodisco

Interruptor precalibrado que acciona con diferencia de temperatura.

RESUMEN

Existe la necesidad didáctica de tener un simulador para la representación de los controles eléctricos, que dominan el funcionamiento mecánico de un cuarto frío. Por lo que se anotan algunas generalidades de la necesidad de tener un cuarto frío y su función en la industria, explicando su funcionamiento desde dos puntos de vista: mecánico y eléctrico, ya que el funcionamiento físico de la refrigeración es mecánico, pero, es necesaria la acción del ciclo de refrigeración como en el sistema de control.

El simulador que este trabajo de tesis presenta es básico, en el que se pueden observar elementos eléctricos fundamentales, detallados uno a uno en todo el contexto, algunos elementos se detallan ampliamente, ya que son elementos de suma importancia en los ciclos de refrigeración, tales como: los termostatos, presostatos y temporizadores, aunque, por otro lado, se da breve información de elementos puramente eléctricos tales como: condensadores eléctricos, resistores, etcétera.

El descongelamiento o deshielo del evaporador de los equipos de refrigeración es uno de los ciclos que deben controlarse en los cuartos fríos, por lo que se expone el funcionamiento teórico y el funcionamiento real en el simulador, en los que intervienen los mismos elementos de control y función, tales como: el reloj temporizador del ciclo, la resistencia encargada del descongelamiento, el ventilador de evaporador y el termodisco que finaliza el ciclo de deshielo.

En el final de este estudio se indica como fue construido el simulador y los elementos que se utilizaron para dicho fin, así como, se indica detalladamente el funcionamiento y la forma de uso del simulador.

OBJETIVOS

General

Construcción de un simulador de controles eléctricos para cuartos fríos o cámaras refrigeradas y el análisis del diagrama eléctrico del funcionamiento de los mismos, para que el estudiante y futuros profesionales de la rama de Ingeniería Mecánica sean capaces de identificar, conectar y manipular cada uno de los elementos de estos sistemas de control.

Específicos

1. Que el estudiante adquiera conocimiento general del funcionamiento de congeladores y cuartos fríos.
2. Que el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Carlos de Guatemala; cuente con una maqueta didáctica para el curso de refrigeración y aire acondicionado.
3. Para que el futuro profesional conozca los principios básicos del ciclo de refrigeración, tales como: el funcionamiento mecánico, el funcionamiento eléctrico y de control, así como, todos sus componentes.
4. Que los profesionales en el campo, tengan la habilidad de solucionar cualquier problema en los circuitos eléctricos de control de los cuartos fríos.

5. Que el estudiante mediante el análisis de la maqueta pueda entender fácilmente los controles eléctricos de los sistemas de refrigeración para los cuartos fríos.
6. Que los maestros tengan una herramienta didáctica para facilitar la enseñanza en la Escuela de Ingeniería Mecánica.
7. Que el estudiante sea capaz de reconocer, conectar y manipular cada elemento eléctrico de control en un sistema de refrigeración y los diferentes tipos de deshielo de cuartos fríos.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la refrigeración existe poca información acerca de los sistemas eléctricos de control de los equipos a operar, por lo que se hace necesario en la educación acudir a información en libros de educación eléctrica y asociarlos con las necesidades de los sistemas de refrigeración. El control eléctrico de los sistemas de refrigeración de los cuartos fríos es similar a cualquier control de refrigeración, aunque incluye otras adaptaciones como el ciclo de deshielo, cuyo funcionamiento se analizará en este trabajo.

El simulador de controles eléctricos permite visualizar el control eléctrico del ciclo de funcionamiento del equipo de refrigeración de un cuarto frío, considerado el ciclo de refrigeración y el ciclo de deshielo del evaporador, así como, de todo el funcionamiento en general.

La función básica de la mayoría de los dispositivos de control consiste en conectar o interrumpir un circuito eléctrico que controla un contactor, una bobina solenoide o alguna otra parte eléctrica del sistema. Se encuentran en el mercado controles que pueden conectar o interrumpir un circuito al subir o bajar la presión o la temperatura. El tipo de acción requerido, depende de la función del control y del medio que ha de controlarse.

El punto en el que un control cierra un contactor y establece un circuito se llama punto de conexión. El punto en el que un control interrumpe el circuito se llama punto de desconexión. La diferencia entre los puntos de conexión y desconexión se conoce como: el diferencial.

Un diferencial muy pequeño mantiene un control preciso pero puede motivar ciclos cortos en el compresor. Un diferencial grande proporcionará un mayor ciclo de funcionamiento, pero puede producir fluctuaciones en la presión o temperatura que está siendo controlada. Por lo tanto, el diferencial de funcionamiento normal debe ser un valor intermedio.

El diferencial puede ser fijo o ajustable, según sea la construcción del control. El ajuste varía según el tipo y el fabricante. En ciertos controles, los puntos de conexión y desconexión pueden colocarse en los puntos deseados. En muchos controles de presión, el diferencial es ajustable y ello afecta el punto de conexión y desconexión.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UN CUARTO FRÍO

1.1. Generalidades de los cuartos fríos

El proceso de refrigerar consiste en conseguir una temperatura más baja que la del ambiente inmediato. En cualquier sistema práctico de refrigeración el mantener la baja temperatura requiere la extracción de calor de la cámara a refrigerada y la entrega de este calor a un ambiente con temperatura más alta.

Los cuartos fríos en la actualidad funcionan con sistemas de refrigeración mecánicos que se encargan de extraer el calor de las cámaras refrigeradas y mandarlas al ambiente exterior. Existen varios mecanismos fisicoquímicos para lograr la refrigeración de una cámara o cuarto. Los sistemas o ciclos de refrigeración más usuales son:

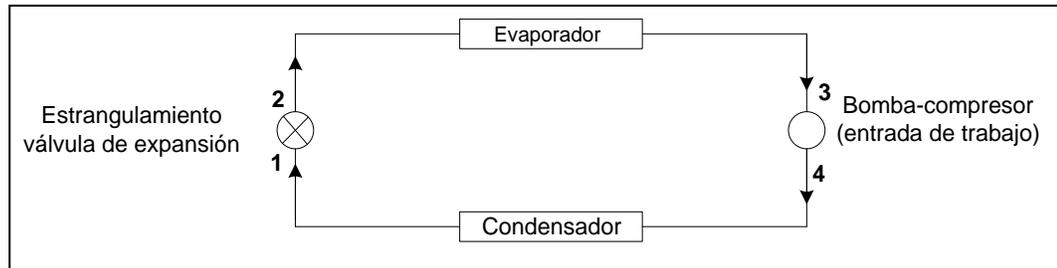
- Ciclo de refrigeración por compresión de vapor
- Ciclo de refrigeración por gas
- Ciclo de refrigeración por absorción
- Ciclo de refrigeración por vacío

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor: se utiliza un sistema sellado de gas refrigerante en el que se eleva la presión del vapor para extraerle el calor excedente y condensarlo para hacerlo pasar por una válvula de expansión, que es la encargada de vaporizar el gas sin aumento de temperatura, entonces de forma natural el gas gana calor, enfriando todo su entorno, al tiempo que baja su presión, entonces el compresor vuelve a elevar la presión del gas repitiendo el ciclo. Si se observa la figura 1 se pueden ver los puntos siguientes:

- Trayectoria 1 a 2 estrangulamiento que lleva a cabo la válvula de expansión y es en el puente en el cual el gas se vaporiza o cambia de estado líquido a gaseoso.
- Trayectoria de 2 a 3 cuando el gas sale de la válvula de expansión llega al evaporador en donde absorbe calor de todo su entorno y lo enfría.
- Trayectoria de 3 a 4 el compresor comprime el vapor cargado de calor entonces le sube la temperatura y lo manda al condensador.
- Trayectoria de 4 a 1 el gas entra al condensador y este se encarga de enfriarlo y condensarlo mediante la extracción de calor y así lo hace pasar nuevamente por la válvula de expansión, repitiendo de nuevo el ciclo.

En el presente trabajo, el ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el ciclo en el cual se enfoca, ya que goza de gran precisión y confiabilidad y es el más comercializado en el mercado de la refrigeración. En este capítulo se detalla al referirse al funcionamiento mecánico.

Figura 1. **Diagrama del ciclo de refrigeración por compresión de vapor**



Fuente: GRANET, Irving. Termodinámica. p. 552.

El ciclo de refrigeración por gas utiliza velocidad de aire como refrigerante debido a su disponibilidad y seguridad; sin embargo, debido a su alto costo de operación y bajo coeficiente de operación se ha quedado obsoleto, pero en la actualidad es ampliamente utilizado en cámaras de aviones de alta velocidad.

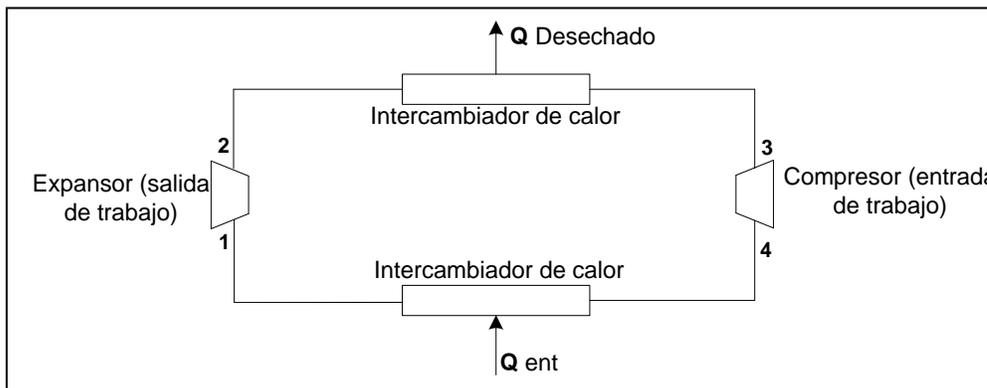
El ciclo consiste en un expansor o turbina, un compresor o ventilador centrífugo y dos intercambiadores de calor.

Si se observa la figura 2 se pueden seguir los pasos de la trayectoria del proceso de enfriamiento.

- Trayectoria 1 a 2: el aire se enfría al pasar por el intercambiador de calor, por lo que el gas interno del sistema gana calor.
- Trayectoria 2 a 3: después que el gas gana calor el compresor lo comprime elevando su temperatura.
- Trayectoria 3 a 4: se enfría el gas interno mediante un intercambiador de calor a presión constante.

- Trayectoria 4 a 1: el gas se enfría hasta el estado 1 mediante expansión a entropía constante durante la que se extrae trabajo del sistema.

Figura 2. **Diagrama del ciclo de refrigeración por gas**



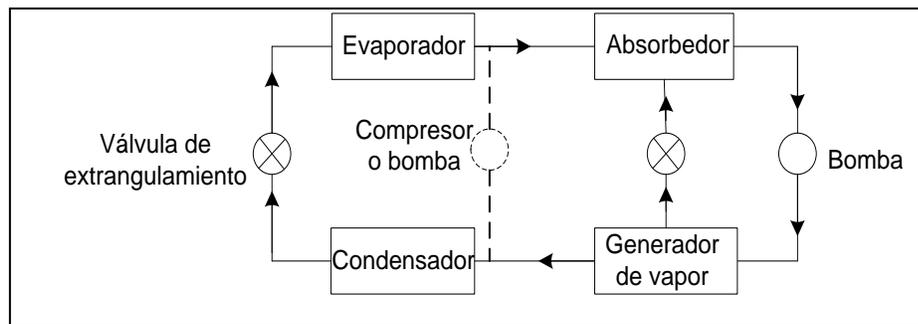
Fuente: GRANET, Irving. Termodinámica. p. 574.

El ciclo de refrigeración por absorción reemplaza el bombeo del compresor del ciclo, por compresión de vapor simple por una fuente de calor equivalente, la cual al elevar la temperatura incrementa la presión. En la práctica este ciclo conduce a ciertas complicaciones en el bombeo y es usual encontrar que el sistema por compresión de vapor tiene un índice más elevado que el sistema de absorción.

El ciclo de refrigeración por absorción más común es el que usa amoníaco como refrigerante. En términos del ciclo mostrado en el diagrama, la solución de amoníaco en el generador de vapor se calienta para crear vapor de amoníaco. El vapor de amoníaco liberado en el generador de vapor continúa su trayectoria hasta el condensador, entonces pasa por la parte convencional del ciclo, al igual que el ciclo de compresión de vapor.

Después de salir del evaporador el amoniaco entra al absorbedor. La solución débil en el generador de vapor se mezcla con el amoniaco del absorbedor, donde la solución débil absorbe el amoniaco y la solución fuerte resultante se bombea al generador. En la figura 3 se muestra un ciclo de refrigeración por absorción.

Figura 3. Diagrama del ciclo de refrigeración por absorción



Fuente: GRANET, Irving. Termodinámica. p. 579.

El ciclo de refrigeración por vacío, en el sistema se bombea el aire existente para bajarle la presión, a medida que la presión de la campana se disminuye, no puede observarse cambio alguno en el frasco. Para todos los propósitos prácticos, solamente se evacua el aire y el agua permanece. A medida que la presión del sistema alcanza la presión de saturación (aproximadamente 19 milímetros de mercurio absolutos) el agua aparentemente hervirá de manera violenta. En realidad la violenta agitación del agua se debe al aire que fue absorbido para el calentamiento del agua. A continuación, una vez que ha menguado este movimiento violento, el bombeo disminuirá la presión por debajo del valor de saturación inicial.

A medida que esto ocurre, el vapor de agua se apartará de la superficie del líquido y la temperatura del fluido que permanece disminuirá hasta que corresponda a la presión que hay en la cámara.

La disminución de la temperatura es originada por la disminución de la energía interna del líquido remanente que requiere la energía necesaria para evaporar parte del líquido a la presión inferior. De este modo, reduciendo la presión ha sido posible disminuir la temperatura del líquido debajo de la de sus alrededores. En este caso se ha obtenido un cambio de fase de líquido a sólido.

El cuarto frío es el lugar determinado para la manipulación de productos frescos y productos no elaborados. También es uno de los lugares de recepción de mercancías para que posteriormente sean ordenados en las distintas neveras.

En cocinas grandes existen cuartos fríos que se diferencian por el producto que almacenan, por ejemplo, carne, pescados, verduras, cuarto frío de pastelería y cuarto frío para producción. Pero en general, todos son cámaras cerradas y cuya temperatura nunca debería sobrepasar los 16 grados Celsius.

El control de la temperatura adecuada de almacenamiento es esencial para mantener la calidad del producto fresco. Cuando existe una construcción y mantenimiento de cuartos fríos los productores, empacadores y expendedores pueden reducir bastante el costo total proveniente del uso de este tipo de estructura.

Muchas frutas y vegetales tienen una vida corta después que han sido cosechadas a la temperatura normal del cultivo. Si el producto se enfría después de la cosecha entonces se remueve rápidamente este calor de campo, permitiendo así períodos relativamente amplios de almacenamiento y ayuda a mantener la calidad hasta el consumidor final, brindando al mercado cierta flexibilidad permitiendo el aumento en las ventas del producto en un mayor tiempo.

Si se tiene refrigeración e instalaciones de almacenamiento, no es necesaria la venta del producto inmediatamente después de la cosecha. Como se ha explicado anteriormente, esto será una ventaja para aquellos agricultores que se hallan en zonas lejanas a los principales centros del país.

La capacidad de enfriamiento y la de almacenamiento dependen del tamaño de la estructura y de la capacidad del sistema de refrigeración, así que, es básico determinar la cantidad de producto que se desea enfriar y almacenar. Un sistema de refrigeración puede semejar a una bomba que mueve calor de una parte a otra.

La capacidad de enfriamiento es una medida de la velocidad a la que un sistema puede transferir energía calorífica y es expresada normalmente en toneladas. Una tonelada de refrigeración es la que puede transferir el calor necesario para disolver una tonelada de hielo en un período de 24 horas (288 000 Unidad Térmica Británica BTU).

La capacidad de enfriamiento es la medida de la velocidad a la que un sistema puede transferir energía calorífica y es expresada normalmente en toneladas. Una tonelada de refrigeración es la que puede transferir el calor necesario para disolver una tonelada de hielo en un período de 24 horas (288 000 Unidad Térmica Británica BTU). Dicho de otra manera, un sistema de refrigeración de una tonelada es teóricamente capaz de congelar una tonelada de agua en 24 horas, es decir, que puede transferir 288 000 Unidad Térmica Británica en 24 horas o 12 000 Unidad Térmica Británica por hora.

Los alimentos y productos putrescibles tienen calor específico distinto cada uno, que indica la cantidad de calor que se debe eliminar para su enfriamiento, ver la tabla I de las características de los alimentos.

Tabla I. Calores específicos de alimentos

	Productos	Gramas de almacenaje °F		Humedad relativa óptima porcentaje	Composición % de agua	Calor específico BTU por lb/°F		Calor latente de fusión
		Almacenaje período corto	Almacenaje de bodega			Bajo de congelación	Sobre de congelación	
FRUTAS	Manzana	35-40	30-32	85	85	0,90	0,49	122
	Plátano	55-56	55-56	80	75	0,90		
	Uvas	35-40	30-32	80	77	0,90	0,61	112
	Limonas	55-60	50-55	80	89	0,94	0,5	130
	Naranjas	40-45	32-34	80	86	0,90	0,47	124
	Duraznos	35-40	31-33	80	88	0,92	0,48	128
	Peras	35-40	30-32	85	84	0,91	0,49	122
	Fresas	35-40	31-33	80	90,5	0,92	0,48	131
VEGETALES	Espárragos	40-45	32-34	90	94	0,91	0,49	136
	Frijoles (en una vaina)	40-45	40-45	85	60,5	0,8	0,46	98,5
	Repollo	35-40	35-40	90	91,5	0,93	0,47	123
	Zanahorias	35-40	35-40	90	88	0,86	0,45	126
	Apios	35-40	35-40	90	94,5	0,91	0,46	136
	Elotes	35-40	35-40	85	75,5	0,96	0,38	108
	Maíz	50-60	50-60	60	10,5	0,29	0,24	15
	Lechuga	35-40	35-40	95	94,5	0,9	0,46	136
	Papa	36-50	36-50	85	78,5	0,86	0,47	113
	Tomates	50-55	50-55	80	94,5	0,92	0,46	132
Vegetales mezclados	40-45	35-40	85	90	0,9	0,45	130	
CARNES Y PESCADO	Tocino	40-45	28-30	80	20	0,5	0,3	29
	Carne de res (fresca)	35-40	30-32	84	68	0,75	0,4	98
	Pescado (congelado)	10-0	-20	80	70	0,76	0,41	101
	Jamones y lomos	34-38	28-30	80	60	0,68	0,38	86,5
	Cordero	34-38	28-30	85	58	0,67	0,3	83,5
	Puerco (fresco)	34-38	30-32	80	60	0,68	0,38	86,5
	Aves de corral (frescas)	28-30	28-30	84	74	0,79	0,37	106
	Salchicha (fresca)	35-40	21-27	80	65	0,89	0,56	93
	Ternera	34-38	28-30	84	63	0,71	0,39	91

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010.

El tamaño correcto de un cuarto frío es determinado por tres factores, el primero es el volumen de producto a ser enfriado y su empaque, ya que muchos productos son vendidos en cajas o bolsas. Obviamente, a mayor cantidad de producto a enfriar, mayor será la unidad de refrigeración.

El segundo factor es el tiempo requerido de enfriamiento desde el comienzo al final del mismo, para prevenir la degradación rápida del producto. El enfriamiento rápido debe evitarse, ya que puede ocasionar daño en el fruto y se requerirán equipos de altos costos y consumos de energía eléctrica. Si se enfría una carga de productos en dos horas, en vez de hacerlo en cuatro horas, puede requerir dos veces la capacidad de refrigeración y el costo del consumo de energía puede ser tres veces el inicial o más.

El tercer factor es la forma como se ha diseñado la construcción de la unidad de refrigeración, es decir, su tamaño, el sistema de manejo del aire y su operación.

Puesto que, en una instalación típica, aproximadamente la mitad de la capacidad de refrigeración es usada para retirar el calor ganado por los pisos, las paredes, el techo y las puertas, es importante saber manejar este tipo de pérdidas de frío.

1.2. Funcionamiento general del sistema de refrigeración

La refrigeración actual se basa en la ley física de cambio de fase: el hecho de que un refrigerante necesita calor para pasar de sólido a líquido, de líquido a vapor o de sólido a vapor, tiene aplicación en la práctica de la refrigeración. Entonces el cambio de fase sólida a líquida se llama fusión y el calor absorbido por el refrigerante es el calor de fusión.

El cambio de fase líquida a vapor se llama vaporización y el calor absorbido por el refrigerante en este cambio de fase se llama calor latente de vaporización. Este proceso de refrigeración es el más usado, debido a que tiene lugar en el conocido ciclo de compresión del vapor. Controlando la presión a la que se realiza la vaporización, se regula la temperatura del proceso.

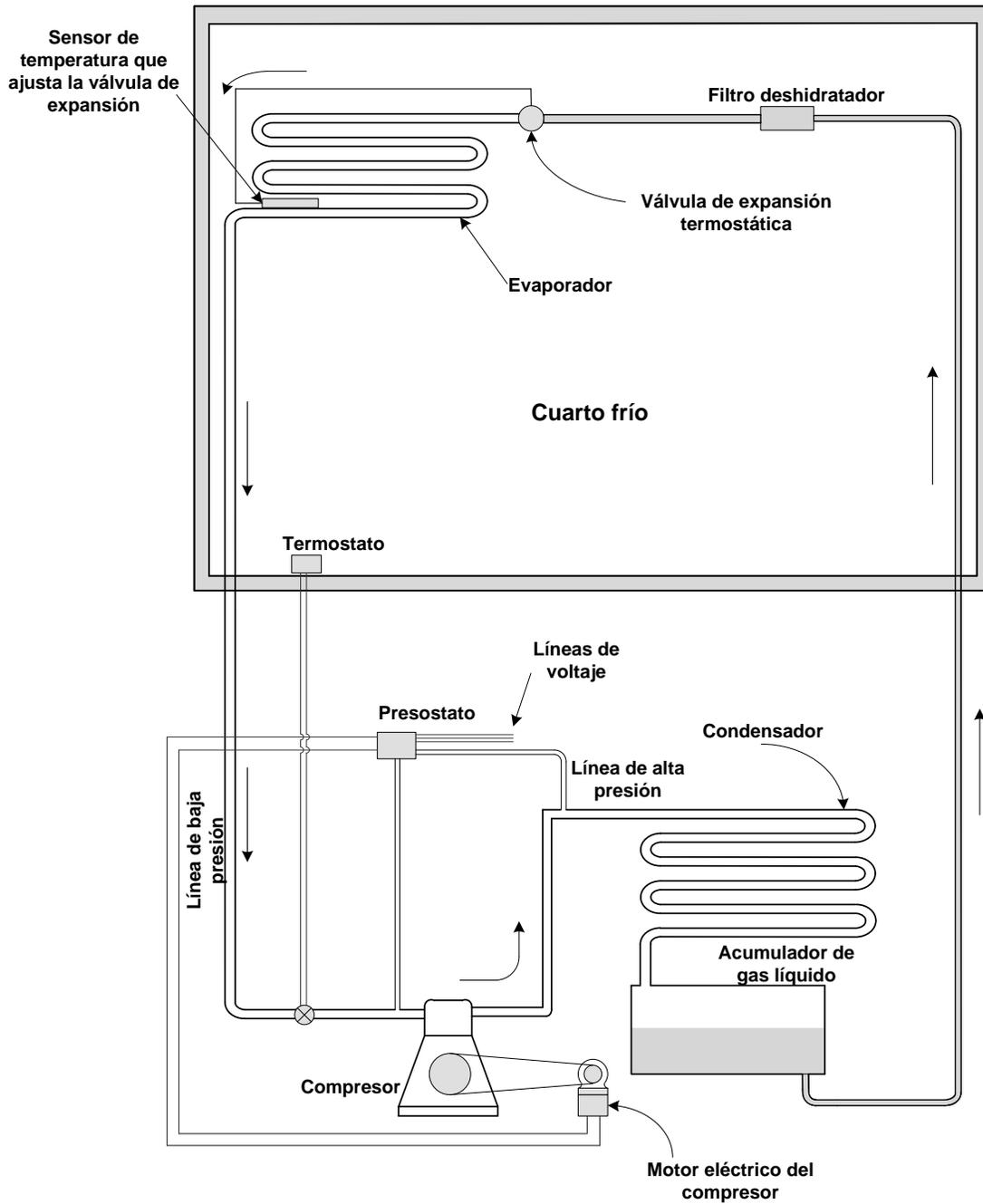
1.2.1. Funcionamiento mecánico

Así como cuando un sólido al cambiar su forma a estado líquido (o gaseoso) absorbe calor de sus alrededores o de otras fuentes también un líquido al vaporizarse debe absorber calor, por ejemplo, el amoníaco a la presión atmosférica hierve a -28 grados Fahrenheit y posee un calor latente alrededor de 589,3 Unidad Técnica Británica por libra.

El amoníaco si es colocado en un espacio más caliente que -28 grados Fahrenheit, enfriará al espacio que lo rodea hasta que se evapore. Si se aumenta la presión en el amoníaco a 30,4 libra/pulgada cuadrada absoluta, este hervirá a 0 grados Fahrenheit y así podrá producir también enfriamiento, pero en una gama de temperaturas mayores. La refrigeración mecánica hace posible el control de la presión y de la temperatura de refrigerantes en ebullición y también, usar repetidas veces el mismo refrigerante con poca o ninguna pérdida de este. Teóricamente cualquier líquido estable no corrosivo puede usarse como refrigerante si este es apropiado para las condiciones deseadas de presión y temperatura.

En la figura 4 están mostrados los elementos de un sistema de refrigeración por compresión de gas.

Figura 4. Elementos de refrigeración mecánica para cuarto frío



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

En el evaporador, al vaporizarse, el líquido refrigerante absorbe calor de la salmuera (o del agua o directamente del aire del espacio que va a ser enfriado). El vapor refrigerante de baja presión (B.P.) es forzado hacia el compresor, el cual eleva la presión y la temperatura del vapor para entregarlo después al condensador. El refrigerante debe ser suficientemente comprimido para tener una temperatura de saturación mayor que la temperatura del medio usado para enfriarlo, de tal manera que se tenga disposición de calor en el condensador. Después de efectuada la eliminación de calor y la condensación en el condensador, el líquido refrigerante puede pasar a un receptor o depósito para almacenamiento.

El líquido refrigerante de alta presión (A.P.) pasa luego a través de la válvula de expansión, donde se efectúa un estrangulamiento (caída) hasta la presión que se tiene en el evaporador del sistema. Durante el paso a través de la válvula de expansión se enfría el líquido refrigerante a expensas de la evaporación de una parte del líquido. En un sistema de refrigeración, el valor de la presión baja que se tiene en el evaporador es determinado por la temperatura que desea mantener en el espacio enfriado.

La presión de alta en el condensador es determinada en última instancia por la temperatura disponible del medio enfriador, tal como agua de circulación o la atmósfera (temperatura del aire). El proceso se verifica de modo que el refrigerante absorbe calor a baja temperatura y entonces, por la acción de un trabajo mecánico, el refrigerante eleva su temperatura para permitir el rechazo de este calor. Nótese que el trabajo mecánico o energía suministrada al compresor es el medio usado para elevar la temperatura del sistema.

Los compresores pueden funcionar de diferentes maneras, motores eléctricos, máquinas de vapor, motores de combustión interna, etcétera.

La disposición de los elementos básicos que componen un sistema de refrigeración es variada según el tipo y diseño del equipo. En los equipos de cuartos fríos de gran capacidad, el motor, el compresor, condensador y ventilador del condensador se ubican en la parte de afuera del cuarto en mención y el evaporador, ventilador o ventiladores del evaporador, resistencias de deshielo se ubican en la parte interna, pero no es regla general, ya que existen equipos de refrigeración empaquetados que suministran el frío desde la parte exterior mediante ventanas llamadas de suministro y de retorno, tal es el caso de los equipos de refrigeración de los contenedores móviles.

El motor y compresor pueden estar separados, pero es causa de fugas de gas refrigerante, por lo que en los equipos más modernos se tiene el motor y el compresor en un solo contenedor, con las conexiones eléctricas para el motor, pasando a través de este.

El condensador se debe ubicar en un lugar suficientemente ventilado, para que el intercambio de calor sea efectivo. La válvula de expansión que es la encargada del cambio de fase del refrigerante, puede ser de varios tipos, tubo capilar (sin ajuste), válvula de ajuste manual y válvula de ajuste termostático; se ubica a la entrada del evaporador. Todos los componentes van unidos mediante un circuito sellado de tubería de cobre por el que viaja el gas refrigerante y esa tubería se puede clasificar, en tubería de alta presión y tubería de baja presión.

1.2.2. Funcionamiento eléctrico

La energía eléctrica es producida en el movimiento giratorio de un alambre, que en la práctica se llama armadura, en medio de un campo magnético que crean dos piezas polares o imanes, una polo sur y la otra polo norte, producen corriente eléctrica o sea que, diciendo en palabras más sencillas: el giro del alambre convierte el magnetismo en electricidad y le hace fluir por conductores.

El voltaje es la fuerza, músculo o nervio que pone en acción y movimiento a los electrones, llamado también fuerza electromotriz.

La corriente es el flujo de electrones que el voltaje hace mover por los conductores. Si se hace una analogía con una bomba de agua se puede decir que una bomba de agua no fabrica agua, únicamente la pone en movimiento. Tampoco una pila fabrica electricidad, simplemente hace correr a los electrones porque la descomposición química de la pila es una fuerza o músculo capaz de hacer eso.

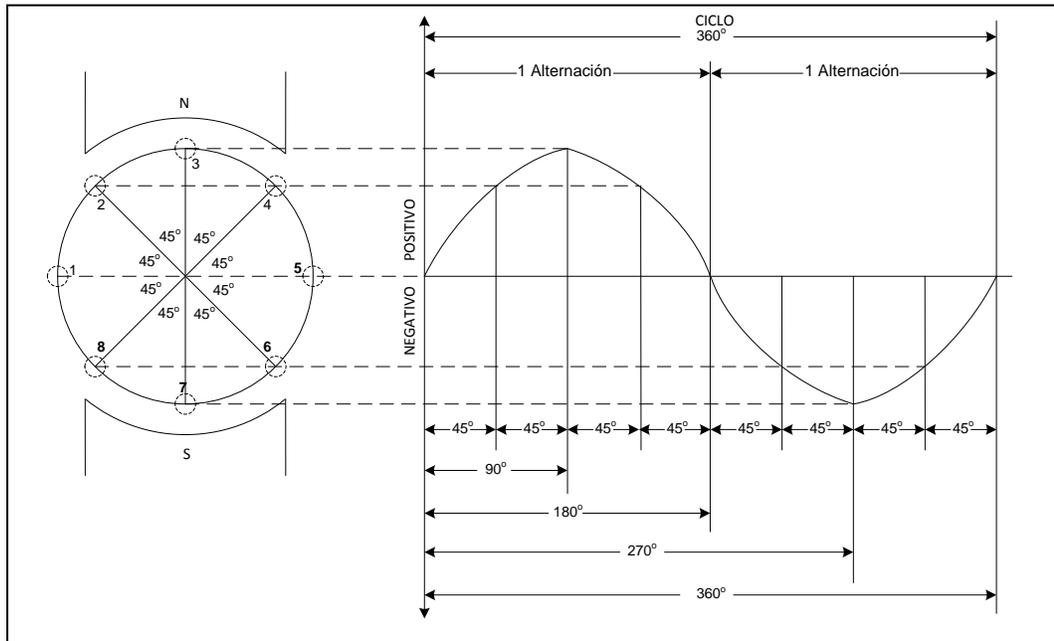
Por lo tanto, un aparato mecánico puede hacer correr a los electrones. Un acumulador o una pila también puede hacerlo. El primero (el generador) usa métodos mecánicos y el segundo (la pila) usa medios químicos para lo mismo. Las pilas generan corriente directa y los aparatos mecánicos de generación generan corriente alterna.

Por otra parte, la corriente alterna, tiene la inmensa ventaja de que por su naturaleza pulsatoria, que en un segundo completa 60 ciclos en un segundo (en algunos distritos 50 ciclos por segundo) permite el empleo de los llamados transformadores los cuales sin tener partes móviles que desgastar pueden elevar el voltaje de una línea a miles de voltios, enviarlo a través de ella sin perder mayor voltaje por razón de las distancias o cubriendo esas pérdidas casi completamente y en seguida, otros transformadores ubicados estratégicamente, pueden bajar el voltaje a lo que se conoce como usual, dígase 110 o 220 voltios para el consumo sin mayor peligro en los hogares e industrias.

Estos factores han hecho que la corriente alterna sea considerablemente preferida y en todo caso, aquellos sectores industriales que necesitan por una u otra razón corriente directa, simplemente rectifican la alterna que les proporcionan las enormes represas y plantas productoras de electricidad.

Por lo que se sabe, se tiene el concepto de que la armadura es la que gira en medio de las piezas polares y todo lo explicado hasta ahora se refiere a ese hecho. Sin embargo, ahora se indicará que tal construcción en los alternadores es antigua y que hoy sólo se usa en algunos tipos pequeños de aplicación muy especializada.

Figura 5. Corriente alterna producida en un alternador de 2 polos



Fuente: HEMPHILL, Calvin. La corriente eléctrica alterna. p. 2.

Los tipos modernos de alternadores se construyen justamente al revés de lo que se hacía antes o sea que es el campo magnético el cual gira mientras que la armadura permanece quieta montada apropiadamente en la caja o casco de la máquina.

Los generadores de energía eléctrica pueden ser de una, dos o tres fases, pues se habla de corriente de monofase, de bifase y de corriente trifásica. El circuito monofásico se define diciendo que lleva el voltaje proveniente de una sola fuente, por ejemplo, en el caso del alambre giratorio único que produce una sola fase, el número de polos no cambia las fases, lo que cambia el número de fases es el número de bobinas independientes que tenga el generador, entregando el voltaje a los anillos de salida.

Un alternador o generador está construido con tres diferentes tipos de enrollados para producir la corriente monofásica, bifásica y trifásica según la aplicación que se piense hacer de la potencia eléctrica proporcionada por la máquina. La corriente directa se sabe que sólo sirve para excitar los campos tanto de los alternadores como de los motores sincrónicos alternos.

En un inicio, cuando se comenzó a distribuir energía eléctrica, existía desorden en criterios y cálculos de circuitos y dimensionamientos de cables y protecciones, por lo que se inició a crear normas y reglamentaciones para estandarizar las instalaciones y los circuitos de distribución. Conforme se fueron haciendo progresos tecnológicos, las normas también avanzaron sus reglamentos y finalmente, el manejo de esos códigos quedó a cargo de entidades bien organizadas dirigidas por los ingenieros eléctricos más capacitados que constantemente están haciendo experiencias y estudios.

En el medio como ya se dijo es utilizada primordialmente la corriente alterna, que llega a la industria como 110 voltios referenciados a neutro y como 240 voltios medido entre líneas, cuando es voltaje monofásico y como 208 voltios cuando el voltaje es trifásico. Cuando este voltaje entra a la industria, generalmente, se utiliza una protección principal que suministra la energía a un distribuidor principal desde donde se conectan los circuitos que harán funcionar los equipos o sistemas que se usarán para la producción o para brindar servicios.

Para el cálculo de las protecciones eléctricas es normal que se use la fórmula de potencia $P = I \times V$ en donde P es potencia, I es corriente y V es voltajes, estando esta fórmula definida para voltajes monofásicos, cuando se utiliza voltaje trifásico se debe usar la fórmula $P = 3^{1/2} \times I \times V \times \cos \Phi$, en donde I es corriente, V es el voltaje y $\cos \Phi$ es el factor de potencia, usando el menor permitido por las empresas suministradoras de energía que es $0,8 = \cos \Phi$, en donde Φ es el ángulo existente entre la potencia activa y la potencia aparente.

Las cargas reactivas o inductivas, que poseen los motores eléctricos, tienen un factor de potencia menor que 1 (generalmente, su valor varía entre 0,85 y 0,98), por lo cual la eficiencia de trabajo del equipo en cuestión y de la red de suministro eléctrico disminuye cuando el factor se aleja mucho de la unidad, traduciéndose en un mayor gasto de energía y en un mayor desembolso económico.

Para calcular el área transversal de los conductores a utilizar según el consumo de corriente que se ha de utilizar en los equipos eléctricos o en las acometidas se usan las fórmulas siguientes:

Para voltaje monofásicos:

$$S = (2 \times L \times I \times \cos \Phi) / (K \times \Delta V)$$

Para voltaje trifásico:

$$S = (3^{1/2} \times L \times I \times \cos \Phi) / (K \times \Delta V)$$

Donde:

S = es la sección del conductor a dimensionar en milímetros cuadrados.

I = es la intensidad de la corriente en amperios.

V = es la tensión de servicio en voltios.

L = es la longitud de la línea o conductor en metros.

ΔV = es la caída de la tensión desde el principio hasta el final de la línea dada en voltios.

K = es el factor de conductividad del cobre (56).

La sección de los conductores se calcula para que la caída de tensión sea menor al 3% entre el origen y cualquier punto de utilización en la instalación según la Norma AWG (American Wire Gauge), misma que define un calibre para ciertas áreas de conductores comerciales, dados en la tabla II de este trabajo.

El funcionamiento básico eléctrico de los sistemas de refrigeración se puede dividir en dos partes: el funcionamiento de los elementos de acción y el funcionamiento de los elementos de control y su interacción.

Los elementos eléctricos fundamentales de acción en un sistema de refrigeración son:

- Motor eléctrico (si es el caso) del compresor.
- Motor o motores eléctricos de las turbinas del evaporador.
- Motor eléctrico del ventilador del condensador (cuando es enfriado con corriente de aire).

- Resistencias eléctricas (cuando incluye circuito de deshielo por resistencias).

El compresor se debe accionar mediante un motor y los motores eléctricos tienen mucha popularidad para este caso. En sistemas de refrigeración pequeños existen motores accionados con 110 voltios, pero en sistemas más grandes, como es el caso de los cuartos refrigerados se deben usar motores más grandes que usan voltajes de 220 voltios monofásicos o 208 voltios trifásicos.

También para la buena distribución del frío en los cuartos refrigerados, los equipos grandes incluyen turbinas (ventiladores centrífugos) de distribución de aire, accionadas por motores eléctricos de uso continuo que funcionan con voltajes de 110 o 220 voltios monofásicos, ya que no suelen ser muy grandes, esto no es regla general, ya que existen cámaras de gran tamaño en donde se hace necesario usar motores grandes con otro tipo de voltaje.

Los ventiladores (regularmente axiales) de los condensadores también son accionados por motores eléctricos de uso continuo que funcionan con voltajes de 110 o 220 voltios monofásicos.

Las resistencias eléctricas de deshielo también son accionadas con 110 o 220 voltios monofásicas.

El compresor, la turbina del evaporador y el ventilador del condensador suelen estar funcionando al mismo tiempo, regularmente, existen algunos dispositivos para variar la función del ventilador del condensador, ya sea cambiando su velocidad o interrumpiendo su funcionamiento, con el fin de controlar la presión y temperatura de condensación del gas refrigerante. También las turbinas del evaporador sufren un retardo en su funcionamiento, después del período de deshielo, para no enviar calor a los productos refrigerados.

Las resistencias de deshielo deben funcionar cuando el compresor y los ventiladores no la hacen, ya que el objeto de estas es remover el hielo o escarcha que se acumula en el evaporador y así dejar fluir más libremente el aire.

Todo este funcionamiento es gobernado por elementos de control eléctrico que interactúan para lograr las temperaturas requeridas en los frigoríferos según el o los artículos que se desean enfriar.

Los elementos básicos de control eléctrico para sistemas de refrigeración son:

- Termostatos
- Presóstatos
- Relevadores (*reley*)
- Relevadores con retardo de tiempo
- Transformador de bajo voltaje
- Temporizador (reloj de control)
- Válvula solenoide

El termostato es un sensor de temperatura, que controla la temperatura del área que se desea enfriar.

Los presostatos son sensores de presión y controlan las presiones internas del sistema sellado de refrigeración, en el lado de baja y alta presión.

Los relevadores son interruptores automáticos, que los acciona los termostatos, presostatos u otros dispositivos de sensado, mediante una bobina magnética. Existen relevadores normalmente abiertos (na) y normalmente cerrados (nc). Algunos relevadores también tienen un mecanismo de tiempo para retardar su acción.

Transformadores de bajo voltaje, son elementos que transforman el voltaje de 110 a 24 voltios o 12 o 220 voltios también a 24 o 12 voltios, regularmente utilizados en el campo de la refrigeración, con el objeto de energizar las bobinas de los relevadores y válvulas solenoides.

Los temporizadores o reloj controlador, se utilizan para activar o desactivar las funciones eléctricas a las horas requeridas.

Las válvulas solenoides son válvulas de paso que se accionan también mediante una bobina magnética, existen válvulas solenoides normalmente abiertas y normalmente cerradas.

Todos estos elementos se analizarán detalladamente en el capítulo 2 de este trabajo.

2. CONTROLES ELÉCTRICOS DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Son utilizados para mantener la temperatura, humedad, movimiento del aire y presión adecuados dentro de los sistemas de refrigeración de los cuartos fríos en los rangos de las condiciones deseadas.

El elemento regulador, que también puede ser llamado sensor, está en posición de interruptor. El regulador es el responsable de hacer los cambios en la temperatura, presión, humedad o algunas otras características que tengan que ser controladas.

La acción de los reguladores, es transmitir información a los controles que encienden o apagan los equipos de refrigeración, que regularmente es con una señal de bajo voltaje que controlan una bobina que cierra o abre. El control inicia y para (o ajusta) la operación del equipo en respuesta a las órdenes del regulador. Los controles son dispositivos tales como compuertas reguladoras, relevadores o paquetes electrónicos con sus circuitos correspondientes.

El equipo bajo control consta de equipos de enfriamiento o calefacción y ventiladores y compresores, los cuales actúan directamente para conseguir exactamente el resultado deseado.

El equipo en sí mismo puede funcionar con límites de control que opera cuando el equipo llega a proporcionar la más alta o la más baja temperatura (o presión) o cuando carece del medio de trabajo apropiado y muestra qué protección es la necesaria. El límite de control retroalimenta sus instrucciones al control y la operación es detenida.

La retroalimentación del equipo en sí mismo produce un resultado final haciendo operar al dispositivo regulador. Por ejemplo, cuando en un cuarto se ha conseguido la temperatura deseada las señales del regulador, cortan o reducen la capacidad del equipo de enfriamiento, porque han sido satisfechas las necesidades requeridas en el espacio.

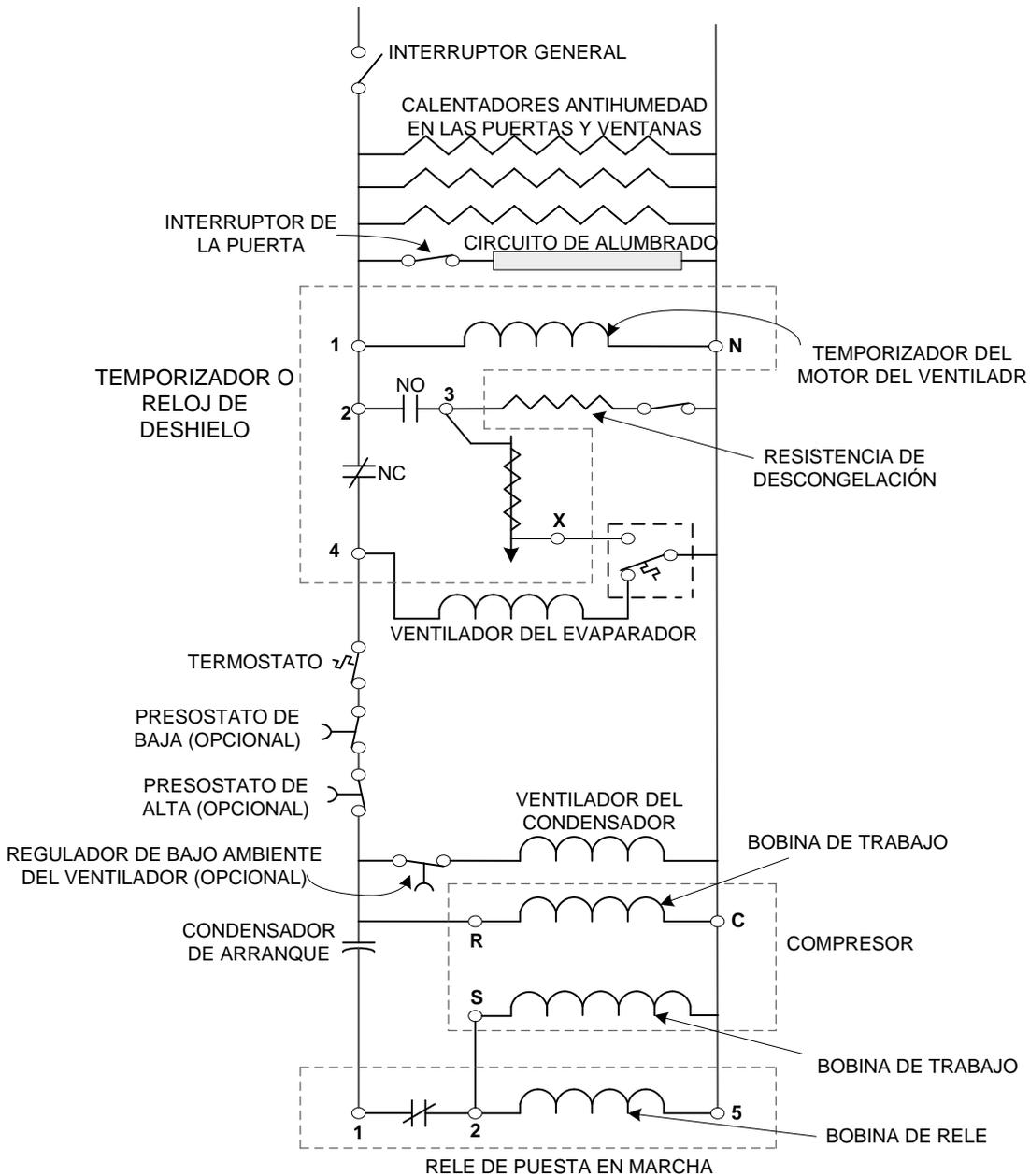
El ejemplo del simple dispositivo de calefacción del párrafo anterior representa lo que esencialmente sucede en cualquier sistema completamente automático. En resumen, se encuentran en cada uno de tales sistemas (a) un dispositivo sensible (regulador), (b) un dispositivo de control (elemento de encendido o apagado) (c) un dispositivo limitador o protector (límite de control), con sus elementos arreglados para retroalimentar un efecto a las otras partes del sistema.

2.1. Diagrama eléctrico

El diagrama eléctrico de un sistema de refrigeración para un cuarto frío se compone de dos partes:

- Conjunto de funcionamiento: son los elementos eléctricos mediante los cuales se hace posible el funcionamiento del ciclo de refrigeración, entre los que se mencionan: el compresor y su motor eléctrico, los ventiladores de condensador y evaporador también con sus motores eléctricos, las resistencias para descongelamiento y antihumedad, alumbrado, fusibles, cortacircuitos y cableado.
- Conjunto de elementos de control, estos elementos controlan todos los elementos de funcionamiento teniendo como parámetros el tiempo, la presión y temperatura del sistema y del ambiente del área refrigerada, en el diagrama se pueden observar los siguientes elementos: reloj de deshielo, termostato, termodisco, presostato de alta y baja presión, relevadores, válvula solenoide, condensadores eléctricos. Estos elementos automatizan todo el ciclo de refrigeración, haciendo que el funcionamiento sea óptimo para los fines deseados. Se puede observar el diagrama eléctrico básico para un frigorífero o cuarto frío en la figura 6.

Figura 6. Diagrama eléctrico del sistema de refrigeración de un cuarto frío



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

2.2. Descripción del diagrama eléctrico

La energía es suministrada al reloj controlador de deshielo en las terminales 1 y N.

El termostato de retardador del ventilador y terminación de deshielo se encuentran cerrados cuando están en la posición del retardador del ventilador y abierto cuando están en la posición de terminación de deshielo. Los ventiladores de la unidad evaporadora funcionan continuamente.

Las resistencias de deshielo están apagadas.

El termostato del cuarto cierra cuando la temperatura aumenta por encima del ajuste deseado. El solenoide de la línea de líquido es energizada y abre, lo cual permite el flujo del refrigerante líquido a través de la unidad evaporadora.

El control de baja presión cierra cuando la presión de succión se eleva por encima del ajuste de conexión del control.

El contactor del compresor cierra, el compresor y el ventilador del compresor arranca simultáneamente.

La temperatura de la cámara disminuye gradualmente a la temperatura deseada. Una vez que se alcanza la temperatura deseada el termostato abre y el solenoide de la línea de líquido cierra, deteniendo el flujo de refrigerante a través del evaporador.

Cuando la presión de succión disminuye y cae por debajo del ajuste de corte del control de baja presión, entonces el contactor abre y consecuentemente el compresor y el ventilador del condensador detienen su funcionamiento. Este ciclo es repetido tantas veces como sea necesario para satisfacer el termostato de la cámara.

La escarcha empieza a formarse en el serpentín del evaporador y continua formándose hasta que se comienza a obstruir, dificultando con esto el paso del aire forzado por el ventilador, entonces para limpiar esta escarcha inicia el ciclo de deshielo.

2.3. Descripción del ciclo de deshielo o descongelación

El ciclo de deshielo es activado automáticamente por el reloj a las horas previamente determinadas los ajustes típicos son de dos a cuatro ciclos de deshielo por día. Para escarchados más severos se requieren ajustes adicionales.

El reloj abre el interruptor de 2 a 4 el cual corta el circuito al termostato del cuarto, al solenoide de la línea de líquido y a los motores del ventilador del evaporador, permitiendo el bombeo completo del compresor y apagarse. Simultáneamente el interruptor cierra de 1 a 3 en el reloj, permitiendo fluir a la corriente a un lado del contactor de la resistencia de deshielo. Cuando se apaga el compresor, un contactor auxiliar enviará energía a la bobina del contactor, de esta manera se energizan las resistencias de deshielo.

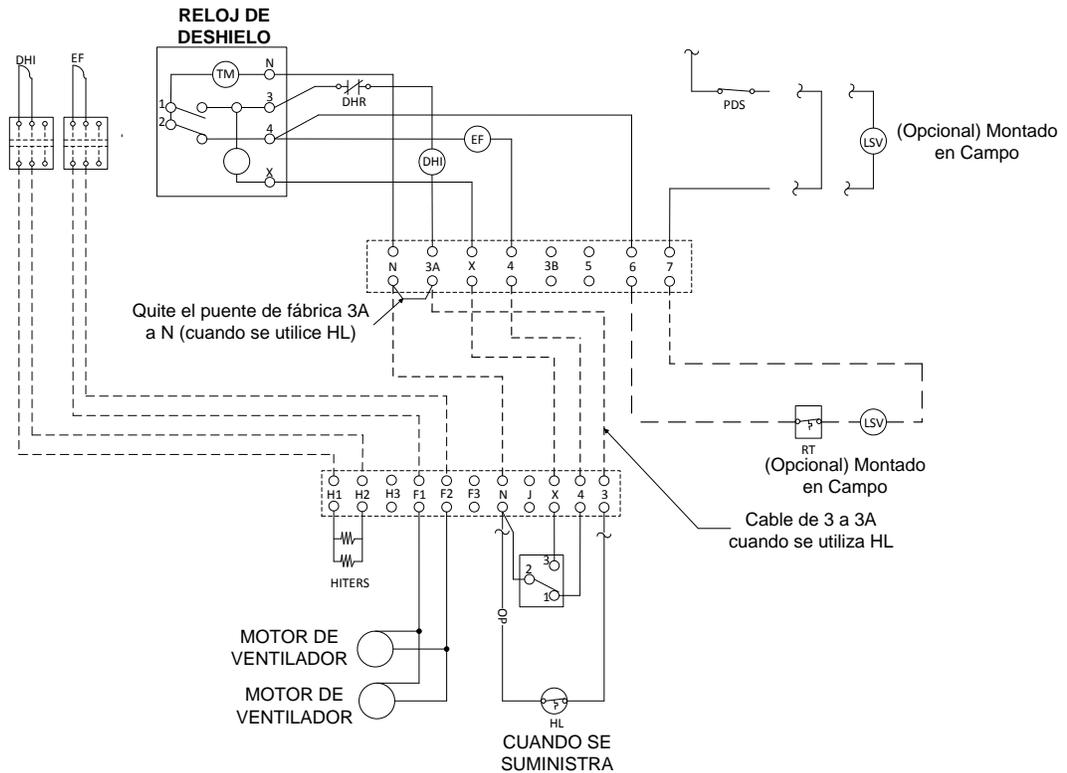
Las resistencias aumentarán la temperatura del serpentín a 32 grados Fahrenheit (0 grados Celsius), provocando que la escarcha del serpentín se derrita. Cuando el serpentín calienta de 45 a 55 grados Fahrenheit (7,2 a 12,8 grados Celsius) el termostato de terminación de deshielo cierra, lo cual permitirá que la corriente provoque la conmutación del solenoide en el reloj, permitiendo nuevamente iniciar el ciclo de refrigeración.

Las resistencias del evaporador están fuera. Si el termostato de terminación falla al cerrar, el de seguridad en el reloj terminará el deshielo. El control de presión cierra y el compresor arrancará.

Cuando el serpentín alcance temperaturas de 23 a 30 grados Fahrenheit (-5 a -1,1 grados Celsius), el retardador del ventilador cierra, permitiendo que fluya la corriente a los motores de los ventiladores. Los motores de los ventiladores iniciarán su funcionamiento.

El sistema nuevamente trabajará de acuerdo al ciclo de refrigeración hasta que otro período de deshielo sea iniciado por el reloj, se observa un reloj de deshielo y su circuito en la figura 7 y en la figura 8 se ve el diagrama eléctrico del reloj de deshielo (Manual de instalación Bohn, páginas 26 y 27).

Figura 8. Diagrama del ciclo de deshielo



- 1.- DHI-----CONTACTO DE LA RESISTENCIA DE DESHIELO
- 2.- EF-----CONTACTO DEL VENTILADOR DEL EVAPORADOR
- 3.- TM-----MOTOR DEL RELOJ
- 4.- DTFD-----RETARDADOR DEL VENITLADOR Y TERMINACIÓN DE DESHIELO
- 5.- HL-----TERMOSTATO (LÍMITE DE DESHIELO)
- 6.- LSV-----VÁLVULA SOLENOIDE DE LA LINEA DE LÍQUIDO
- 7.- PDS-----INTERRUPTOR DE BOMBEO COMPLETO
- 8.- OPS-----INTERRUPTOR DE PRESIÓN DE ACEITE
- 9.- RT-----TERMOSTATO DE CUARTO
- 10.- DHR-----RELEVADOR DE LA RESISTENCIA
- 11.- -----CONEXIÓN DE FÁBRICA
- 12.- -----CONEXIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA EN CAMPO
- 13.- -----CONEXIÓN DE CONTROL DE CAMPO
- 14.- -----CONEXIÓN DE FABRICA OPCIONALES O MODIFICADO EN CAMPO

Fuente: BOHN, Frigus. Manual de instalación y mantenimiento BOHN. p. 33.

2.4. Descripción de los elementos eléctricos del diagrama

Se detallan y describen a continuación los elementos eléctricos que se usaron para el simulador de controles eléctricos de un cuarto frío, pero se agregan algunos que se suelen usar según sea la necesidad de los dispositivos eléctricos, como por ejemplo, el condensador eléctrico, que sirve únicamente para poner en marcha los motores eléctricos y básicamente el motor eléctrico del compresor.

Por otra parte se describen elementos como el termodisco que no existe como tal en el simulador ya que no se tiene un sistema sellado de refrigeración para detectar cambios de temperatura, por lo que se acude a instalar interruptor de tres vías, para esquematizar el termodisco.

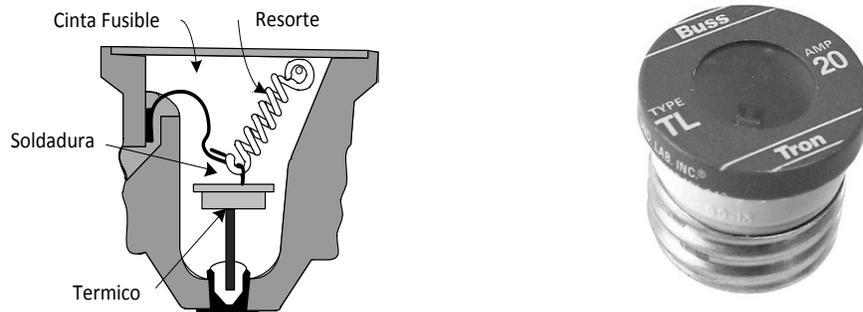
2.4.1. Fusibles y disyuntores termomagnéticos

Los dos grupos básicos de dispositivos que se emplean para la protección de los circuitos eléctricos son: (1) los fusibles y (2) los cortacircuitos. Cada uno de estos grupos se pueden clasificar adicionalmente como:

- Fusibles, que se pueden obtener del tipo de cartucho o del tipo de tapón (ordinarios, de súper retardo, de doble elemento).
- Cortacircuitos, que se pueden activar por medio de un elemento magnético o un elemento termomagnético.

Los tapones fusibles son los que se atornillan dentro del receptáculo de la misma forma que los bombillos de luz eléctrica. La mayoría de estos fusibles no son renovables y se deben cambiar después que se han fundido, ver figura 9.

Figura 9. **Fusible tipo tapón**

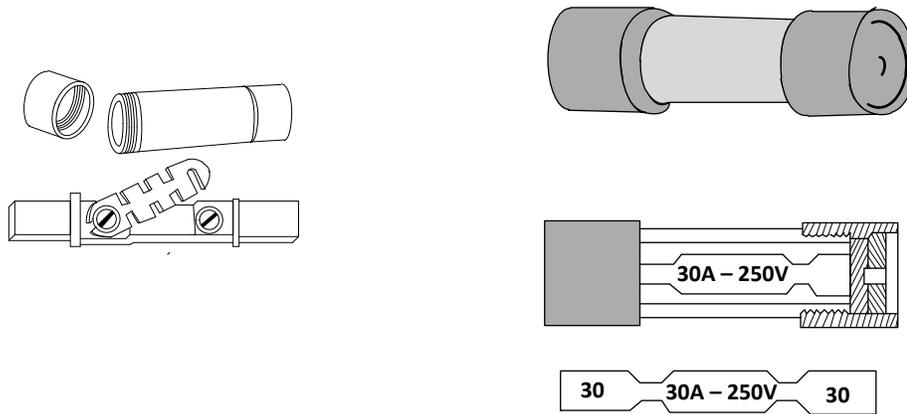


Fuente: www.google.com.gt/search?q=imagenes+de+fusible+tipo+tapon. [Consulta: 30 de marzo de 2012].

Los fusibles del tipo de cartucho están diseñados para ajustar en receptáculo o presilla especial. Se pueden obtener en la forma renovable, para los cuales existen eslabones de repuestos.

El fusible ordinario, que no es renovable, ofrece una buena protección contra cortocircuitos y sólo se usan para iluminación y calefacción. Los fusibles de súper retardo proporcionan protección para los circuitos de iluminación y calefacción en general, permitiendo sobrecargas temporales, ver figura 10.

Figura 10. **Figura tipo cartucho**



Fuente: www.google.com.gt/searc?q=imagenes+de+fusible+tipo+tapon. [Consulta: 30 de marzo de 2012].

El fusible de retardo de tiempo, con doble elemento, otorga una protección excelente contra cortocircuitos y también permite sobrecargas temporales. Por tanto, es especialmente útil para motores que toman varias veces su corriente de operación cuando arrancan. Este tipo de fusibles se funde cuando la sobrecarga se prolonga por un período largo, como cuando un motor encuentra dificultades para arrancar y continúa tomando su fuerte corriente de arranque. Cada motor debe tener su propia protección de doble elemento.

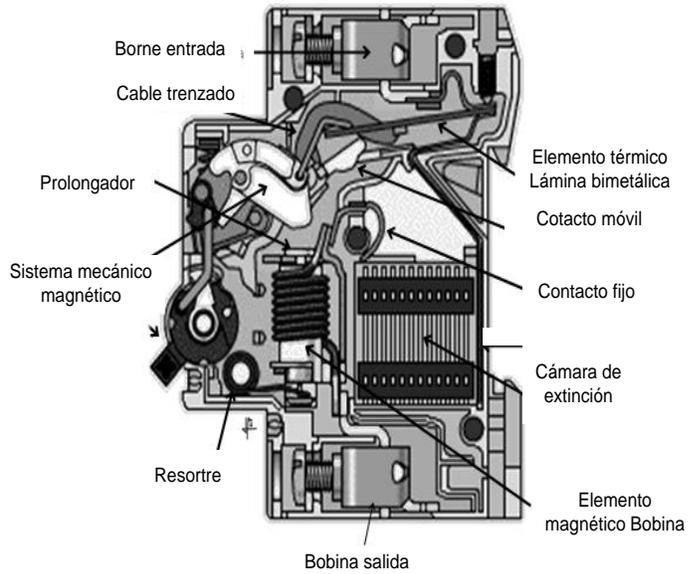
Algunos motores están equipados con un protector térmico contra sobrecargas. Esencialmente, este es un interruptor bimetalico (termostático). Abre el circuito en el caso de una sobrecarga prolongada. Algunos protectores se deben restablecer manualmente. Otros se restablecen automáticamente después que el motor se ha enfriado.

Antes de cambiar las conexiones eléctricas de un equipo de refrigeración, retire los fusibles y abra el cortacircuitos o el interruptor que controla el circuito. Los cartuchos fusibles se deben desmontar con un extractor de fusibles del tipo de tenaza, fabricado de fibra u otro material aislante. Las pinzas con forros de caucho, los destornilladores con mango aislado y otras herramientas necesarias para trabajar en el circuito, se deben aislar como una medida adicional de seguridad.

Cortacircuito: se pueden usar cortacircuitos para proteger un circuito contra la sobrecarga y también, como interruptores. No es necesario cambiar el cortacircuitos cuando se dispara por una sobrecarga. Después de localizar el problema del circuito, el servicio se restablece simplemente moviendo la palanca del cortacircuitos a la posición de conexión.

Los cortacircuitos magnéticos proporcionan una buena protección contra sobrecarga. Algunos cortacircuitos poseen una característica de retardo de tiempo para aceptar sobrecargas temporales, como la corriente de arranque de un compresor. Con sobrecargas persistentes, se introduce un núcleo de hierro en la bobina, aumentando su flujo y disparando el cortacircuitos. Con sobrecargas fuertes, se deriva la característica de retardo de tiempo y el cortacircuito se dispara instantáneamente. En la figura 11 se observa el interior de un cortacircuitos termomagnético.

Figura11. Cortacircuitos termomagnético



Fuente: www.google.com.gt/search?q=fusibles+termomagneticos. [Consulta: 30 de marzo de 2012].

Los fusibles y los cortacircuitos se conectan en serie con el circuito o dispositivo que protegen. De este modo si se desarrolla alguna falla en el circuito o dispositivo de operación y se sobrecarga el circuito (toma más corriente que aquella para la cual está diseñada para conducir sin peligro de sobrecalentamiento y puede producir un incendio), se dispara el dispositivo de protección, interrumpiendo el flujo de electricidad en ese circuito. Antes de insertar un nuevo fusible se debe encontrar y corregir la avería.

2.4.2. Cables

Cuando se comparan los valores de la conductividad eléctrica de diferentes materiales, es evidente que aunque la superficie de la sección transversal y las longitudes pueden ser iguales, un material es mejor conductor que otro. Por ejemplo, unas comparaciones:

- El aluminio origina una caída en línea de aproximadamente 1,6 veces mayor que para el cobre.
- El hierro produce una caída en línea alrededor de 5,8 veces mayor que para el cobre.
- El cobre causa una caída en línea 1,05 veces solamente que para la plata.

En consecuencia el cobre es el más utilizado por su bajo costo y su muy buena conductividad eléctrica.

Se deben tomar en cuenta 3 factores para garantizar que un circuito eléctrico sea adecuado para un sistema de refrigeración.

El material conductor debe proporcionar la menor caída posible en la línea. En la mayoría de los casos se selecciona el cobre.

- La longitud del conductor, naturalmente, se determina por la ubicación de las unidades de refrigeración con respecto a la caja de entrada de servicio o la caja de circuito del ramal.
- La superficie de la sección transversal del conductor es el tercer factor importante. Existen tablas que indican los límites seguros de corriente establecidos por el Código Nacional Eléctrico para diferentes tamaños de alambre.

Los tamaños de los cables se indican en las tablas como tamaño de calibre. Los calibres estándar que se emplean más comúnmente en el medio son de la Norma Norteamericana: American Wire Gauge (calibre norteamericano para alambres) y el calibre Brown and Sharp (B & S).

En ambos sistemas se usa el mismo número para designar el tamaño de un alambre determinado.

El tamaño correcto de un conductor para una instalación determinada se puede seleccionar convenientemente usando las tablas que se han diseñado especialmente. La tabla I es de este tipo. Esta tabla en particular está diseñada para conductores de cobre que se pueden emplear en un circuito de un ramal de 115 voltios, donde la caída de línea no debe exceder del 2%.

Esta tabla se usa cuando se muestra el número aproximado de vatios aproximados de la unidad.

Tabla II. **Calibre de cables AWG**

Calibre AWG MCM	Área transversal del conductor en mm ²	Capacidad en amperios
14	2,08	15
12	3,31	20
10	5,26	30
8	8,36	40
6	13,3	55
4	21,1	70
3	26,7	80
2	33,6	95
1	42,4	110
1/0	53,5	125
2/0	67,4	145
3/0	85	165
4/0	107	195
250	126,7	215

Fuente: elaboración propia.

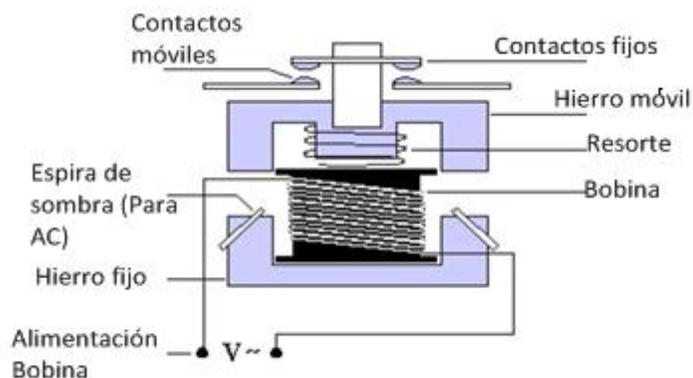
2.4.3. Relevadores y válvula solenoide

Los inductores, como grupo de dispositivos, derivan su nombre del hecho de que en ellos se transforma la energía eléctrica en una fuerza magnética. A su vez, la fuerza magnética se emplea para originar un movimiento mecánico o producir energía eléctrica. La energía magnética se transforma nuevamente en energía eléctrica por la acción de un transformador.

El primero de estos dos efectos se utiliza en la operación de los solenoides y relevadores de refrigeración. El solenoide abre o cierra una válvula. Un relevador cierra o abre un juego de contactos eléctricos.

La figura 12 se muestra un relevador y en la figura 13 se observa una válvula solenoide. Un relevador cierra o abre un juego de contactos eléctricos, el solenoide abre o cierra una válvula. Cuando la corriente pasa por la bobina produce un fuerte campo magnético. Este campo atrae el émbolo de hierro. La atracción mueve hacia arriba el émbolo de hierro, abriendo la válvula. La válvula, como se ve en la ilustración, se cierra por el peso de émbolo y el vástago. Algunos modelos usan un resorte para cerrar.

Figura 12. **Relevador utilizado en el simulador**

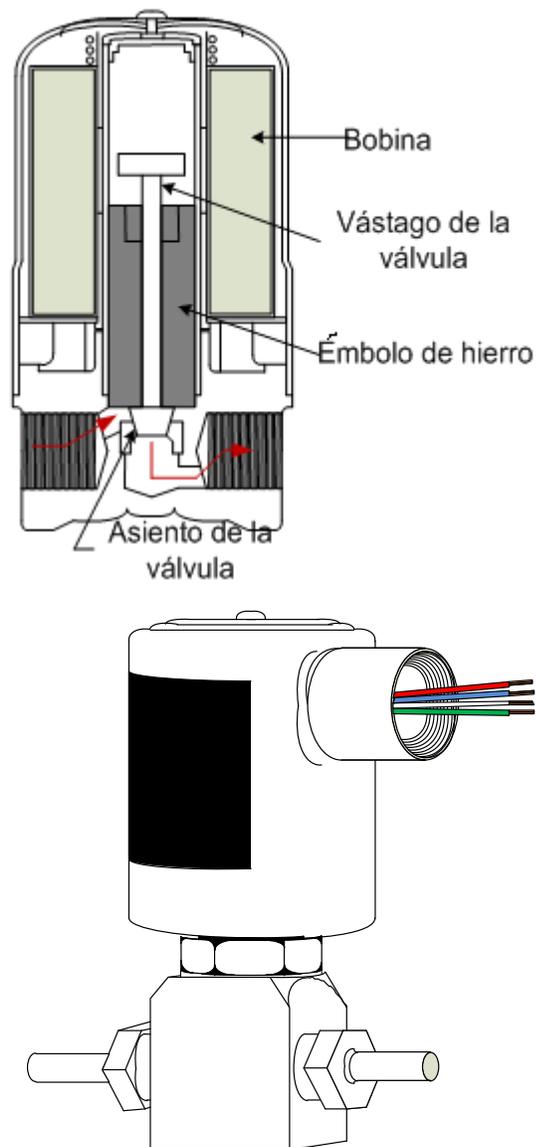


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Se necesita una acción similar para la operación para cierto tipo de relevadores. La figura 12 muestra un diagrama o esquema de un relevador de corriente alterna. Que muestra la bobina de sombra (que es únicamente un anillo de cobre de forma ovalada). La bobina de sombra está ahuecada y al ras con el extremo del núcleo redondo de hierro.

La bobina de sombra actúa para mantener el campo magnético entre las alteraciones de la corriente. Evitando el traqueteo que de otra forma ocurriría con la corriente alterna.

Figura 13. **Válvula solenoide para refrigeración**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

El relevador está diseñado para mover hacia abajo la armadura de hierro dulce y cerrar los contactos cuando se energiza la bobina mediante el flujo de corriente.

2.4.4. Termostato

La temperatura se controla de muchas maneras por varias razones. Por ejemplo, la temperatura de un local se controla tomando como base el *comfort*. La temperatura de un motor en el compresor se controla para evitar el recalentamiento y avería del motor. El motor puede calentarse en exceso y sufrir una avería proveniente de la misma fuente de corriente que lo hace funcionar. He aquí pues dos ejemplos muy distintos en su aplicación pero que realizan la misma función. Ambos requieren algún dispositivo sensor de la temperatura en aumento que dé la respuesta adecuada.

El ejemplo de la temperatura del local emplea el control para su regulación, mientras que la temperatura del motor sirve de dispositivo de seguridad.

El termostato se describe como un elemento que actúa en un aumento o disminución de temperatura. Otro concepto importante en los distintos controles es la característica eléctrica. En el control de la temperatura de un local, la parada y puesta en marcha, de un sistema de refrigeración de un cuarto frío requiere conexiones y desconexión de elementos de bajo voltaje (24 voltios) y alto voltaje (125 o 220 voltios).

El control (termostato) a bajo voltaje de la temperatura de un local regula otros controles y no consume normalmente mucha corriente, apenas 2 amperios. El termostato consta de los elementos siguientes:

Tipo de contacto eléctrico: el bulbo de mercurio es posiblemente el componente más popular para abrir y cerrar circuitos eléctricos en los termostatos de bajo voltaje. El bulbo de mercurio se encuentra en el interior del termostato. Consiste en un bulbo de cristal lleno de gas inerte (un gas que no soporta oxidaciones) con una gota de mercurio que se mueve libremente en su interior, de un lado a otro.

El principio es permitir o no la circulación de una corriente eléctrica en una atmósfera controlada. Cuando se conecta o interconecta la corriente eléctrica, se produce un pequeño arco que es lo suficientemente caliente para causar oxidación a su alrededor. Cuando se produce el arco en el interior del bulbo con gas inerte, en el cual no hay presencia de oxígeno, no se produce oxidación.

El bulbo de mercurio va fijo al extremo móvil del bimetálico, así pues queda libre para girar con el movimiento del bimetálico. El hilo que conecta el bulbo de mercurio al circuito eléctrico es muy fino para evitar que arrastre el movimiento del bulbo. El mercurio no puede hallarse en ambos extremos del bulbo a la vez, por lo que, cuando el bimetálico conduce el movimiento del mercurio en el bulbo a una nueva posición, el mercurio rápidamente abre o cierra el flujo de corriente eléctrica. Esto se conoce como acción instantánea o ruptura brusca.

Otros dos tipos de contactos en un termostato de bajo voltaje utilizan superficies de contacto de acero con un baño de plata. Uno es un juego de contactos abiertos con una de protección. El otro es un juego de contactos de acero con una cubierta de plata dentro de un bulbo de vidrio. Ambos contactos incluyen un pequeño imán, insertado junto a los contactos, para lograr su ruptura o cierre de forma brusca.

Anticipador de frío: el sistema de enfriamiento necesita ponerse en marcha unos pocos minutos antes, para que el sistema de acondicionamiento de aire pueda alcanzar su capacidad. Si el sistema de refrigeración no se pone en marcha antes que sea necesario, tardará de 5 a 15 minutos para llegar a su capacidad de producción de frío. Esto representará un aumento de temperatura en el local a enfriar. El anticipador de frío hace funcionar el sistema unos minutos antes, lo que la capacidad de enfriamiento del equipo llegará a tiempo. Se trata normalmente de una resistencia fija que no se ajusta sobre el terreno. Este dispositivo anticipador de frío se conecta en paralelo a los contactos de frío del bulbo de mercurio.

Los termostatos incorporan en su interior los elementos antes mencionados y se montan normalmente sobre una base fija en la pared. Este conjunto se designa como el cerebro del equipo. Además de los bulbos de mercurio y los dispositivos de anticipación, este conjunto incorpora las palancas móviles que sirven para ajustar el termostato a la temperatura deseada. Cuando el termostato funciona correctamente, el termómetro en la pared frontal marcará la misma temperatura que la del punto de ajuste.

Los controles de temperatura conectados al alto voltaje de la línea: en ocasiones se desea conectar los termostatos al voltaje de la línea para parar y poner al equipo en marcha. Algunos equipos compactos no requieren un termostato a distancia. La adición de un termostato remoto no constituye solamente un gasto extra sino que, además representa una posibilidad de avería.

Téngase en cuenta que un termostato del tipo con bulbo a distancia acostumbra a tener normalmente dicho bulbo conectado en el retorno de la corriente de aire. El ventilador funciona normalmente todo el tiempo y deja pasar una corriente de aire de retorno que aumenta la sensibilidad de este tipo de aplicación, siendo este el caso de los frigoríferos o cuartos fríos de este estudio, ver figura 14.

Figura 14. **Termostato del tipo con bulbo**



Fuente: merida.olx.com.mx/en/termostato-para-cuarto-frio-y-automatico-de-presion-iid-234149257. [Consulta: 30 de marzo de 2012].

El concepto del termostato conectado al voltaje de la línea se emplea en muchos tipos de instalaciones. Son unos pocos ejemplos: el refrigerador doméstico, los muebles frigoríferos de autoservicio y los acondicionadores de aire del tipo compacto. Todos estos aparatos tienen algo en común, el termostato es del tipo de servicio pesado que, quizás, no es tan sensible como el termostato conectado a bajo voltaje. El termostato enchufable al voltaje de la acometida debe escogerse cuidadosamente, teniendo en cuenta que la mayor parte de las veces ha sido seleccionado por el propio fabricante o suministrador del equipo.

Normalmente los termostatos no están calculados para más de 25 años ya que su tamaño los convertiría entonces en prohibitivos. Por esta razón se limita al tamaño del compresor, que puede accionarse directamente sobre el voltaje de línea, hasta 1 CV para 115 voltios o hasta 2 CV para 230 voltios. Recuérdese que el mismo motor absorberá la mitad de la corriente cuando se doble el voltaje.

Los termostatos conectados al voltaje de línea constan de los elementos siguientes:

Mecanismo interruptor: algunos termostatos alimentados por voltaje usan el mercurio como superficie de contacto, aunque la mayoría emplean contactos recubiertos de plata. Esta ayuda a conducir la corriente en los puntos de contacto. Los contactos de plata proporcionan una carga real en el circuito, siendo el componente del circuito que primeramente la absorbe.

Elemento sensor: los elementos sensores normalmente son un bimetálico, un fuelle o un bulbo a distancia. Este elemento se localiza donde puede percibir la temperatura del local. Es importante la sensibilidad de este elemento, recomendándose esté atravesado por una ligera corriente de aire.

Las palancas o mandos, que se emplean para cambiar el ajuste del termostato están emplazadas en el cuerpo de aquel.

Cubierta: debido a la conexión con el voltaje de la línea en su interior, la cubierta va provista generalmente de un cierre para no facilitar el acceso a su interior. Si el dispositivo se destina a controlar la temperatura de un local, en un edificio, puede montarse un termóstato en la cubierta para conocer su temperatura. Si el dispositivo se utiliza para regular la temperatura de un armario frigorífico, esta cubierta puede ser una tapa de protección.

2.4.5. Presostatos

Los presostatos o controles de presión se aplican normalmente a los refrigerantes, al aire, al gas y al agua. Nótese que los términos control de presión e interruptor de presión se emplean frecuentemente. Muy a menudo el control de presión, como componente, actúa de interruptor pero se denomina control de presión o presostato en lugar de interruptor de presión. Esta es la terminología empleada en este campo. Ello puede resultar algo confuso, ya que no siempre se puede calificar de interruptor o válvula el acceso del que se está hablando. El nombre adecuado del componente indicaría si abre un circuito eléctrico o si controla un fluido.

- Los presostatos se emplean para parar y poner en marcha cargas eléctricas, como los motores.

- Los presostatos contienen un fuelle, un diafragma o un tubo Bourdon para crear movimiento cuando cambia la presión en su interior. Los presostatos pueden incorporarse a interruptores o válvulas.
- Cuando actúa como interruptor, el fuelle, el tubo Bourdon o el diafragma, se conecta al dispositivo que hace funcionar los contactos eléctricos. Cuando actúa como válvula, se conecta directamente a la válvula.
- Los contactos eléctricos son el dispositivo que abre o cierra el circuito eléctrico.
- Los contactos eléctricos se abren o cierran en acción instantánea, ante una subida de presión.
- El control de presión (o presostato) se puede abrir o cerrar ante aumento de presión. Esta apertura o cierre controla el agua u otros fluidos, dependiendo del tipo.
- El presostato puede actuar sobre un diferencial de presión y abre o cierra un juego de contactos eléctricos.
- El presostato puede ser del tipo de acción o de seguridad.
- Puede funcionar a baja presión (aún por debajo de la presión atmosférica) o alta presión, dependiendo de su mecanismo.
- Los presostatos se reconocen algunas veces por el tubo de pequeño diámetro que sirve para medir la presión del fluido.

- Los presostatos están diseñados para poner en marcha compresores con motores de 3 CV como máximo bajo voltaje normal. La industria de refrigeración es la única que emplea controles de alta tensión.
- Los presostatos de alta y baja presión en los equipos de refrigeración son los dos que más se emplean en esta industria.
- Algunos interruptores de presión son ajustables y otros no.
- Algunos controles de reposición automática y en otros la reposición se efectúa a mano.
- Algunos presostatos incorporan en el mismo alojamiento los fuelles de control de baja y alta presión. Se conocen como presostatos de presión dual.
- Los presostatos se instalan normalmente cerca del compresor en las instalaciones de refrigeración.
- Cuando se emplean como controles de seguridad, los presostatos deben instalarse de forma que no estén sujetos a quedar fuera del circuito por la acción de las válvulas de servicio.
- El punto de desconexión de la corriente, en que se corta el circuito eléctrico, se conoce como paro. El punto o ajuste de presión a que se ha conectado el circuito eléctrico, para cerrar el circuito, se conoce como puesta en marcha. El tiempo entre los dos ajustes es el diferencial.

El control de alta presión (interruptor) de un sistema de refrigeración detiene la marcha del compresor si la presión en el lado de alta presión llega a ser excesiva. Este control aparece en el diagrama de conexión como un control normalmente cerrado que abre los contactos ante un aumento de la presión. El fabricante puede determinar el límite superior de funcionamiento en determinado componente del equipo, suministrando el control de desconexión a alta presión que no permita al equipo funcionar por encima de estos límites.

El compresor se conoce como una máquina de desplazamiento positivo. Si tiene un cilindro lleno de vapor, tiene que expulsar este vapor o se obstruye. Si el motor del ventilador en un condensador de aire se quema y el compresor sigue funcionando, se producirá una alta presión excesiva. El presostato de alta presión es el dispositivo que actúa como elemento de seguridad del equipo y de su alrededor.

Algunos compresores son lo suficientemente fuertes para hacer estallar una tubería o un depósito. La sobrecarga en el compresor concede alguna protección en este sentido, aunque en realidad se trata de un dispositivo secundario, ya que no responde de forma directa a la presión. La sobrecarga puede ser, además, de respuesta un poco lenta.

El presostato (interruptor) de baja presión se emplea en el campo de la refrigeración como protección ante una carga baja de refrigerante. Cuando se pierde algo de la carga de refrigerante desciende la presión en el lado de baja del sistema. El fabricante del equipo indica el límite de presión por debajo del cual el sistema no debe funcionar. Este es el punto en que el presostato de baja presión debe desconectar el compresor.

El presostato (interruptor) de baja presión se emplea en el campo de la refrigeración como protección ante una carga baja de refrigerante. Cuando se pierde algo de la carga de refrigerante descende la presión en el lado de baja del sistema. El fabricante del equipo indica el límite de presión por debajo de cual el sistema no debe funcionar. Este es el punto en que el presostato de baja presión debe desconectar el compresor.

Los fabricantes emplean diversos ajustes basados en estos requisitos, por lo que deben seguirse sus recomendaciones. En la figura 15 se observa un presostato precalibrado de baja presión y uno de alta presión.

Figura 15. **Presostatos precalibrados de alta y baja presión**



Presostato de alta presión



Presostato de baja presión

Fuente: www.google.com.gt/searc?q=presostatos. [Consulta: 30 de marzo de 2012].

2.4.7. Temporizadores (reloj para deshielo)

Frecuentemente, se desea detener el funcionamiento del compresor durante cierto período para permitir la descongelación. Con el fin de asegurar que esto se lleve a cabo de modo regular y en el momento adecuado, puede utilizarse un reloj para que abra o cierre los circuitos a intervalos de tiempo predeterminados. Se fabrican relojes para ciclos de 24 horas y de 7 días, pudiendo ajustarse, según se desee, el intervalo de descongelación y el momento de comienzo y finalización de este.

Normalmente, se utilizan diversos tipos de circuitos de control de descongelación, tales como: momentos de comienzo, momentos de terminación; momento de comienzo, temperatura de terminación; o momento de comienzo, presión de terminación. Normalmente en los circuitos con finalización por presión o temperatura se fija una finalización de tiempo límite en el caso de que el ciclo de descongelación por cualquier razón se prologue anormalmente.

2.4.8. Termodisco

El termodisco es simplemente un elemento que funciona como interruptor de corriente ante una temperatura muy baja, se le llama termodisco por su forma, ya que casi siempre tiene forma circular y funciona haciendo uso de un elemento bimetálico, calibrado previamente en fábrica. Un termostato de disco del tipo bimetálico es conectado al circuito de control, terminando el ciclo de deshielo cuando la temperatura del serpentín alcanza aproximadamente 50 grados Fahrenheit (10 grados Celsius). El Termostato disco bimetálico o termodisco, provee un retardo al ventilador, permite humedad sobre el serpentín y congela después de la temperatura de deshielo.

2.4.9. Resistores

Estos son dispositivos eléctricos diseñados principalmente para producir calor como una estufa eléctrica o como los calefactores de ambiente.

Los calefactores descongeladores eléctricos son eficaces en la producción de calor porque el material a través del cual fluye la corriente eléctrica está hecho de alambre de alta resistencia. La resistencia es la oposición al flujo de la corriente proporcionada por la longitud.

La superficie de la sección transversal y el material con que se fabrica el conductor. Comúnmente se usan alambres de hierro o de nicromo.

La energía eléctrica se transforma en energía térmica cuando la diferencia de potencial obliga a los electrones a moverse a través del material resistivo. Esto exige trabajo y en el proceso, se consume potencia.

2.4.10. Condensadores eléctricos (capacitores)

Derivan su nombre del hecho de que poseen capacidad para almacenar cargas eléctricas (electrones). Usualmente, un capacitor se construye con dos placas conductoras separadas por un material aislante delgado que recibe el nombre de dieléctrico. Este puede ser aire, aceite, papel encerado o mica. Los conductores pueden ser placas metálicas, hojas delgadas de lámina de metal o cualquier otro material altamente conductor.

Los condensadores en un motor proporcionan par de arranque, mejora las características de funcionamiento, la eficiencia y mejoran el factor de potencia.

La cantidad de energía eléctrica que soportará un condensador depende del voltaje que se aplique. Si el voltaje se aumenta, la cantidad de energía eléctrica almacenada en el condensador aumenta. La capacidad de un condensador se expresa en microfaradios (MFD) y depende del tamaño y construcción del condensador.

La capacidad de voltaje de un condensador indica el voltaje nominal al que está diseñado para funcionar. El empleo de un condensador a voltajes menores de su capacidad no le perjudica. Los condensadores pueden conectarse tanto en serie como en paralelo para proporcionar las características deseadas. Si dos condensadores de la misma capacidad se conectan en serie, la capacidad resultante en microfaradios, es de $\frac{1}{2}$ de la capacidad nominal de un solo condensador.

La capacidad de voltaje de condensadores similares conectados en serie es igual a la suma del voltaje de los dos condensadores. Cuando los condensadores se conectan en paralelo su capacidad en microfaradios es igual a la suma de las capacidades individuales. La capacidad de voltaje es la del menor de ellos.

Es posible utilizar cualquier combinación de condensadores de arranque, en serie o en paralelo con condensadores de funcionamiento sencillo o en paralelo. (Los condensadores de funcionamiento raramente se utilizan conectados en serie).

2.4.11. Transformadores de baja tensión

Un transformador es un dispositivo eléctrico para transferir energía de un circuito a otro a una diferente tensión por medio de inducción electromagnética. Los transformadores se utilizan frecuentemente en los circuitos de control para disminuir la tensión de la línea, a la requerida por el circuito de control. En el transformador no existen partes móviles y su acción está determinada por el devanado de sus bobinas.

La salida del transformador está limitada por su tamaño; sin embargo, se dispone de transformadores casi para cualquier salida deseada que va desde un pequeño circuito de un timbre de alarma hasta los transformadores gigantes utilizados en las líneas de alta tensión.

La selección de los transformadores de los circuitos de control puede afectar vitalmente el funcionamiento y vida de muchos componentes eléctricos de un sistema de refrigeración o de acondicionamiento de aire.

Aún cuando se haya seleccionado un transformador de tamaño adecuado, deberá tenerse cuidado en evitar una excesiva caída de tensión en un circuito de control de bajo voltaje. Cuando se utilice un sistema de 24 voltios con un termostato remoto, deberá instalarse entre el transformador y el termostato un cable de suficiente capacidad para conducir la corriente.

Según las Normas NEMA, un solenoide o contactor debe funcionar satisfactoriamente a un mínimo del 85% del voltaje nominal. Permittedose una fluctuación de la tensión de la línea de más o menos 10%, que puede tener lugar en los sistemas eléctricos, la caída de tensión del transformador y alambrado de conexión deberá limitarse al 5% para asegurar un mínimo del 85% del voltaje fijado por el dispositivo magnético.

Un transformador funciona basado en el principio de inducción magnética, no tiene partes móviles y normalmente, tiene una larga duración exenta de averías. Sin embargo, la sobrecarga del transformador produce temperaturas excesivas, las cuales causarán daños en el aislante y por consiguiente fallas en las bobinas del transformador.

Un transformador para circuitos de control no sufrirá recalentamiento ni descenderá su tensión de salida secundaria por debajo del 85% de la tensión fijada.

2.4.12. Ventiladores eléctricos

Los ventiladores son casi universalmente empleados para circulación de aire u otros gases.

El ventilador centrífugo: puede mover grandes o pequeñas cantidades de aire a una gama muy grande de presiones. Este consiste de un rotor o rueda, montada en una cubierta tipo caracol. La rueda puede girar de modo directo o más comúnmente por un motor eléctrico en forma directa o empleando bandas y poleas. Las características del ventilador pueden cambiarse dentro de límites muy amplios al variar la forma de las paletas.

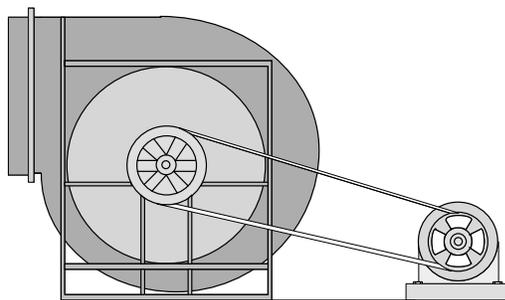
Para la cubierta del ventilador en general se emplean láminas de hierro, aunque para unidades pequeñas se utilizan algunas veces metales vaciados. Ver figura 16.

El ventilador de paletas axiales: produce flujo axial de los gases a través de la rueda y de las paletas. Las ruedas y las paletas están localizadas en una cubierta cilíndrica y se tienen paletas fijas que sirven de guía al aire antes que salgan de la rueda.

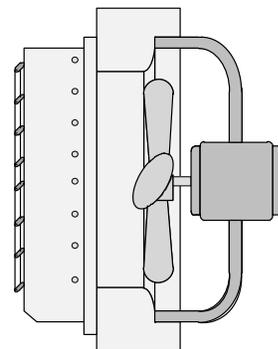
El ventilador tubo axial: es similar al ventilador de paletas axiales y puede mover una gama grande de volúmenes de aire a través de una gama de presiones medias.

El ventilador de hélice: puede mover grandes cantidades de aire, pero no produce aumento de presión significativa en el aire de circulación. Se le usa principalmente para producir movimiento de aire dentro de un espacio, contra pequeñas diferencias de presión. Ver figura 16.

Figura 16. **Ventiladores**



Ventilador centrífugo o de turbina



Ventilador axial o de hélice

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Todos los ventiladores son movidos con motores eléctricos en forma directa o usando poleas y bandas. El tipo de motor a utilizar dependerá del tamaño del ventilador y de la cantidad de aire que se desee mover. Pero los más utilizados son los motores de fase dividida y motores de arranque por capacitor.

El motor de fase dividida: posee un segundo embobinado o devanado de arranque, contiene un número mucho mayor de espiras que el devanado de marcha. Debido a la inductancia más alta de devanado de arranque, la corriente de este se retrasa con respecto a la del devanado de marcha.

Esto, efectivamente, desfasa las dos corrientes de una manera muy parecida a la que ocurre en el motor trifásico. Esta condición produce el campo magnético giratorio necesario para poner en marcha el motor. Después, cuando el motor alcanza casi su velocidad de operación, el interruptor de arranque desconecta automáticamente el devanado de arranque. Desde ese momento en adelante, el motor continúa operando por inducción, usando el rotor de jaula de ardilla.

El uso del motor de fase dividida está limitado a las aplicaciones de carga ligeras. Esto se debe al hecho de que el torque de arranque (habilidad de rotación) del motor de fase dividida no es muy alto.

Motor de arranque por capacitor: tiene un devanado de arranque además de su devanado de marcha. Sin embargo, en este tipo de motor existe un capacitor en serie con el devanado de arranque. El capacitor produce una corriente adelantada. Por lo tanto, la corriente y su campo magnético en el devanado de arranque está fuera de fase con respecto al devanado de marcha.

Esto permite que el motor arranque por sí solo. Un interruptor centrífugo automático desconecta el devanado de arranque y el capacitor cuando el motor adquiere su velocidad.

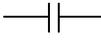
El motor con arranque con capacitor tiene la ventaja de contar con un torque de arranque varias veces mayor que su torque de marcha. De este modo, puede arrancar con cargas pesadas como las que se encuentran al arrancar un compresor contra una presión alta.

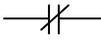
2.5. Simbología utilizada en los diagramas eléctricos de refrigeración

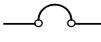
La simbología utilizada para los diagramas eléctricos pueden variar según la norma a que estén apegados, para este trabajo los diagramas eléctricos y diagramas de refrigeración fueron tomados de la Norma Americana de símbolos eléctricos para diagramas.

Se detallan únicamente aquellos símbolos que fueron utilizados en este trabajo.

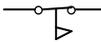
 capacitor

 contacto normalmente abierto

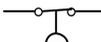
 contacto normalmente cerrado

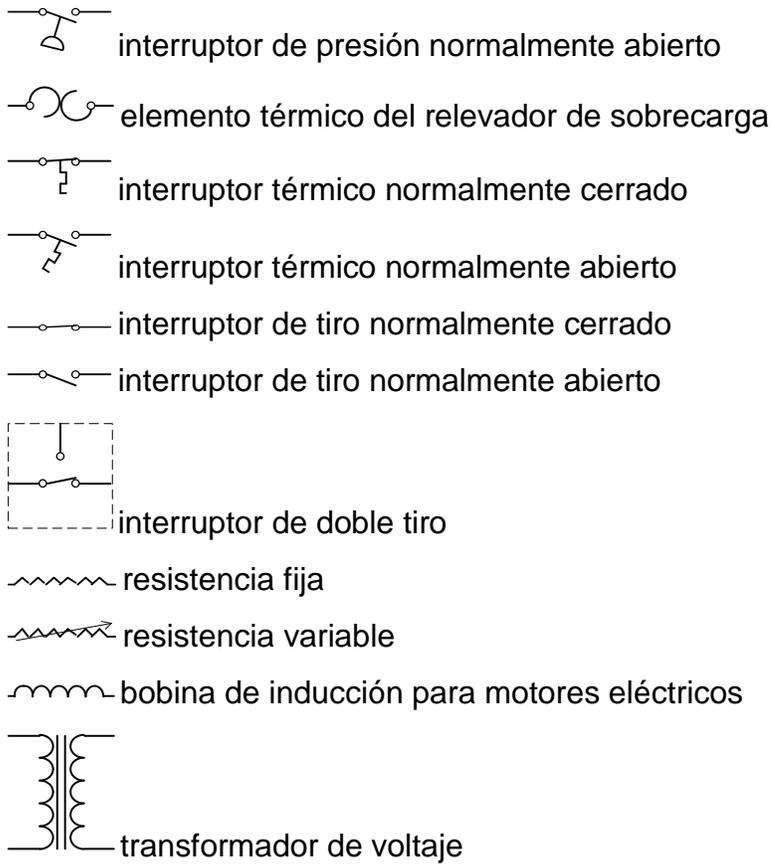
 interruptor de circuito

 bobina electro magnética de relevador

 interruptor de flujo normalmente cerrado

 interruptor de flujo normalmente abierto

 interruptor de presión normalmente cerrado



3. SIMULADOR

3.1. Materiales de construcción del simulador

Los materiales de construcción del simulador de controles eléctricos de un cuarto frío que se construyó para el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado, fueron comprados nuevos y usados, en los almacenes que se dedican a este tipo de materiales y en talleres de reparación de refrigeración; en algunos casos fueron reciclados de equipos en mal estado u obsoletos.

Los materiales que son usados están en perfectas condiciones de funcionamiento. A continuación se listan los materiales y su descripción:

- Cortacircuitos termomagnético marca Federal Pacific, de 2 por 50 amperios. Este cortacircuitos se obtuvo de segunda mano en una venta de materiales eléctricos y están montados en su caja original de la misma marca y están en buen funcionamiento. En este caso se protegen la línea de voltaje y la línea neutra para fines esquemáticos, siendo esta la entrada principal de todo el simulador.
- Cables No. 10 AWG colores negro para la línea neutro y blanco para la línea de voltaje, se utiliza este tipo de cable, aunque soporta 30 amperios, sirve en la maqueta por su rigidez la cual esquematiza claramente las líneas de voltaje.

- Barras de distribución de voltaje, estas barras fueron recicladas de un tablero de distribución de corriente, son de cobre con un baño de estaño, y se utilizan en el simulador para distribuir el voltaje a cada uno de los elementos de funcionamiento del sistema de refrigeración y sus controles. El suministro de voltaje de estas barras, lo reciben directamente del cortacircuitos de 2 por 50 amperios.
- Reloj para ciclo de deshielo, fue donado por un ingeniero que es maestro de refrigeración y aire acondicionado. Este reloj fue de un congelador marca Continental y está en óptimas condiciones. El suministro de energía lo obtiene de las barras distribuidoras de corriente y este a su vez le suministra energía a los contactores de la resistencia de deshielo y a los ventiladores del evaporador.
- Relevadores o contactores con bobina 110 voltios, marca SE, los cuales son totalmente nuevos, se utilizan 3 en este simulador, uno suministra energía a lámpara que hace las veces de resistencia de deshielo, el segundo suministra energía al ventilador del evaporador y el tercero le da energía al condensador de gas refrigerante, (compresor y ventilador). Los dos primeros reciben energía del reloj de deshielo y el tercero recibe la energía del termostato.
- Relevador o contacto con bobina de 24 voltios, marca Josly Clark, fue obtenido en un taller de refrigeración, es utilizado para dar suministro de energía a la válvula solenoide y recibe energía de transformador de voltaje.

- Interruptor off, on, este interruptor marca Btcino, es reciclado y hace las veces de un termodisco bimetálico, que da fin al ciclo de deshielo por alta temperatura. Se usa este interruptor para esquematizar la función del termodisco, ya que este funciona con la temperatura de sistema de refrigeración y en el caso del simulador no se tiene un sistema sellado de refrigeración, sino únicamente la parte eléctrica.
- Ventiladores marca Quality se obtuvieron nuevos en una venta de materiales de refrigeración, estos ventiladores son del tipo axial y simulan el funcionamiento de los ventiladores del evaporador y del condensador del sistema de refrigeración, reciben su energía, el del evaporador del reloj de deshielo, mediante un relevador de 110 voltios y el del condensador recibe el voltaje del termostato, mediante, un relevador de 110 voltios.
- Transformador de 110 – 24 voltios marca TGM, se obtuvo nuevo en una venta de materiales de refrigeración. El suministro de energía lo recibe del termostato y le da energía al relevador de 24 voltios y este a su vez le da energía a la válvula solenoide.
- Lámpara de gas neón, esta lámpara esquematiza la resistencia de deshielo. Se opta por simular lumínicamente la resistencia de deshielo, ya que el calor de una resistencia real, calienta todos los elementos causándoles daño. El suministro de energía de la lámpara lo da el relevador de la resistencia, cuando lo indica el reloj de deshielo, debiendo instalar un balastro para el funcionamiento de dicha lámpara.

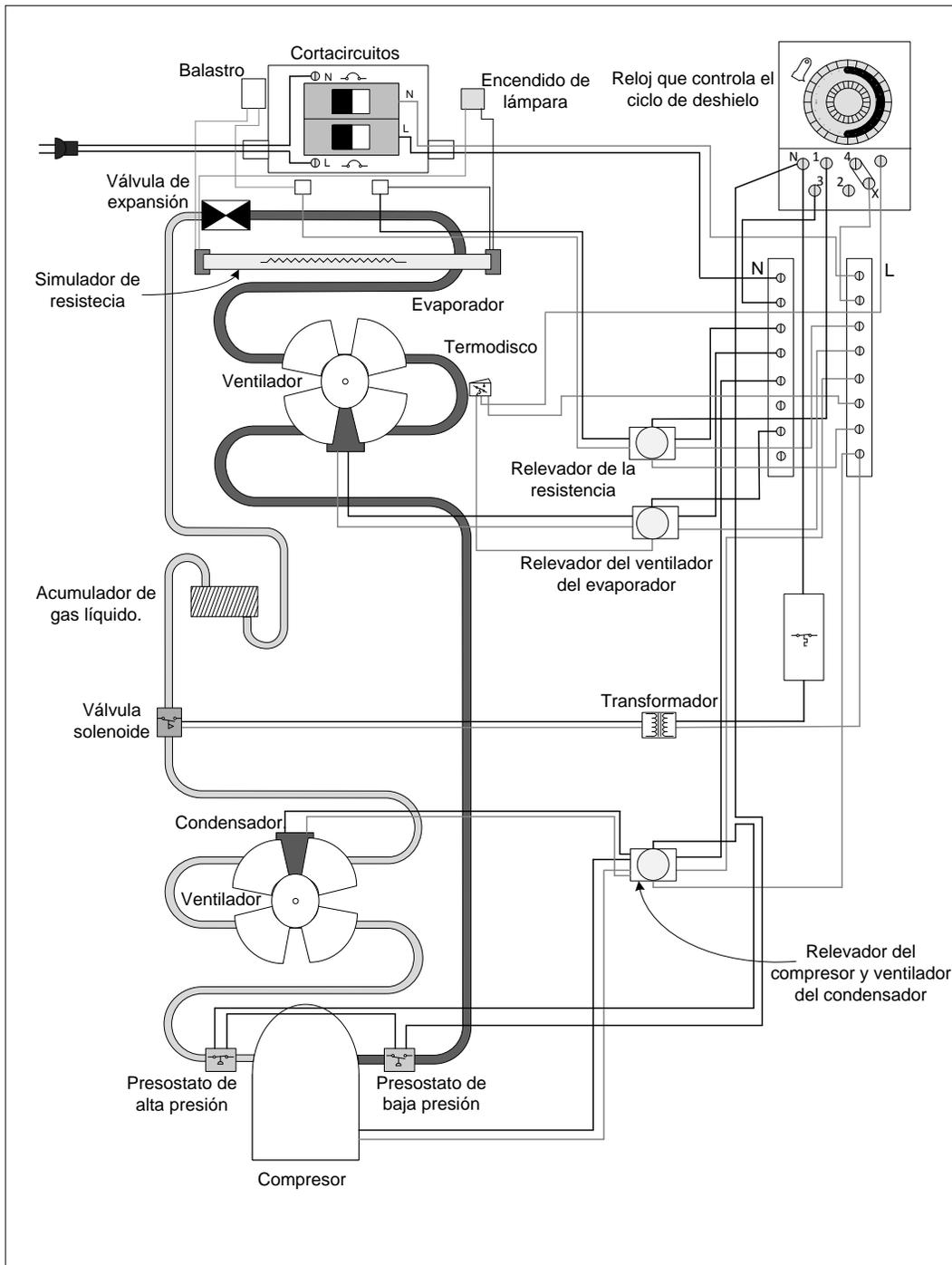
- Válvula solenoide, marca AlcoControls, fue reciclada de un equipo obsoleto, se encuentra en buen estado, esta válvula, en el simulador solamente indica su funcionamiento, ya que no se tiene presión de gas.
- Acumulador de gas líquido, este también solamente esquematiza su funcionamiento, ya que el sistema de gas es simulado.
- Válvula de expansión es otro elemento que se incluye en el simulador de forma esquemática.
- Tubería de gas refrigerante, esta es representada por mangueras luminosas de dos colores, blanca y azul, el lado de alta presión y el lado de baja presión respectivamente. Las mangueras se encienden cuando el termostato le manda señal desde el relevador que controla el compresor.
- Controles de presión de alta y baja, son instalados esquemáticamente en cada uno de los lados en las mangueras que simulan la tubería de gas refrigerante, estos controles son del tipo precalibrados y el lado de baja presión se le instala un interruptor para simular la baja presión que le provoca la válvula solenoide.
- El termostato, se adquirió nuevo en un taller de reparaciones de refrigeración, es marca Quality y tiene un rango de temperatura de -35 a +35 grados Celsius. El suministro de energía se lo proporciona un contacto normalmente cerrado del reloj de deshielo y le proporciona energía a la válvula solenoide.

3.2. Construcción del simulador

El simulador está construido como se dijo al principio de este capítulo con componentes nuevos, usados y reciclados. Dichos componentes están montados en una base de madera, pintada de blanco y sujetos a dicha madera con tornillos autoroscables de media pulgada, en el caso de la manguera luminosa que hace las veces de tubería de gas refrigerante va sujeta con abrazaderas de lámina galvanizada, dando la forma de serpentín en el evaporador como en el condensador.

Todo el sistema de cableado se puede desmontar fácilmente ya que se incluyen tres tipos de terminales: lagartos de presión, terminales de 3 metros de presión y terminales de 3 metros de un ojo y también los bornes de los cortacircuitos y de los relevadores que son roscables. Se puede ver a continuación figura 17 un esquema a detalle del simulador en la disposición real de cada uno de sus componentes, en la que se incluye la simbología utilizada en el diagrama eléctrico, siendo este esquema el que se utiliza para detallar el funcionamiento del simulador.

Figura 17. Esquema de simulador en su forma real



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

3.3. Descripción y uso del simulador

El simulador de controles eléctricos de un cuarto frío, funciona con una entrada de 110 voltios, que le da la energía a todos los elementos eléctricos que controlan de funcionamiento a un cuarto frío básico. Se describe a continuación el funcionamiento del simulador:

- Se simula una acometida con cortacircuitos de protección de 2 por 50 amperios en la que entra un voltaje de 110 voltios.
- Los cortacircuitos le dan suministro de energía a 2 barras distribuidoras N y L respectivamente.
- Las barras suministran energía principalmente al reloj que controla el deshielo, en los puntos X y 3. Estas mismas le dan energía a los contactos normalmente abiertos de los relevadores que controlan el funcionamiento del ventilador del evaporador de la resistencia de deshielo y del condensador que incluye el ventilador y compresor, dando también en forma directa la línea L a las bobinas del relevador de la resistencia y del condensador, así como, al termodisco.
- El reloj controlador del deshielo, recibe voltaje en los puntos X y 3, el punto N es un contacto normalmente cerrado por lo que le da suministro en forma normal al termostato ambiental del cuarto que se está enfriando, cuando la programación del reloj lo indica el ciclo de deshielo inicia y el punto 1, que es un contacto normalmente abierto, cierra, dando energía a la resistencia de deshielo y N abre, cortando la energía al compresor y su ventilador.

El deshielo finaliza por tiempo programado o porque la temperatura sube a 10 grados Celsius entonces el termodisco bimetálico cambia su posición tal que le suministra energía al embrague del reloj, finalizando este el ciclo de deshielo e iniciando el funcionamiento del compresor y el ventilador del condensador y el ciclo de refrigeración, bajando la temperatura y forzando al termodisco regresar a su posición de encendido del ventilador del evaporador, para lo cual requiere unos minutos que se toman como retardo para el ventilador.

En el simulador el termodisco se dijo anteriormente es un interruptor manual ya que no se tiene en este diferencias de temperaturas. Entonces el reloj sigue su funcionamiento hasta que llegue al otro tiempo programado para deshielo.

- El termostato recibe su energía directamente del reloj de deshielo en el punto N. sirviendo de interruptor térmico al transformador de voltaje 110/24 voltios, el cual le da energía a la válvula solenoide, manteniéndola abierta según la temperatura programada. Cuando el termostato alcanza la temperatura deseada abre el contacto y la válvula solenoide cierra, provocando vacío en el lado de baja presión del sistema de refrigeración, entonces el control de presión de baja o presostato de baja detecta la baja presión y abre su contacto, los cuales dejan de suministrar energía a la bobina del relevador que controla el compresor y ventilador del condensador.
- La válvula solenoide es esquemática, ya que el simulador no tiene un sistema real de refrigeración, únicamente se esquematiza su funcionamiento.

- Los controles de presión o presostatos tampoco están sujetos a cambios de presión, ya que como se menciona no se tiene un sistema sellado de refrigeración. Con el presostato de alta no existe problema porque es normalmente cerrado y abre cuando sube la presión hasta 350 PSI (libras/pulgada cuadrada), pero en el caso del presostato de baja se mantiene normalmente abierto y cierra hasta que alcanza una presión de 40 PSI (libras/pulgada cuadrada), por lo que se le agrega una línea de neutro desde el punto N a la bobina del relevador que controla el compresor y ventilador del condensador y de esta forma el simulador hará automáticamente todo el proceso.

- La resistencia, como se indicó es representativa, ya que una lámpara de gas neón indica que está en funcionamiento dicha resistencia, entonces para lograr encender esta lámpara, se instala un circuito de encendido en donde se incluye un balastro y un bulbo de encendido rápido, instalado a la par de la acometida.

3.4. Procedimiento para la utilización del simulador

Para la utilización de este simulador se debe seguir los pasos que a continuación se detallan:

- Se conecta a un tomacorriente existente con la espiga incluida en el simulador, tal que entre a la acometida de cortacircuitos de 50 amperios, 120 voltios.

- Los cortacircuitos se deben poner en posición cerrada para que fluya la energía a las barras de distribución L y N.

En ese momento se encenderán los ventiladores del condensador y evaporador y además se iluminará la tubería del circuito de gas refrigerante que está representado en el lado de alta presión con manguera luminosa blanca y en el lado de baja presión con manguera luminosa azul.

También las barras energizan el reloj controlador de deshielo, entregando energía al termostato y empezando la espera del ciclo de deshielo que depende de la programación que se haya predispuesto en este:

- La programación del reloj de deshielo debe ser la que el usuario elija, pero para fines didácticos se puede adelantar el reloj tal que la espera sea de pocos minutos, para que inicie más rápido ejemplificar el ciclo de deshielo.

El ciclo de deshielo, como ya se indicó, finaliza por tiempo del reloj o porque el termodisco censa una temperatura de 10 grados Celsius y cambia su posición cortando así el ciclo de deshielo, pero como el termodisco utilizado es esquemático, se debe cambiar su posición manualmente, ya que no existen cambios de temperatura, para lo cual se deberá explicar didácticamente que cambia al censar dicha temperatura, seguidamente empieza a bajar la temperatura ya que el reloj le envía nuevamente energía al termostato que conecta la válvula solenoide para que el presostato de baja vuelva a conectar y funcione el sistema de refrigeración, por lo que el termodisco regresa de nuevo a su posición y funciona nuevamente el ventilador del evaporador, que se deberá cambiar manualmente.

- Se puede hacer la práctica de desmontaje de todos los elementos del simulador, incluyendo el cableado y guiándose por el esquema y el diagrama eléctrico del simulador de este capítulo volver a construirlo y dejarlo funcionando idénticamente.

CONCLUSIONES

1. Utilizando correctamente el simulador de controles eléctricos de cuartos fríos, los estudiantes o la persona interesada obtendrá con ejemplo real el conocimiento requerido para comprender el funcionamiento de dichos controles.
2. El conocimiento que se puede adquirir al utilizar herramientas didácticas que sean reales aseguran el conocimiento de los principios básicos en los futuros profesionales o estudiantes de refrigeración.
3. Las prácticas en taller con este simulador facilitan la adquisición de la habilidad para resolver problemas eléctricos en los ciclos de refrigeración.
4. Mediante el análisis del simulador se facilita la comprensión de los circuitos de los controles de los cuartos fríos.
5. El simulador es una herramienta didáctica que los instructores de laboratorio y profesores de refrigeración de la escuela de mecánica pueden utilizar para facilitar la comprensión de los controles eléctricos de cuartos fríos.
6. El contacto de los estudiantes con elementos reales en un simulador de como este hace que se familiarice con los elementos eléctricos tal que al verlos en la realidad los reconozca y sepa como funcionan y como se instalan o sustituyen.

RECOMENDACIONES

1. Se debe utilizar correctamente el simulador de controles eléctricos de cuartos fríos que se ha utilizado en este documento, para adquirir el conocimiento de los circuitos eléctricos de dichos controles.
2. El simulador deberá ser una herramienta más en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para ser utilizado como práctica de taller.
3. Utilizar el simulador para enseñar de forma didáctica los conocimientos necesarios para comprender los circuitos de control de un cuarto frío.
4. Se deben considerar prácticas de taller en este simulador para adquirir las correctas habilidades y conocimientos y así resolver problemas en circuitos eléctricos de refrigeración.
5. Analizar el simulador para comprender la función de los circuitos eléctricos de los cuartos fríos.
6. Utilizar el simulador como una herramienta didáctica tal que sea más fácil y cómoda la enseñanza para los instructores de laboratorios y los profesores de refrigeración.

7. El estudiante debe familiarizarse con elementos reales en talleres que cuenten con este tipo de simuladores como el que se presenta en este trabajo, deben desarmar y armar el simulador y comprobar su correcto funcionamiento, tal que comprenda correctamente su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Frigus Bhon, *Manual de instalación de sistemas de refrigeración*. México: 2002. 40 p.
2. GRANET, Irving. *Termodinámica*. 3a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1988. 752 p. ISBN 0-8359-7674-2.
3. HEMPHILL, Calvin R. *La corriente eléctrica alterna*. México: Sistemas Universales, 1990. 26 p. ISBN 968-6064-04-4.
4. JENNINGS, Burgess H.; LEWIS, Samuel R. *Aire acondicionado y refrigeración*. 14a ed. México: Continental, 1988. 800 p.
5. MARSH, R. Warren; OLIVO, C. Thomas. *Principios de refrigeración*. 2a ed. México: Diana, 1998. 572 p. ISBN 968-13-2068-9.
6. STOECKER, W.F. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. Madrid: McGraw-Hill, 1965. 406 p.