ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

CARLOS FABIÁN ÁLVAREZ GALLO
carlosalvarez@ieee.org

JAVIER IGNACIO REINA DELGADO
j.reina@ieee.org

DIRECTOR: DR. LUÍS CORRALES PAUCAR
luisco5049@yahoo.com

Quito, enero 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Carlos Fabián Álvarez Gallo y Javier Ignacio Reina Delgado, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Carlos Fabián Álvarez Gallo

Javier Ignacio Reina Delgado

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Fabián Álvarez Gallo y Javier Ignacio Reina Delgado, bajo mi supervisión.

Dr. Luís Corrales Paucar
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Gracias a quienes, aun que sea un momento, compartieron una palabra conmigo.
Gracias a todos los que, en algún momento, han sabido brindarme su amistad.
Gracias a ellas, con las que a su momento, viví algo más que una amistad.
Gracias a ti, por este momento.
Gracias a mi familia, pues en todo momento, están aquí y me saben apoyar.

Gracias a Dios,
quien ha llenado mi vida de personas y momentos que impulsan a
sonreír y caminar.

Carlos Álvarez Gallo

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer infinitamente a mi hermano Hernán, por su gran colaboración para la realización de este trabajo.

A toda mi familia: Hernán y Brenda, Tania, Hernán, Danilo, Paola, Melissita, Danilito, Nathy e Isabelita, por apoyarnos siempre.

Además agradezco, a mis amigos y colegas: Telmo, Carlos, Paola y Vanessa, a quienes estimo profundamente, por su ayuda tanto en la cotidianidad en la universidad como en compartir alegrías y tristezas del diario vivir.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de este trabajo, hago extensivo mis más sinceros agradecimientos.

Javier Reina Delgado

DEDICATORIAS

Con Amor:

A mi mamá. A mi papá. A mi ñaña. A mi ñaño. A mis abuelos, los vivos y los que ya partieron. Y a Dios.

Carlos Álvarez Gallo

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo y toda mi carrera universitaria a mis Padres, Hernán y Brenda, por ser siempre mi apoyo incondicional, fuerza y templanza en todas las actividades realizadas y metas cumplidas en mi vida.

Javier Reina Delgado

ÍNDICE

CARATULA 1
DECLARACIÓN 2
CERTIFICACIÓN 3
AGRADECIMIENTOS 4
DEDICATORIAS 6
ÍNDICE 8
RESUMEN 12
PRESENTACIÓN 13

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO 14
1.1. OBJETIVO GENERAL 14
1.2. TEMPERATURA 14
1.3. INTRODUCCIÓN AL CALOR 16
1.4. CONDUCCIÓN 17
1.5. CONVECCIÓN 18
1.6. RADIACIÓN 18
1.7. CALOR MEDIBLE 19
1.8. CALOR LATENTE 19
1.9. CALOR ESPECIFICO 21
1.10. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE CALEFACCIÓN 21
1.11. PRESIÓN 22
1.12. PRESIÓN ATMOSFÉRICA 22
1.13. MANÓMETROS 24
1.14. MEDIDA DE LA PRESIÓN EN EL SISTEMA MÉTRICO 26
1.15. LEYES DEL GAS 26
1.15.1. LEY DE BOYLE 27
1.15.2. LEY DE CHARLES 27
1.15.3. LEY GENERAL DE LOS GASES PERFECTOS 28
1.15.4. LEY DE DALTON 29
1.16. ENERGÍA CONTENIDA EN EL CALOR 29
1.17. INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN 29
1.18. REFRIGERACIÓN 30
1.19. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN 30
1.20. EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN 32
1.21. RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA 32
1.22. CICLO MECÁNICO DE REFRIGERACIÓN 35
1.23. COMPONENTES DE REFRIGERACIÓN 36
1.23.1. EL EVAPORADOR 37
1.23.2. EL COMPRESOR 39
1.23.3. EL CONDENSADOR 42
1.23.4. EL DOSIFICADOR DE REFRIGERANTE 43
1.24. EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y SUS COMPONENTES 45
1.25. REFRIGERANTES 48
1.26. PUNTO DE EBULLICIÓN DEL REFRIGERANTE 50
1.27. TRAZADO DEL CICLO DE REFRIGERANTE 51

CAPÍTULO 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR) 57
2.1. ANTECEDENTES 57
2.2. ELECCIÓN DE LA UNIDAD DE REFRIGERACIÓN 57
2.3. ELECCIÓN DEL EVAPORADOR 59
2.4. DOSIFICADORES DE REFRIGERANTE 60
2.4.1. DOSIFICADOR DE ORIFICIO 60
2.4.2. VÁLVULA DE EXPANSIÓN. 61
2.4.2.1. Funcionamiento de una válvula de expansión termostática: 63
2.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 64
2.6. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO 66
2.6.1. PRESIONES DEMASIADO BAJAS O ALTAS 68
2.6.2. TEMPERATURAS DEMASIADO BAJAS O ALTAS 69
2.6.3. FALLA TOTAL DEL EVAPORADOR 70
2.6.4. FALLA EN LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA 70
2.6.5. SOBRECORRIENTES HACIA EL COMPRESOR. 70
2.7. CONSTRUCCIÓN DEL MDR 71
2.7.1. ESTRUCTURA METÁLICA Y TABLEROS DE MONTAJE 71
2.7.2. DETERMINAR LA UBICACIÓN DE ELEMENTOS: 72
2.7.2.1. Elementos básicos. 72
2.7.2.2. Elementos de control: 73
2.7.2.3. Accesorios y elementos de maniobra: 73
2.7.2.4. Elementos incluidos en la Unidad de Refrigeración 74
2.8. TUBERÍAS 75
2.8.1. TIPOS Y TAMAÑOS DE TUBERÍAS 75
2.8.2. AISLAMIENTO DE TUBERÍAS 77
2.8.3. CORTE DE TUBERÍAS 77
2.8.4. DOBLADO DE TUBERÍAS 79
2.8.5. DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS 80
2.9. SOLDADURA 81
2.9.1. FUENTES DE CALOR PARA SOLDADURA 82
2.10. UNIONES ABOCINADAS 85
2.11. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN 86
2.11.1. INTRODUCCIÓN 86
2.11.1.1. Transmisión de calor. 87
2.11.1.2. Infiltración de aire. 87
2.11.1.3. Cargas por los productos 87
2.11.1.4. Cargas complementarias 88
2.11.2. CÁLCULO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN 88
2.11.2.1. Transmisión de calor 89
2.11.2.2. Efecto solar 95
2.11.2.3. Temperaturas de diseño 96
2.11.2.4. Infiltración del aire 96
2.11.2.5. Carga de los productos 100
2.11.2.6. Cargas complementarias 105
2.11.2.7. Carga horaria total 107
2.11.3. SELECCIÓN DEL EQUIPO 108
2.11.4. CÁLCULO DE EJEMPLO 111

CAPÍTULO 3. PRUEBAS Y RESULTADOS 116
3.1. INSTRUCCIONES DE SERVICIO 116
3.1.1. DOSIFICADOR DE REFRIGERANTE: 119
3.1.1.1. Tubo Capilar “Orificio” 119
3.1.1.2. Válvula de Expansión. 120
3.1.2. PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES: 121
3.1.2.1. Termostato 121
3.1.2.2. Presostato 124
3.1.3. SIMULACIÓN DE FALLAS 125
3.1.3.1. Falla en el Evaporador. 125
3.1.3.2. Falla por Presión Fuera de los Límites 126
3.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN 128
3.1.4.1. Funcionamiento con Válvula de Expansión 129
3.1.4.2. Funcionamiento con Tubo Capilar 130
3.1.4.3. Simulación de Errores de Presión 132
3.2. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN 132
3.2.1. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS ELÉCTRICOS 132
3.2.2. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS MECÁNICAS DE REFRIGERACIÓN. 136
3.2.3. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN EL COMPRESOR 139
3.2.3.1. Pérdida de eficiencia 139
3.2.3.2. Sobrecarga del motor 140
3.2.3.3. Operación ruidosa 141
3.2.3.4. Ruidos en el compresor 141
3.2.4. PRUEBA DE CAPACITORES Y RELEVADORES 143
3.2.4.1. Capacitores. 143
3.2.4.2. Prueba de relevadores de arranque. 144
3.2.5. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN EVAPORADORES Y CONDENSADORES 145
3.2.5.1. Evaporadores 145
3.2.5.2. Condensadores 149
3.2.6. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN 152
3.2.7. OTRAS ÁREAS PARA LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS 155
3.2.8. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS DEL SISTEMA SELLADO 155
3.2.9. FUGAS DEL REFRIGERANTE 156
3.2.10. RESTRICCIONES EN EL SISTEMA 157
3.2.11. PROBLEMAS DE INSTALACIÓN 158

CAPÍTULO 4. MANUAL DE USUARIO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR) 161
4.1. PARTES DEL MDR 161
4.1.1. ELEMENTOS BÁSICOS 162
4.1.2. ELEMENTOS DE CONTROL 162
4.1.3. ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE MANIOBRA 162

4.1.4. ACCESORIOS DE COMÚN UTILIZACIÓN 162
4.2. ANTES DE EMPEZAR:..... 163
4.3. FUNCIONAMIENTO NORMAL 163
4.4. SIMULACIÓN DE FALLAS 164
4.5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN 165
4.5.1. SIEMPRE QUE SE LO PONGA EN FUNCIONAMIENTO O DIARIAMENTE. 165
4.5.2. MENSUALMENTE 165
4.5.3. TRIMESTRALMENTE..... 166
4.5.4. SEMESTRALMENTE..... 166
4.5.5. ANUALMENTE 166

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 167
5.1. CONCLUSIONES. 167
5.2. RECOMENDACIONES. 168

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 170

ANEXOS 171
ANEXO 1. TABLA DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS 172
ANEXO 2. TABLA DE CALORES ESPECÍFICOS 174
ANEXO 3. PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA: TABLA DE RELACIÓN PRESIÓN TEMPERATURA 175
ANEXO 4. TABLA DE RELACIÓN PRESIÓN/TEMPERATURA DE REFRIGERANTES EN MM HG DE VACIO KPA (CON RESPECTO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA). 176
ANEXO 5. LISTA PARCIAL DE PROPIEDADES DE UNA TABLA PARA R-22. 177
ANEXO 6. LISTA DÉ REFRIGERANTES CON INDICACIÓN DE ALGUNAS DE SUS CARACTERÍSTICAS. 178
ANEXO 7. MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN DEL COLEGIO CENTRAL TÉCNICO. 179
ANEXO 8. MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR) 180
ANEXO 9. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR) 181
DATOS DE RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR ANTES DE CONGELACIÓN183
ANEXO 11. DATOS DEL RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR POR DEBAJO DEL PUNTO DE CONGELACIÓN 184
ANEXO 12. DATOS DE RENDIMIENTO TÍPICOS DE UNA UNIDAD DE CONDENSACIÓN 185
ANEXO 13. MANUAL DEL TERMOSTATO EKC 101..... 187
ANEXO 14. DIÁMETRO DE LA LÍNEA DE SUCCIÓN - R22 191
ANEXO 15. DIÁMETRO DE LA LÍNEA DE LÍQUIDO - R22..... 192
ANEXO 16. MODELO DE UNA PRÁCTICA PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....193

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un módulo didáctico de refrigeración.

Para lograr este cometido se realizó una investigación sobre la existencia de equipos parecidos en establecimientos educativos, como son colegios técnicos y universidades para identificar los elementos que componen los mismos y su lógica de funcionamiento. De forma paralela, se efectuó la búsqueda de materiales y elementos en empresas que comercializan equipos refrigeración industrial para identificar aquellos que podrían ser utilizados al momento de la implementación. La empresa privada jugó un papel muy importante, pues de ella se adquirió conocimientos y recomendación bibliografica sumamente útil.

El sistema que se ha logrado construir es capaz de controlar la temperatura desde 10ºC hasta los 0.4 ºC y la presión del refrigerante tanto en el lado de alta (280 y 230 PSI), como el de baja (75 y 59 PSI), dependiendo de las condiciones ambientales. El sistema permite visualizar sus distintos estados pues permite simular las fallas de alta y baja presión, alta y baja temperatura, fallas en el evaporador y siempre cuidando al compresor. Además, el equipo esta protegido contra sobrecorrientes para evitar daños al compresor.

PRESENTACIÓN

En este proyecto se implementa un Módulo Didáctico de Refrigeración para el Laboratorio de Instrumentación Industrial. Este módulo muestra el ciclo de refrigeración de manera explicita, pues mediante el uso del mismo pretendemos que los estudiantes de las materias relacionadas puedan observar los diferentes estados, presiones y temperaturas que experimenta el refrigerante dentro del ciclo de refrigeración, en este caso, el Refrigerante R-22.

En el capitulo 1 se expone el pertinente marco teórico concerniente a los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, cabe señalar que se toma como punto de partida conceptos básicos de temperatura, presión y estados de la materia, que resulta primordial para el lector que se inicia en refrigeración.

El diseño y construcción del módulo didáctico de refrigeración se aborda en el capítulo 2, aquí también se tocan temas acerca de materiales, criterios y alternativas contempladas en los sistemas de refrigeración, así como también un ejemplo de cálculo.

El capítulo 3, expone de forma detallada el funcionamiento del módulo, así como también, los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento posterior al montaje final y puesta a punto.

En el capítulo 4 está el manual de usuario. Éste es una replica exacta del manual adjunto al módulo y responde a la necesidad de respuestas inmediatas ante dudas acerca del uso común del módulo de refrigeración, mismas que no ameritan adentrarse en un análisis minucioso.

Finalmente, en el capítulo 5 se resumen las conclusiones y recomendaciones. En base a lo experimentado durante la construcción de módulo didáctico de refrigeración.

CAPÍTULO 1.
MARCO TEÓRICO

1.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un módulo didáctico de refrigeración para el laboratorio de Instrumentación Industrial.

1.2. TEMPERATURA

Puede considerarse la temperatura como una descripción del nivel de calor, mientras que pueda considerarse el calor como energía en la forma de moléculas en movimiento. El punto inicial de la temperatura es, por tanto, el punto inicial del movimiento molecular.

La teoría es que el movimiento molecular se detiene a -273º C. Esta es una conclusión teórica, porque el movimiento molecular nunca ha sido detenido completamente. La completa detención del movimiento molecular se denomina cero absoluto, y se ha calculado que se encuentra en el punto de -273º C. Los científicos han conseguido aproximarse a sólo unos pocos grados de hacer que cierta sustancia alcanzara el cero absoluto. La Figura 1.1 es una ilustración de algunos niveles de calor (movimiento molecular), mostrados en una escala de un termómetro.

La Figura 1.2. Muestra otro termómetro con varias otras equivalencias entre temperaturas (consultar el Anexo 1 de conversión de temperaturas para pasar de una escala a otra). También pueden emplearse fórmulas para realizar las conversiones.

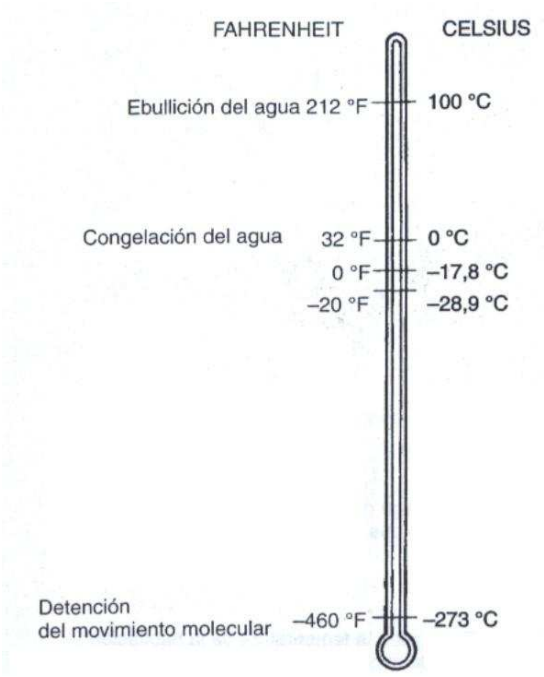


Figura 1.1. Comparación entre las escalas Fahrenheit y Celsius

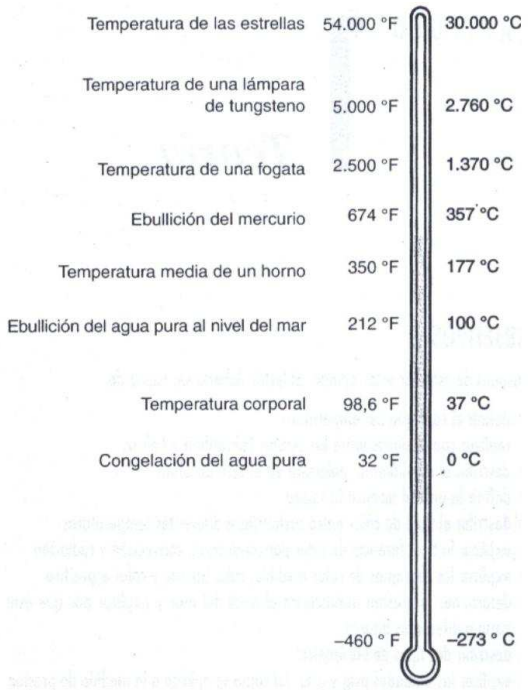


Figura 1.2. Equivalencias entre temperaturas

Hasta ahora se ha expresado la temperatura en términos cotidianos, pero es igualmente importante en la industria del aire acondicionado, la calefacción y la refrigeración describir las temperaturas en términos científicos. Las características nominales de los equipos se establecen en términos de temperatura absoluta. La

escala absoluta Fahrenheit, conocida como escala Rankine, fue denominada así por su interventor W. J. M. Rankine, mientras que la escala absoluta Celsius se denomina escala Kelvin por el científico Lord Kelvin. Las escalas de temperatura dan comienzo en el punto donde el movimiento molecular se detiene y utilizan el 0 como punto inicial. Por ejemplo, 0 es la escala absoluta Fahrenheit se denomina 0 absoluto o 0 ºRankine (0 ºR). De la misma forma, 0 en la escala absoluta Celsius se denomina cero absoluto o 0 º Kelvin (0 ºK)

En ocasiones, puede ser necesario convertir determinadas temperaturas de Celsius a Fahrenheit, o a la inversa. Esta conversión puede realizarse utilizando la tabla de conversión de temperaturas del Anexo 1 o mediante las fórmulas:

$$^{o}C = \frac{^{o}F - 32^{o}}{1{,}8} \qquad ^{o}F = 1{,}8\left(^{o}C\right) + 32^{o}$$

Ahora se procede a explicar la afirmación anterior de que la temperatura describe el nivel de calor o movimiento molecular, y por tanto su temperatura, se incrementa.

1.3. INTRODUCCIÓN AL CALOR

Las leyes de la termodinámica ayudan a entender el concepto de calor. Una de estas leyes establece que el calor no puede ser creado ni disminuido, esto quiere decir que todo el calor que las personas pueden notar no se crea, sino que es meramente convertido a una forma de calor utilizable, a partir de algo que ya está presente. Este calor puede ser medido cuando se transfiere de una sustancia a otra.

La temperatura describe el nivel de calor con referencia a la ausencia de calor. El término utilizado para describir la cantidad de calor se conoce como Unidad Térmica Británica (British Thermal Unit, Btu) y en el SMD, como caloría. Estos términos explican cuánto calor está contenido en una sustancia. Pueden determinarse la tasa de consumo de calor añadiendo la magnitud temporal.

Una caloría se define como la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un gramo (1 lb) de agua 1º C. Por ejemplo, cuando se calienta 1 g. de agua de 68º C a 69º C, el agua absorbe una caloría de energía calórico. Para medir cuanto calor se absorbe en un proceso como este, se necesita un instrumento de laboratorio. Este instrumento se demoniza calorímetro.

Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos sustancias, se produce una transferencia de calor. La diferencia de temperaturas es la fuerza motriz responsable de la transferencia de calor. Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, mayor será la transferencia de calor. El calor fluye naturalmente desde las sustancias más calientes a las sustancias más frías. Las moléculas de movimiento rápido de la sustancia más caliente ceden parte de su energía a las moléculas, de movimiento más lento, de la sustancia más fría. La sustancia más caliente se enfría debido a que las moléculas ralentizan su movimiento. La sustancia más fría se calienta debido a que sus moléculas se mueven más rápido. En el sistema métrico internacional de medida, se utiliza el término julio (J) para expresar la cantidad de calor. Puesto que un julio es muy pequeño, las unidades métricas de calor en esta industria se suelen expresar en kilojulios (KJ) o 1.000 julios. 1 Btu es igual a 1,055 KJ. En el sistema métrico se utiliza como unidad el gramo (g) para expresar el peso. De nuevo esta cantidad es muy pequeña por lo que a menudo se emplean los kilogramos (Kg).

La cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 Kg de agua 1º C es igual a 4.187 KJ.

1.4. CONDUCCIÓN

Para explicarse la transferencia de calor por conducción como la transferencia de energía entre una molécula y otra. A medida que la molécula se mueve más rápido, hace que otras hagan lo mismo. Por ejemplo, si un extremo de una varilla de cobre se coloca sobre el fuego, el otro extremo se vuelve demasiado caliente como para poder agarrarlo. El calor viaja por la varilla de molécula en molécula.

La transferencia de calor por conducción se utiliza en muchas aplicaciones de transferencia de calor cotidianas. El calor se transfiere por conducción desde el quemador eléctrico caliente de la cocina al cazo que contiene agua. Después, se transfieren también por conducción al agua.

Las distintas velocidades a las que los diversos materiales conducen el calor tienen una interesante similitud con la conducción de electricidad. Como regla general, las sustancias que son malas conductoras de calor son también malas conductoras de la electricidad. Por ejemplo, el cobre es uno de los mejores conductores de la electricidad y del calor, y el vidrio es uno de los peores conductores también en ambos casos.

1.5. CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se emplea para mover calor de un punto a otro. Cuando se mueve el calor, este es normalmente transferido a alguna sustancia que sea fácilmente desplazable, tal como el aire o el agua. Muchos grandes edificios tienen una calefacción central en la que se calienta el agua y se la bombea a lo largo del edificio hasta el espacio que hay que calentar.

1.6. RADIACIÓN

La transferencia de calor por radiación resulta sencilla de explicar utilizando el sol como ejemplo de fuente calorífica. El sol está situado a unos 150 millones de Km de la superficie de la tierra, a pesar de lo cual, se puede notar su intensidad. La temperatura de la superficie del sol esta extremadamente caliente comparada con cualquier otra cosa que exista en la tierra. El calor transferido por radiación viaja a través del espacio sin calentar éste y es absorbido por los primeros objetos sólidos que encuentra. La tierra no recibe el calor total del sol, porque el calor transferido por radiación disminuye según el cuadrado de la distancia recorrida.

1.7. CALOR MEDIBLE

El nivel del calor puede ser medido fácilmente cuando cambie la temperatura de una sustancia (recordar el ejemplo de cambiar 1 g de agua de 68º C a 69º C), este cambio en el nivel de calor puede ser medido por un termómetro. Cuando un cierto cambio de temperatura puede ser registrado, se puede saber que el nivel de calor ha cambiado y lo se lo denomina calor medible.

1.8. CALOR LATENTE

Hay otro tipo de calor, al que se denomina calor latente u oculto. En este proceso se sabe que se añade calor, pero no se experimenta un incremento de la temperatura. Un ejemplo sería cuando se añade calor al agua mientras ésta está en ebullición dentro de un recipiente abierto. Una vez que el agua alcanza el punto de ebullición, el añadir más calor simplemente hace que se evapore más rápidamente, la temperatura no se eleva.

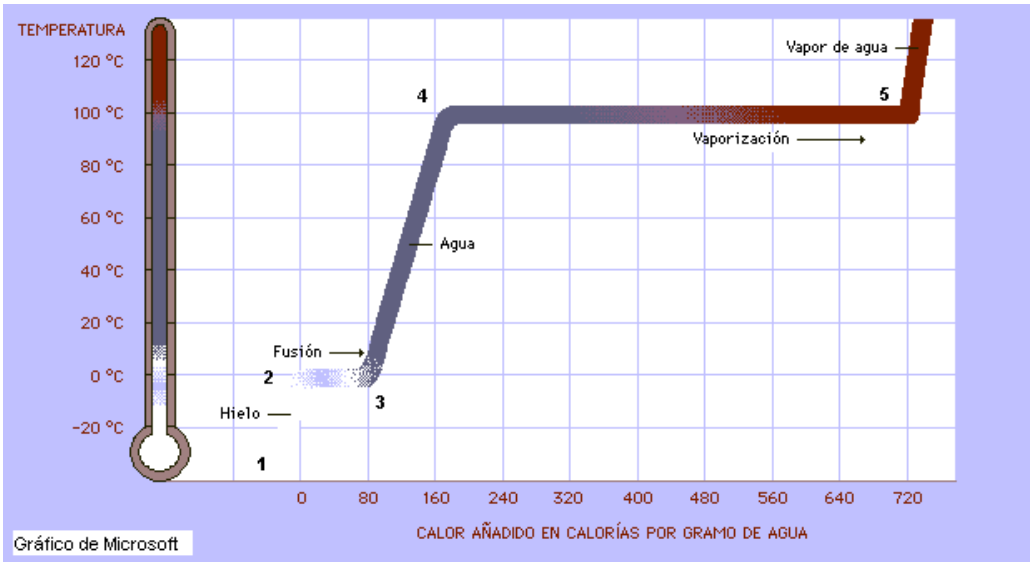


Figura 1.3. Gráfico Calor/Temperatura

El siguiente ejemplo describe las características del calor medible y el calor latente del agua. Dichas características se indican a todo lo largo del rango de temperatura desde -40 ºC hasta por encima del punto de ebullición. En la Figura

1.3, la temperatura se indica en el margen izquierdo y el contenido de calor aparece en la parte inferior del gráfico. Se puede ver que a medida que se añade calor, la temperatura se incrementa, excepto durante el proceso de calor latente u oculto. El interés de este gráfico radica en el concepto de que puede añadirse calor sin hacer que la temperatura aumente.

Las siguientes afirmaciones ayudarán a comprender la gráfica:
En el punto 1, donde da comienzo el ejemplo, el agua esta en forma de hielo. El punto 1 no es el cero absoluto. Es -40º C y se emplea como punto inicial.
El calor añadido entre los puntos 1 y 2 es calor medible. Existe un incremento detectable de la temperatura. Observe que sólo se necesita 0,5 Kcal de calor para hacer 1 Kg de hielo se incrementa 1º C.

Cuando se alcanza el punto 2, se dice que el hielo está saturado de calor. Esto quiere decir que, si se añade más calor, dicho calor será latente y fundirá el hielo sin incrementar la temperatura. La adición de 80 Kcal de calor transforma 1 Kg de hielo en 1 Kg de agua. Si se extrae parte del calor, el hielo se enfriará por debajo de los 0 ºC.

Cuando se alcanza el punto 3, la sustancia es ahora agua y se dice que se trata de un líquido saturado. El añadir más calor origina un aumento de la temperatura (calor medible). Si se extrae parte del calor el punto 3, parte del agua volverá a transformarse en hielo. Este proceso se denomina extracción del calor latente. El calor añadido entre los puntos 3 y 4 es calor medible; cuando se alcanza el punto 4 se habrán añadido 100 Kcal: 1 Kcal /Kg /ºC de cambio de temperatura.

El punto 4 representa otro punto de saturación. El agua está saturada de calor hasta el punto de que la eliminación de parte de éste hace que el líquido se enfríe por debajo del punto de ebullición. El calor añadido es calor latente, que hace que el agua ebulla y comience a transformarse en vapor. El añadir 540 Kcal hace que 1 Kg de líquido entre en ebullición hasta alcanzar el punto 5 y transformarse totalmente en vapor.

El punto 5 representa un nuevo punto de saturación. El agua está ahora en estado de vapor, el calor extraído sería calor latente, que haría que parte del vapor volvería a transformarse en líquido; este proceso se denomina condensación del vapor. Todo calor añadido en el punto 5 es calor medible, que hace que la temperatura del vapor se incremente por encima del punto de ebullición. Calentar el vapor por encima del punto de ebullición se denomina sobrecalor.

1.9. CALOR ESPECIFICO

Es posible notar que las distintas sustancias responden de distinta forma al calor. Cuando se añade 1 Kcal de energía calorífica de 1 Kg de agua, la temperatura de ésta cambia 1º C. Esto sólo es cierto para el agua.

Cada sustancia tiene un calor específico distinto y el del agua es 1 Kcal / Kg/ ºC. En el Anexo 2 se lista el calor específico de algunas otras sustancias.

1.10. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE CALEFACCIÓN

El calor específico es importante porque la cantidad de calor requerida para cambiar las temperaturas de distintas sustancias se emplea para dimensionar los equipos.

El siguiente ejemplo muestra cómo se aplicaría esto a la práctica. Si una empresa de fabricación necesita comprar un equipo calefactor para calentar el acero antes de poder emplear este en un determinado proceso. Es posible, por ejemplo, que el acero esté almacenado en un ambiente exterior frío a 0 ºC y que necesita un cierto precalentamiento. La temperatura deseada para el proceso de fabricación es de 30º C. ¿Cuánto calor debe añadirse al acero si la fábrica consume 1.000 Kg/h de este material?

El acero entra en la fábrica a una velocidad fija de 1.000 Kg/h y sería necesario añadir el calor correspondiente de modo continuo para poder mantener la

producción. El Anexo 2 proporciona un calor específico de 0,116 Kcal/Kg/ ºC para el acero, esto quiere decir que hay que añadir 0,116 Kcal de energía calorífica a cada kilogramo de acero para incrementar su temperatura 1º C.

Q = Peso x Calor específico x Diferencia de temperatura

Donde Q es igual a la cantidad necesaria

Entonces:

Q = 1.000 Kg/h x 0,116 Kcal/Kg/ºC x 30º C.

Q = 3.480 Kcal/h serán requeridos para calentar el acero antes de la fabricación.

1.11. PRESIÓN

La presión se define como fuerza por unidad de área. En el sistema británico se la expresa en libras por pulgada cuadrada (psi). En el sistema métrico decimal, se la expresa en pascales.

1.12. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La sensación de estar bajo el agua y sentir su presión resulta familiar. La atmósfera de la tierra es como un océano de aire, que también tiene peso y ejerce presión. Puede considerarse la superficie de la tierra como si fuera el fondo del océano de aire. Los distintos puntos están a diferentes profundidades. La presión atmosférica en estos puntos es diferente. Se va a asumir que se está en el fondo de este océano.

La atmósfera en la que vivimos tiene también un peso como el agua, aunque bastante inferior. En la realidad, la atmósfera de la tierra ejerce una presión de

760 mm Hg al nivel del mar, cuando la temperatura ambiental es de 20ºC. Estas son condiciones estándar.

La presión atmosférica se mide con el barómetro. El barómetro es un tubo de vidrio de aproximadamente un metro de longitud, cerrado en un extremo y relleno de mercurio. Se inserta el tubo con el extremo abierto hacia abajo en un tanque de mercurio y se lo mantiene en posición vertical. El mercurio del tubo tratará de bajar hacia el tanque, pero no conseguirá salir por entero. La atmósfera está ejerciendo una presión sobre el tanque, mientras que en la parte superior del tubo se forma un vacío. El mercurio del tubo caerá hasta el nivel de 760 mm al nivel del mar, cuando la temperatura atmosférica circundante sea de 20ºC (véase la Figura 1.4). Este es un estándar que se emplea con propósito de comparación en el trabajo científico de ingeniería. Si se lleva el barómetro a una mayor altitud como por ejemplo una montaña, la columna de mercurio comenzará a descender. Desciende, aproximadamente, 8 mm por cada 100 metros de altitud.

El mercurio de la columna tiene cierto peso, y contrarresta la presión atmosférica de 760 mm Hg correspondiente a las condiciones estándar. Es decir, la presión atmosférica es igual al peso de una columna de mercurio (Hg) de 760 mm de longitud. La expresión “pulgadas o milímetros de mercurio” puede por tanto indicar la presión o ser convertida a Kg/cm^2 o lb/in^2. En realidad, la presión suele medirse en pascales o kilopascales (Kpa). El factor de conversión es de 11 mmHg = 0,1332 KPa. Esto quiere decir que la atmósfera ejerce una presión aproximada de 100 KPa.

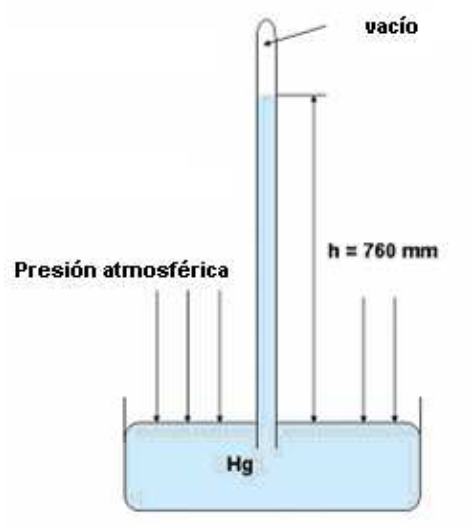


Figura 1.4. Barómetro de Mercurio

Otro tipo de barómetro es el denominado barómetro aneroide, que resulta más práctico de transportar. La presión atmosférica necesita ser medida en muchos lugares, por lo que hubo que desarrollar otros instrumentos distintos del barómetro de mercurio para las medidas de campo.

1.13. MANÓMETROS

El los medidores mecánicos de presión de mayor uso en la industria se aprovecha la deformación cuantitativa de una membrana elástica para medir la presión. Estos son principalmente los medidores de tubo Bourdon y de Fuelles metálicos.
También se utilizan diafragmas metálicos en medidores diferenciales y sistemas de relevadores, donde sus deflexiones se pueden restringir para soportar presiones relativamente altas en condiciones de emergencia. Generalmente se pueden emplear con seguridad a presiones estáticas más o menos elevadas para detectar diferenciales pequeños.

Medir las presiones en un sistema cerrado requiere un método diferente. El *tubo Bourdon*, mostrado en la Figura 1.5, se lo acopla a una aguja y puede medir presiones por debajo y por encima de la presión atmosférica.

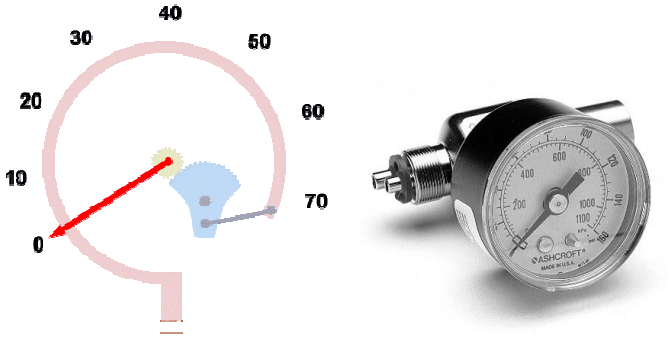


Figura 1.5. Manómetros de tubo Bourdon

El *manómetro de fuelles* (Figura 1.6) se restringe casi siempre a rangos de presiones bajas cuando se miden presiones absolutas o manométricas. Sin embargo, el medidor de fuelles puede emplearse para mediciones de presión diferencial o presiones relativamente altas. Los fuelles metálicos son una serie de partes circulares que se asemejan a los pliegues de un acordeón. Estas partes se forman o juntan de tal manera de que se expanden o contraen axialmente debido a los cambios de presión. Los materiales usados en la construcción de los fuelles deben ser lo suficientemente delgados para ser flexibles, lo bastante dúctiles para tener una fabricación mas o menos fácil y para resistir firmemente a las fallas por desgaste.

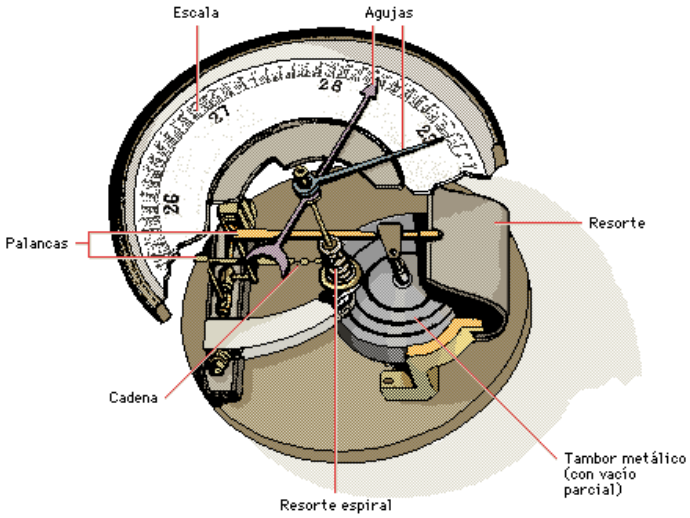


Figura 1.6. Manómetro de Fuelle

Como se mencionó, también se acostumbra a usar *diafragmas metálicos* en medidores de presión diferencial, transmisores neumáticos de presión y

transmisores eléctricos de presión en los que la presión estática puede ser muy superior a la fuerza de ruptura del material utilizado en los fuelles. Estos diafragmas se construyen en forma de disco y, con mucha frecuencia, tienen superficies corrugadas para implementar el área de superficie y la capacidad de deflexión de ésta. La deflexión del diafragma depende del tipo de material, de su espesor, del diámetro del disco, de la forma del corrugado, de la cantidad de costillas, del módulo de elasticidad del metal y por supuesto de la presión aplicada.

1.14. MEDIDA DE LA PRESIÓN EN EL SISTEMA MÉTRICO

En el pasado, se han utilizado distintas unidades para medir la presión en los distintos países, pero la unidad actual estándar de medida de presión es el Newton por metro cuadrado (N/m^2) en el sistema métrico. La presión en el sistema inglés se expresa en libras por pulgada cuadrada (psi). Resulta difícil comparar las libras por pulgada cuadrada y los Newton por metro cuadrado. Para hacer más fácil esta comparación, la unidad N/m^2 ha recibido el nombre de pascal, en honor del científico y matemático Blaise Pascal. La unidad estándar métrica de presión es el kilopascal (Kpa), que equivale a 1000 pascales. 1 psi es igual a 6.890 pascales, o 6,89 Kpa.

1.15. LEYES DEL GAS

Es necesario tener un conocimiento práctico de los gases y de cómo éstos responden a los cambios de presión y de temperatura. Una explicación simple de algunas de las leyes de los gases desarrolladas puede ayudar a entender la reacción de los gases y las relaciones entre presión y temperatura en distintas partes de los sistemas de refrigeración.

1.15.1. LEY DE BOYLE

El irlandés Robert Boyle desarrolló, a principios del siglo XVII, lo que se conoce como la de Ley de Boyle. “Cuando se aplica presión en un volumen situado en un contenedor, el volumen disminuye y la presión se incrementa, siempre y cuando la temperatura permanezca constante”.

La fórmula que describe la ley de Boyle es:

$$P_1 \; V_1 = P_2 \; V_2$$

Donde P_1= Presión absoluta original
V_1= Volumen original
P_2= Nueva presión
V_2= Nuevo Volumen

1.15.2. LEY DE CHARLES

En el siglo XIX, un científico francés llamado Jacques Charles realizó una serie de descubrimientos concernientes al efecto de la temperatura sobre los gases. La ley de Charles establece que “A presión constante, el volumen de un gas varía de forma proporcional a la temperatura absoluta, mientras que a volumen constante, la presión de un gas varía de forma directa con la temperatura absoluta”. Dicho de otra forma, cuando se calienta un gas y este es libre de expandirse, se expandirá y el volumen variará en proporción directa a la temperatura absoluta.

La fórmula relativa al volumen de temperatura es:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Donde T_1= Temperatura original

V_1= Volumen original

T_2= Nueva temperatura

V_2= Nuevo Volumen

La siguiente fórmula relaciona la presión con la temperatura:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Donde T_1= Temperatura original

P_1= Presión original

T_2= Nueva temperatura

P_2= Nueva presión

1.15.3. LEY GENERAL DE LOS GASES PERFECTOS

Una ley general de los gases, a menudo denominada Ley general de los gases perfectos, resulta de la combinación de las leyes de Boyle y de Charles. Esta ley combinada es la más práctica, por que incluye la temperatura, la presión y el volumen.

La fórmula de ésta ley puede enunciarse como sigue:

$$\frac{P_1\ V_1}{T_1} = \frac{P_2\ V_2}{T_2}$$

Donde T_1= Temperatura original

P_1= Presión original

V_1= Volumen original

T_2= Nueva temperatura

P_2= Nueva presión

V_2= Nuevo Volumen

1.15.4. LEY DE DALTON

A principios del siglo XIX un profesor inglés de matemáticas llamado John Dalton hizo el descubrimiento de que la atmósfera está compuesta por muchos gases distintos. Encontró que cada uno de estos gases creaba su propia presión y que la presión total era igual a la suma de las presiones parciales. La ley de Dalton establece que “La presión total de una mezcla de gases confinada en un recipiente es la suma de las presiones de cada uno de los gases de la mezcla”.

1.16. ENERGÍA CONTENIDA EN EL CALOR

Ya se ha indicado anteriormente que la temperatura es una medida del nivel de calor y que el calor es una forma de energía debido al movimiento de las moléculas. Como el movimiento molecular no se detiene hasta los -273ºC, hay energía en cualquier sustancia inclusive a muy bajas temperaturas. Esta energía puede manifestarse en otras sustancias que estén a temperaturas aún más bajas.

1.17. INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN

El término refrigeración se utiliza aquí para incluir tanto el proceso de enfriamiento utilizado para conservar la comida, como el enfriamiento con propósitos de comodidad (aire acondicionado).

La conservación de comida es una de las aplicaciones más valiosas de la refrigeración. La descomposición de la comida se ralentiza a medida que disminuye el movimiento molecular. Por debajo del punto de congelación, las bacterias que descomponen la comida dejan de crecer. Para la mayor parte de los tipos de comida se considera que el punto de congelación es de -18 ℃. El rango de temperatura de la comida comprendido entre 1 ℃ y 8 ℃ se conoce en la industria como rango de temperatura media; por debajo de -18 ℃ se considera baja temperatura. Estos rangos se emplean para describir muchos tipos de equipos y aplicaciones de refrigeración.

En los primeros años del siglo XX, se fabricaba hielo por refrigeración mecánica. Algunas empresas comenzaron a fabricar neveras domésticas.

El proceso de refrigeración se utiliza también hoy en día en el enfriamiento de las casas y de las oficinas por cuestiones de comodidad y en el acondicionamiento de aire en los automóviles. La aplicación de acondicionamiento de aire de la refrigeración se conoce en esta industria como refrigeración de alta temperatura.

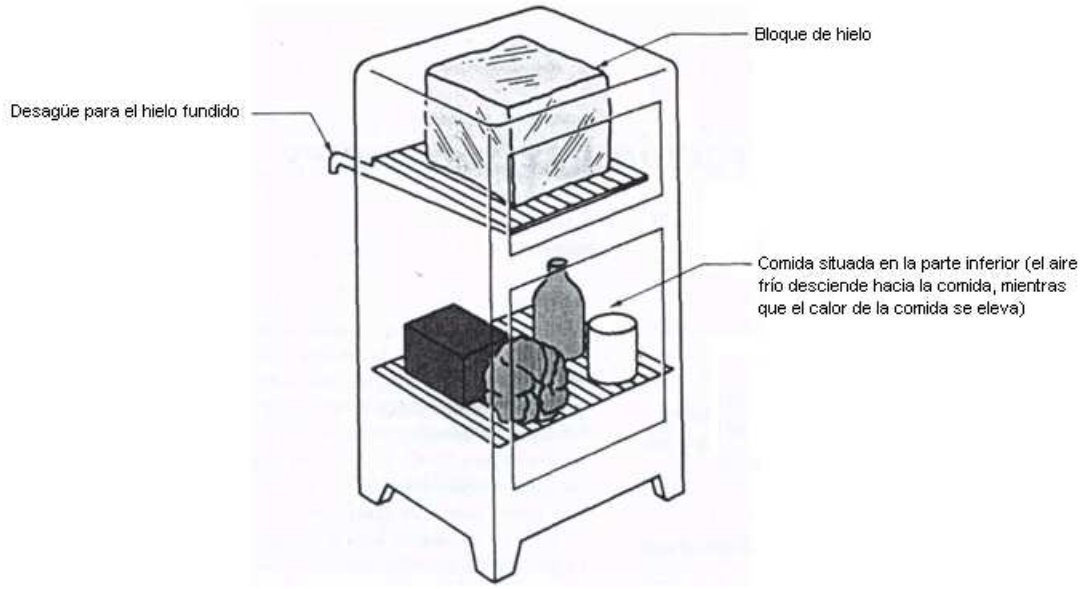


Figura 1.7. Hielera de inicio del siglo XX.

1.18. REFRIGERACIÓN

Refrigeración es el proceso de extraer calor de un lugar donde no se desea que exista y transferir dicho calor a un lugar donde su existencia no tiene importancia.

1.19. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Se Debe disponer de un sistema para la evaluación de los equipos de refrigeración, de forma que se pueda comparar unos equipos con otros. El método de evaluar los equipos de refrigeración procede del tiempo en que se utilizaba hielo como fuente para eliminar calor. Se necesitan 36,29 Kcal (144 Btu) para

fundir una libra de hielo a 0 ℃. Este mismo valor se emplea también en la evaluación de los equipos de refrigeración.

El término empleado para designar a esta evaluación es la tonelada o ton. Una tonelada o ton de refrigeración es la cantidad de calor requerida para fundir una tonelada de hielo (una tonelada americana, que equivale a 2.000 lb) en un periodo de 24 horas. Antes se ha visto que se necesitan 144 Btu de calor para fundir una libra de hielo. Por tanto, se necesitarán dos mil veces más calor para fundir una tonelada de hielo (2.000 lb = 1 tonelada):

144 Btu/lb × 2.000 lb = 288.000 Btu (72.576 Kcal)

Cuando esto se realiza en un periodo de 24 h, se dice que es 1 ton de refrigeración. Las mismas reglas se aplican cuando se elimina calor de una sustancia. Por ejemplo, un acondicionador de aire que tenga una capacidad de 1 ton, eliminará 72.576 Kcal/24h o 3.024 Kcal/h o 50,4 Kcal/min (Figura 1.8).

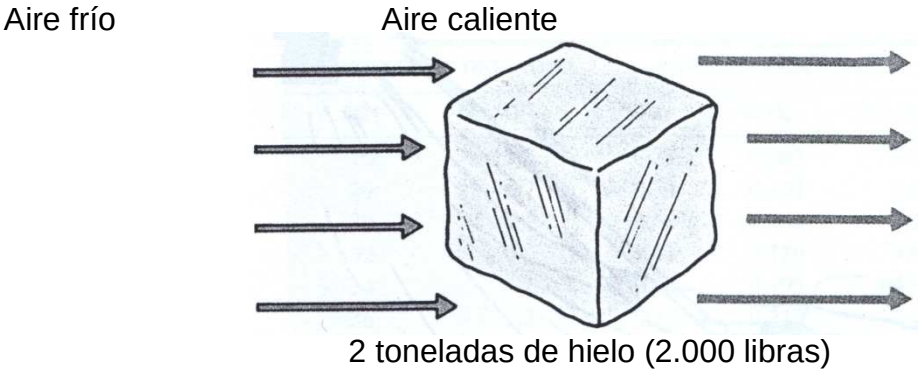


Figura 1.8. 2.000 Ib. de hielo necesitan 36/29 Kcal/lb para fundirse. 2.000 Ib x 36,29/lb = 72.576 Kcal Cuando esta acción se realiza en 24h, se dice que es una velocidad de trabajo de 1 ton de refrigeración. Esto es lo mismo que 3.024 Kcal/h o 50,4 Kcal/min.

1.20. EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración es la transferencia de calor de un lugar o producto a otro. El cuerpo empleado como absorbente de calor se denomina agente de refrigeración o agente refrigerante.

Los procesos de refrigeración se clasifican en:

1. Sensibles
2. Latente.

En un proceso sensible la temperatura del refrigerante varía al absorber el calor desde el medio a refrigerar. Por ejemplo, se supondrá un medio, aislado térmicamente, con una temperatura de 38ºC en este medio se coloca un recipiente con agua a 7ºC. El calor del medio fluirá al agua hasta que las dos temperaturas sean iguales. Como no existe cambio de estado del refrigerante a este proceso se lo denomina sensible.

Por el contrario en un proceso latente ocurre un cambio de estado en el refrigerante. Suponga el mismo medio del ejemplo anterior, pero ahora se coloca un trozo de hielo, cuya temperatura es de 0 ºC. En este caso el hielo absorberá calor pero sin cambiar su temperatura; su estado sin embargo cambiará a líquido, se dice que el calor absorbido por el hielo es el calor latente de congelación del hielo y a este proceso se denomina latente.

1.21. RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA

La siguiente afirmación es una de las que mayor importancia tiene en este campo, Puede cambiarse y controlarse el punto de ebullición del agua controlando la presión de vapor que hay por encima de la misma.

La relación presión/temperatura relaciona la presión del vapor y el punto de ebullición del agua y es la base para controlar las temperaturas del sistema.

El agua pura se evapora a 100 ℃ al nivel del mar y cuando la temperatura del aire es de 20 ℃ (condiciones estándar) puesto que bajo esta condición ejerce una presión sobre la superficie del agua de 760 mm Hg lo que equivale a 101,26 KPa (Se puede encontrar este punto de referencia en el Anexo 3). Cuando el agua se lleva a la cima de una montaña, el punto de ebullición varía, porque la mayor estrechez de la atmósfera provoca una reducción de la presión (aproximadamente 8 mm Hg/100 m). En un lugar, por ejemplo, que esté a unos 1.900 m por encima del nivel del mar, la presión atmosférica es de aproximadamente 600 mm Hg. A esa presión, el agua se evapora a unos 94 ℃. Esto hace que sea más difícil cocinar comida, Pero situando la comida en un recipiente cerrado que pueda ser presurizado, como puede ser una olla a presión, y dejando que la presión suba hasta unos 100 KPa por encima de la atmosférica (200 KPa), puede elevarse el punto de ebullición a 120 ℃.

Un estudio de la tabla de presión/temperatura del agua revela que, cuando la presión se incrementa, el punto de ebullición aumenta, y que, al reducir la presión, también disminuye el punto de ebullición.

Si se coloca un termómetro en el recipiente de agua pura, se introduce éste dentro de una campana de vidrio con un barómetro y se hace funcionar la bomba de vacío. Se supone que el agua está a la temperatura ambiente (20 ℃), cuando la presión en la urna alcance un nivel correspondiente al punto de ebullición del agua a 20 ℃, el agua entrará en ebullición y comenzará a evaporarse. Este punto es de unos 18 mm Hg o 2,5 KPa.

Si se quisiera disminuir la presión en la campana para hacerla corresponder a una temperatura de 4 ℃, la presión correspondiente sería de 6 mm Hg; con esta presión, el agua se evaporará a 4 ℃. El agua ni siquiera está caliente, aunque esté en ebullición. Se puede comprobar esta circunstancia con un termómetro situado en el recipiente. Si se abriera la campana, se encontraría que el agua está fría.

Al hacer circular esta agua, que se está evaporando a unos 4 ℃, a través de un serpentín de enfriamiento, y se hace pasar aire de la habitación sobre el serpentín, éste absorberá calor del aire. Puesto que el aire está entregando calor al serpentín, el aire que sale de éste será frío. La Figura 1.10 ilustra la bobina o serpentín de enfriamiento.

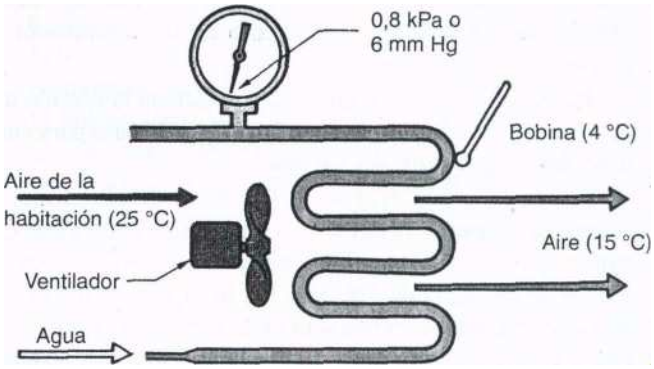


Figura 1.10. El agua está evaporándose a unos 4 ℃ . El aire de la habitación está a 25 ℃ y entrega calor a la bobina.

Cuando se utiliza el agua de esta manera, se dice que es un refrigerante. Un refrigerante es una sustancia que puede ser cambiada fácilmente a vapor, haciéndola entrar en ebullición, y luego cambiada al estado líquido, haciendo la condensarse. El refrigerante debe ser capaz de sufrir este cambio de manera repetida sin que sus características se vean alteradas. Normalmente no se utiliza agua como refrigerante.

Los tipos más comunes de máquinas de refrigeración se clasifican según su tipo de operación.

1. Compresión mecánica
2. absorción y
3. vacío

Puede usarse agua para suministrar la refrigeración en algunos casos, con las limitaciones que ésta implica.

Los sistemas de compresión mecánica pueden dividirse a su vez en tres tipos:

1. Recíproco
2. Centrífugo
3. Rotatorio

Los compresores recíprocos pueden utilizarse en un sistema que hace circular el refrigerante a través de superficies remotas de transferencia de calor por expansión directa. Alternativamente, pueden emplearse junto con intercambiadores de calor para enfriamiento d agua, para producir agua fría para circulación a través de superficies remotas de transferencia de calor, las cuales enfrían y deshumedecen el aire. Las máquinas centrifugas de refrigeración no suelen ser adecuadas para hacer circular y expandir el refrigerante liquido en las superficies remotas del intercambiador de calor.

Los ciclos de maquina de absorción son similares a los ciclos de las máquinas de compresión mecánicas en el aspecto de que ambos ciclos evaporan y condensan un refrigerante líquido. Difieren en que el ciclo de compresión mecánica utiliza un compresor para obtener el diferencial necesario de presión, en tanto que el ciclo de absorción utiliza calor. El ciclo de compresión mecánica utiliza procesos mecánicos puros, mientras que el ciclo de absorción emplea procesos físico-químicos para producir el efecto de refrigeración.

Las máquinas de refrigeración de vacío se emplean raramente en los sistemas de acondicionamiento de aire para confort. El vapor y el agua necesarios para producir el efecto de refrigeración hacen que estas máquinas sean más aplicables a los procesos.

1.22. CICLO MECÁNICO DE REFRIGERACIÓN

En el caso de la refrigeración mecánica, se emplea el trabajo de los componentes mecánicos dispuestos en un “sistema de refrigeración” para obtener los resultados deseados. Solo se necesitan sistemas mecánicos cuando la energía

térmica se transfiere de un lugar de menor concentración de calor “temperatura” a uno de mayor concentración, como por ejemplo, el interior de una caja de refrigeración hacia la zona de la cocina que rodea a éste, en el caso de un refrigerador doméstico.

La Figura 1.11 muestra el los componentes básicos de un sistema de refrigeración mecánico, el cual, complementara su entendimiento con la respectiva explicación de sus componentes.

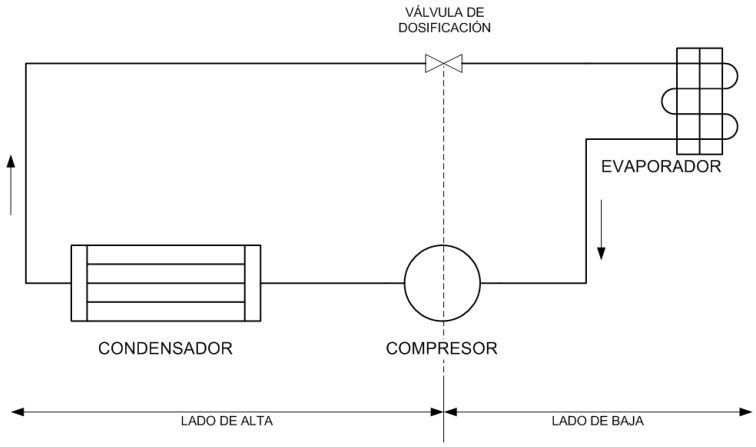


Figura 1.11. Ciclo básico de refrigeración mecánica

1.23. COMPONENTES DE REFRIGERACIÓN

Existen diferentes métodos de refrigeración, pero el más popular es el de refrigeración mecánica, sus cuatro componentes principales se detallan a continuación:

1. El evaporador.
2. El compresor.
3. El condensador.
4. El dispositivo de medida de refrigerante.

1.23.1. EL EVAPORADOR

Provee la superficie de intercambio de calor necesaria para pasar al refrigerante el calor del espacio a refrigerar. El evaporador absorbe calor hacia dentro del sistema. Cuando se evapora el refrigerante a una temperatura inferior a aquella de la sustancia que hay que enfriar, el refrigerante absorbe calor de la sustancia. La temperatura de ebullición de 4 ℃ fue elegida en los anteriores ejemplos de acondicionamiento de aire porque es la temperatura de diseño normalmente utilizada en este tipo de sistemas. La razón es que la temperatura ambiente está próxima a los 25 ℃, lo que hace que se entregue fácilmente calor a un evaporador que esté situada a 4 ℃. Asimismo, la temperatura de 4 ℃ está bastante por encima del punto de congelación del evaporador.

Cuando el refrigerante entra en el serpentín como una mezcla de aproximadamente, un 75% líquido y un 25% vapor. La mezcla está ebullendo y evaporándose en el tubo, con el líquido transformando se en vapor a todo lo largo del mismo, debido a que se está añadiendo calor procedente del aire al evaporador. Aproximadamente a mitad de recorrido de él, la mezcla está compuesta más por vapor que por líquido. El propósito del evaporador consiste en evaporar todo el líquido antes de alcanzar el final de la bobina. Esto sucede al alcanzar el 90% del recorrido de la bobina, aproximadamente, habiendo desaparecido todo el líquido y quedando sólo vapor puro. En este preciso momento se tiene vapor saturado. Éste es el punto donde el vapor comenzaría a condensarse si eliminara calor, o a sobrecalentarse si se añadiera calor adicional. Cuando un vapor está sobrecalentado, ya no cumple con las relaciones entre presión y temperatura; absorberá calor mensurable y su temperatura se incrementará. El sobrecalor se considera una especie de seguro para la refrigeración, porque asegura que ninguna cantidad de líquido llegue a atravesar el evaporador. Cuando existe algo de sobrecalor, no hay líquido saliendo del evaporador.

Existen muchas configuraciones de diseño para los evaporadores. El evaporador tendrá que ser diseñado teniendo en cuenta las condiciones apropiadas. La

Figura 1.13. muestra un evaporador típico. Una vez absorbido hacia dentro del sistema, el calor se encuentra en el gas refrigerante, siendo introducido en el compresor.

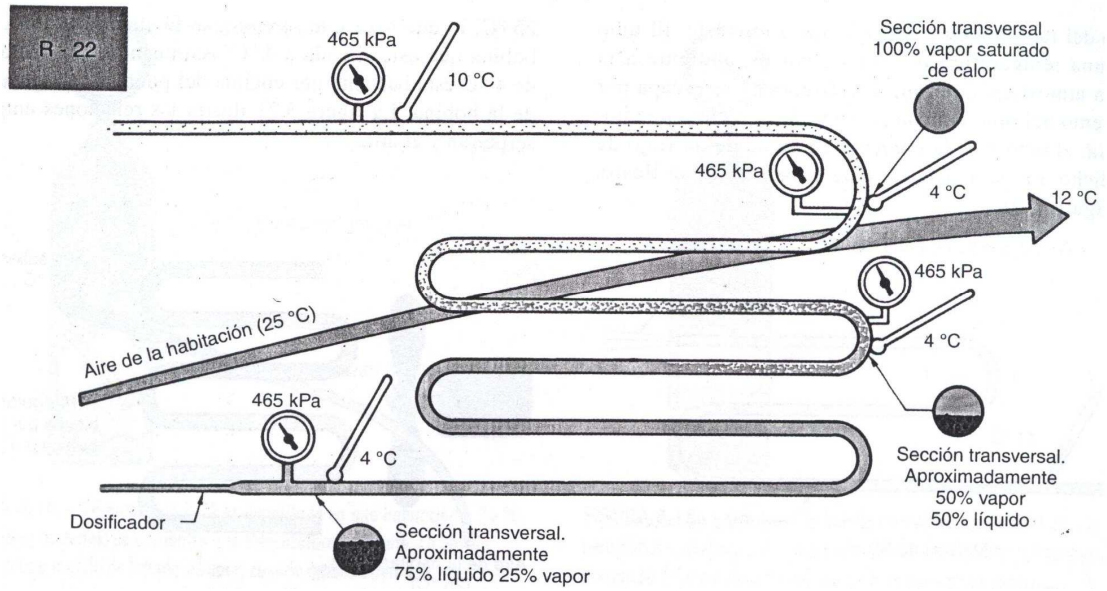


Figura 1.12 El evaporador absorbe calor hacia dentro del sistema de refrigeración al entrar en ebullición el refrigerante a una temperatura inferior a la del aire de la habitación que pasa sobre él. El aire de la habitación a 25 ℃ entrega fácilmente calor al evaporador, que se encuentra a 4 ℃ por co nducción.

Figura 1.13 Evaporador típico

1.23.2. EL COMPRESOR

El compresor es el corazón del sistema de refrigeración. Bombea calor a través del sistema en forma de vapor refrigerante recalentado. Un compresor puede considerarse una especie de bomba de vapor. Reduce la presión en el lado de baja presión del sistema, que incluye el evaporador, e incrementa la presión en el lado de alta presión. Esta compresión puede ser realizada de diversas maneras con distintos tipos de compresores. Los compresores más comunes utilizados en el acondicionamiento de aire y la refrigeración domésticos y comerciales son el compresor alternativo, el giratorio y el compresor en espiral.

El compresor alternativo utiliza un pistón en un cilindro para comprimir el refrigerante. Una serie de válvulas, usualmente de lengüeta o de chamela, aseguran que el refrigerante fluya en la dirección adecuada. Este compresor se conoce con el nombre de compresor de desplazamiento positivo. Cuando el cilindro está relleno de vapor, debe ser vaciado a medida que el compresor invierte su sentido, o pueden producirse daños. Actualmente se utilizan también diseños más modernos y eficientes de compresores.

El compresor giratorio es también un compresor de desplazamiento positivo y se emplea para aplicaciones en el rango de los equipos de pequeño tamaño, como los acondicionadores de aire de montaje en ventana, los refrigeradores domésticos y algunos sistemas de aire acondicionado central. Estos compresores son extremadamente eficientes y tienen pocas partes móviles. Este compresor utiliza un pistón giratorio de tipo tambor que comprime el vapor refrigerante hacia el orificio de descarga, véase la Figura 1.14. Estos compresores son, típicamente, muy pequeños comparados con los compresores alternativos de la misma capacidad.

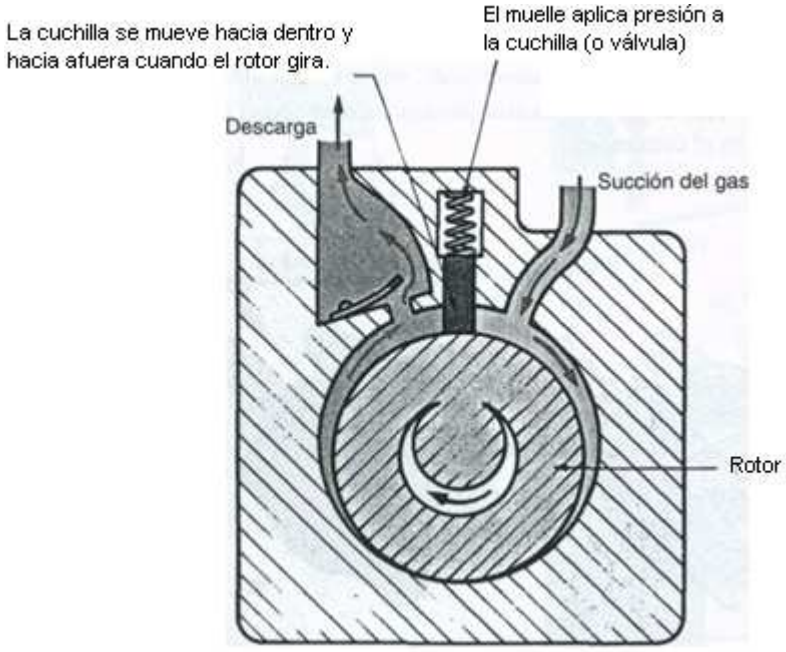


Figura 1.14. Compresor giratorio

El compresor espiral es uno de los más recientemente desarrollados y tiene un mecanismo de funcionamiento completamente distinto. Tiene una parte fija que parece un muelle en espiral y una parte móvil que encaja y se engrana con la parte estacionaria, como se ilustra en la Figura 1.15. La parte móvil órbita dentro de la parte fija y comprime el vapor desde el lado de baja presión al lado de alta presión del sistema, entre las partes móvil y fija. Varias etapas de compresión tienen lugar en la espiral al mismo tiempo, lo que lo hace un compresor con un movimiento muy suave y con pocas partes móviles. La espiral está sellada en su parte superior e inferior por la acción del material de goma, y en el conducto mediante una junta de estanqueidad. Estas superficies de sellado evitan que el refrigerante del lado de alta presión pase al lado de baja presión durante el funcionamiento. Es un compresor de desplazamiento positivo con una limitación: se trata de desplazamiento positivo hasta que el diferencial de presión supera un cierto nivel, momento en que las espirales son capaces de separarse y el refrigerante de alta presión puede retroceder en el compresor, previniendo la sobrecarga.

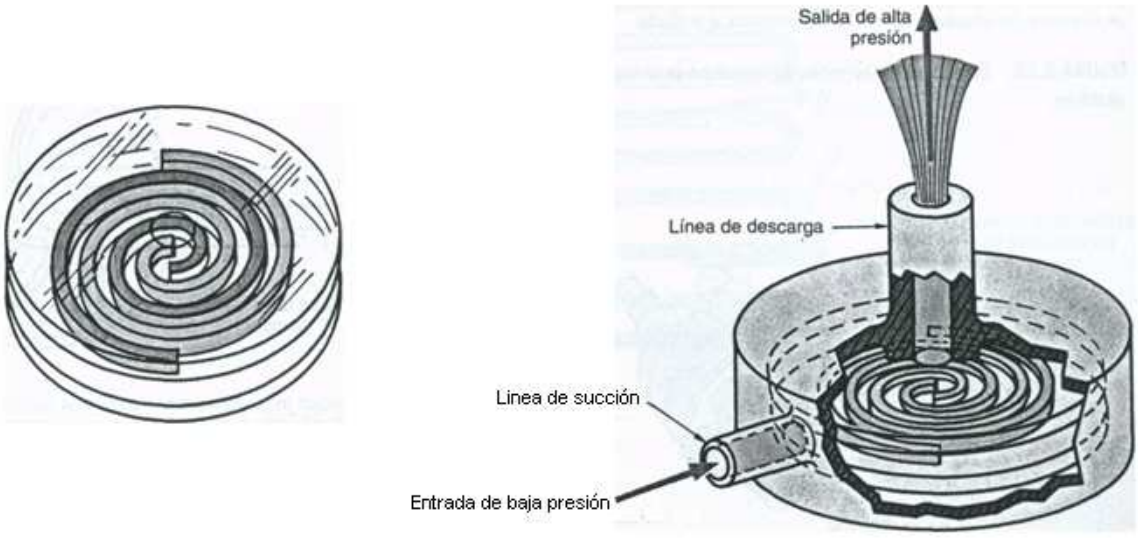


Figura 1.15. Ilustración del funcionamiento del mecanismo de un compresor espiral.

Los sistemas comerciales de gran tamaño utilizan otros tipos de compresores, porque deben mover mucho más vapor refrigerante a través del sistema. El compresor centrífugo se utiliza en los sistemas de aire acondicionado de gran tamaño. Es muy parecido a un gran ventilador y no es del tipo de desplazamiento positivo. El compresor de tornillo se emplea también por las mismas razones que el compresor centrífugo, salvo porque también se lo emplea en aplicaciones de baja temperatura en el campo de la refrigeración. Se trata de un compresor de desplazamiento positivo.

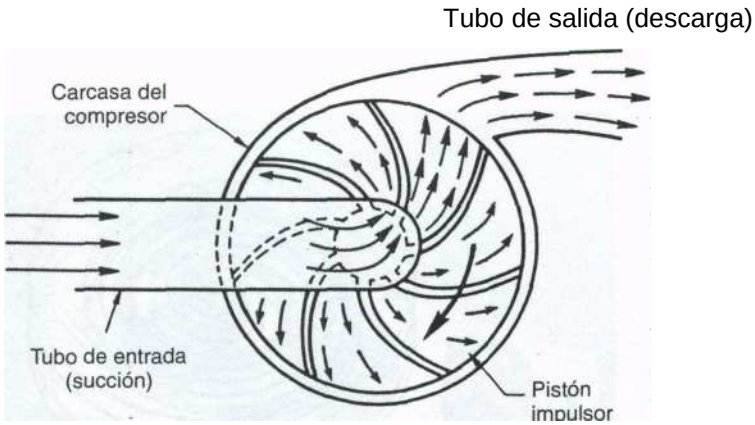


Figura 1.16. Ilustración de la operación del mecanismo de un compresor centrífugo.

1.23.3. EL CONDENSADOR

El condensador expulsa del sistema de refrigeración el calor absorbido por el evaporador y bombeado por el compresor. El condensador recibe el gas caliente que sale del compresor a través del corto tubo que une el compresor y el condensador y que se denomina conducto de gas caliente. El compresor fuerza al gas caliente a entrar por la parte superior de la bobina del condensador. El gas es empujado a alta velocidad y a alta temperatura (unos 95 ℃). El gas no cumple con las relaciones de presión/temperatura, porque la presión de descarga es de 1.925 KPa para R-22. La presión de descarga para 95 ℃ se encuentra fuera de la tabla de presión/temperatura. Recuerde que la temperatura a la que el cambio de estado tendría lugar es de 52 ℃. Esta temperatura establece la presión de descarga de 1.925KPa.

El gas que entra en el condensador está tan caliente, comparado con el aire circundante, que comienza a producirse un intercambio de calor inmediatamente en el aire. El aire circundante que pasa sobre el condensador está a 35 ℃, mucho menos que los cerca de 95 ℃ del gas que entra en el condensador. A medida que el gas se mueve a través el condensador, comienza a entregar calor al aire circundante, lo que origina una disminución en la temperatura del gas. El gas continúa enfriándose hasta que alcanza la temperatura de condensación de 52 ℃ y el cambio de estado comienza a producirse. El cambio de estado tiene lugar lentamente al principio, convirtiéndose pequeñas cantidades de vapor en líquido, y se acelera a medida que la mezcla de gas y líquido se mueve hacia el extremo final del condensador.

Cuando el refrigerante que está siendo condensado completa aproximadamente el 90% del recorrido a lo largo del condensador, el refrigerante del tubo está casi exclusivamente compuesto por líquido. En este momento se puede extraer de dicho líquido más calor. El líquido al final del condensador está a la temperatura de condensación de 52 ℃ y todavía puede entregar algo del calor al aire circundante, que está a 35 ℃. Cuando el líquido al final del condensador baja de los 52 ℃, se denomina subenfriado; véase la Figura 1.17

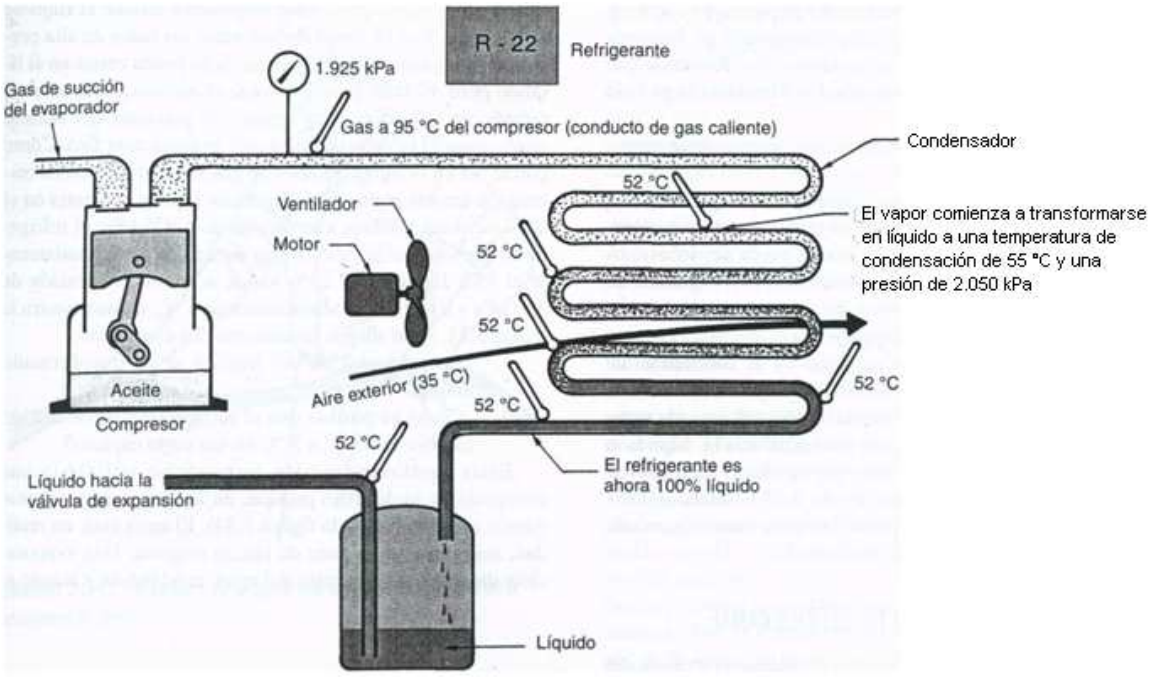


Figura 1.17. El vapor dentro del condensador se transforma en refrigerante líquido.

Tres cosas importantes pueden suceder con el refrigerante en el condensador

1. El gas caliente procedente del compresor es des-sobrecalentado desde la alta temperatura de descarga hasta la temperatura de condensación. Recuerde que la temperatura de condensación determina la presión de descarga.
2. El refrigerante se condensa, transformándose de vapor a líquido.
3. La temperatura del refrigerante líquido puede ahora descender por debajo de la temperatura de condensación, es decir, el refrigerante puede ser subenfriado. Usualmente puede subenfriarse el refrigerante de 5 ℃ a 10 ℃ por debajo de la temperatura de condensación.

1.23.4. EL DOSIFICADOR DE REFRIGERANTE

El líquido caliente se está ahora desplazando a través del conducto de líquido en dirección al dosificador. La temperatura del líquido es de unos 45 ℃ y todavía puede entregar algo de calor a su entorno antes de alcanzar el dosificador. Toda

entrega de calor al entorno es útil, porque es calor procedente del sistema y contribuye a aumentar la capacidad de éste.

Un tipo de dosificador es un tipo sencillo de tamaño fijo conocido con el nombre de orificio o Tubo Capilar. Se trata de una pequeña restricción de tamaño fijo en mitad del conducto, como se ilustra en la Figura 1.18. Este dispositivo retiene el flujo de refrigerante y es el punto divisor entre los lados de alta presión y de baja presión del sistema. Sólo puede entrar en él líquido puro. El tubo que lleva hasta el orificio puede tener el tamaño de un pincel, y el agujero de precisión del orificio puede tener el tamaño de una aguja de coser muy fina. El flujo de gas se ve restringido en este punto. El refrigerante líquido que entra en el orificio se encuentra a una presión de 1.925 KPa; el refrigerante que sale del orificio es una mezcla de aproximadamente el 75% líquido y el 25% vapor, a una nueva presión de 480 KPa y a una nueva temperatura de 5 ℃.

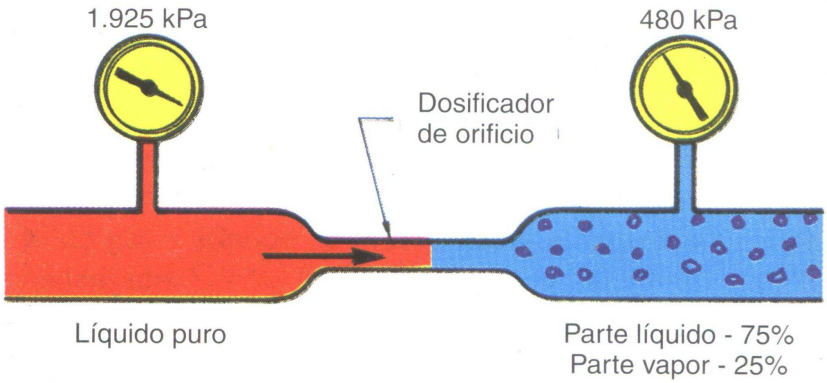
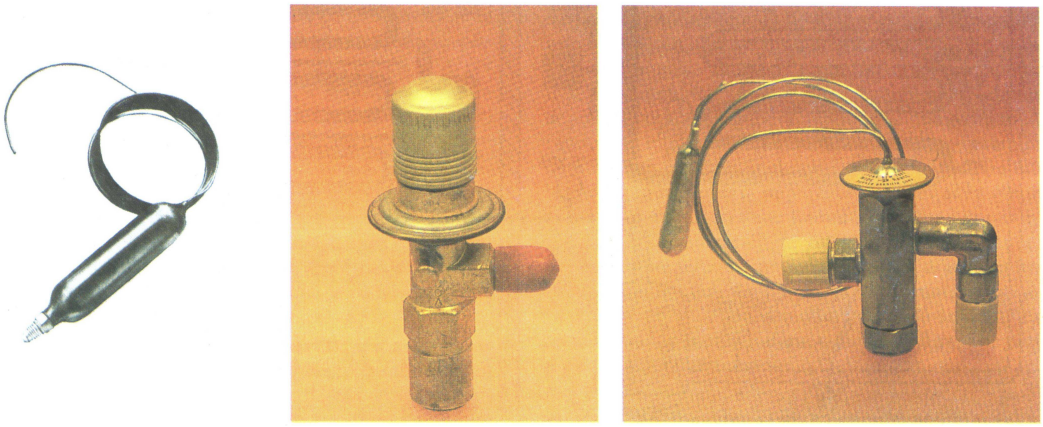


Figura 1.18. Dosificador de orificio “Tubo Capilar”



(A) (B) (C)

Figura 1.19. Dosificadores. (A) Tubo capilar. (B) Automático. (C) Termostático.

1.24. EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y SUS COMPONENTES

Los componentes básicos del sistema de compresión mecánica han sido descritos de acuerdo a su función. Estos componentes deben elegirse adecuadamente para cada aplicación específica. Por ejemplo, no puede emplearse un compresor de baja temperatura en una aplicación de alta temperatura.

A continuación se describe un sistema adecuadamente adaptado que funciona de modo correcto en las condiciones de diseño. Más adelante se explicará los fallos de funcionamiento y las condiciones de operación adversas.

Recuerde que parte del sistema se encuentra en el interior de la casa y otra parte del sistema en el exterior. Los números en la descripción se corresponden con los círculos numerados de la Figura 1.20.

1. Una mezcla compuesta por un 75% de líquido y un 25% de vapor sale del dosificador y entra en el evaporador.
2. La mezcla es R-22 a una presión de 465 KPa, lo que corresponde a un punto de ebullición de 4 ℃. Es importante recordar que la presión es de 465 KPa porque el refrigerante se está evaporando a 4 ℃.
3. La mezcla gira hacia abajo por el tubo del evaporador, con el líquido evaporándose a medida que se desplaza.
4. Cuando la mezcla llega a mitad de camino en su recorrido por la bobina, está compuesta por un 50% de líquido y un 50% de vapor y continúa a la misma relación temperatura/presión, debido a que el cambio de estado está teniendo lugar.
5. El refrigerante es ahora un 100% vapor. En otras palabras, ha alcanzado el punto de saturación del vapor. Se dice que está saturada de calor porque, si se elimina cualquier parte de este calor en este punto, parte del vapor cambia de nuevo a líquido y, si se añade calor, el vapor incrementa su temperatura. Esto se denomina sobrecalor (el sobrecalor es calor medible).

El vapor saturado está todavía a 4 ℃ y sigue siendo capaz de absorber más calor del aire de la habitación, que se encuentra a 24 ℃.

6. Ahora se tiene vapor puro, que está normalmente sobrecalentado unos 5 o 6 ℃ por encima del punto de saturación. Si observa el conducto en la Figura 1.20, en la posición correspondiente a este punto, verá que la temperatura es de unos 10 ℃.

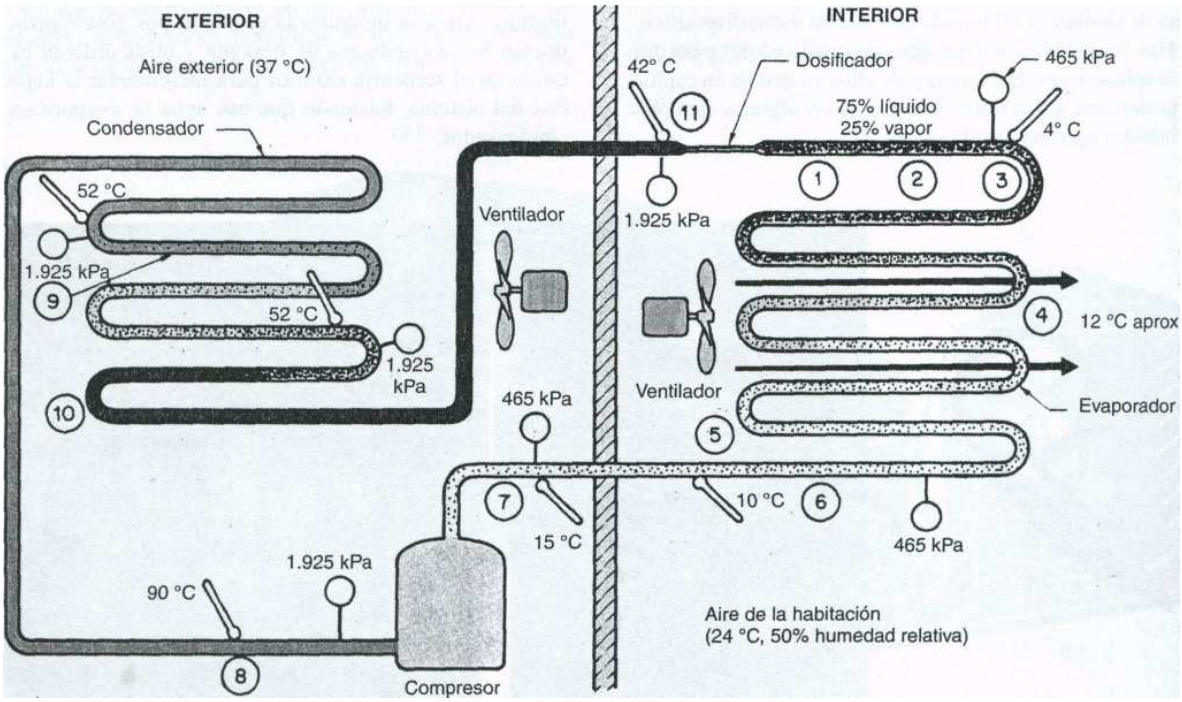


Figura 1.20. Sistema típico de aire acondicionado para R-22, mostrando las temperaturas y el flujo de aire. El color rojo indica templado o caliente; el color azul indica fresco o frío.

7. El vapor es arrastrado hacia el interior del compresor por la acción de bombeo de éste, que crea una succión de baja presión. Cuando el vapor sale del evaporador, su temperatura es de unos 10 °C, con 6 ℃ de sobrecalor por encima de la temperatura de ebullición de saturación. A medida que el vapor se mueve hacia el compresor, está contenido en el conducto de succión. Este conducto está hecho usualmente de cobre y está aislado para evitar que absorba calor de su entorno en el sistema; a pesar de todo, absorberá algo de calor. Puesto que el conducto de succión transporta vapor, cualquier calor que absorba hará incrementarse

rápidamente la temperatura. Dependiendo de la longitud del conducto y de la calidad del aislamiento, la temperatura del conducto de succión puede ser de 15 ℃ en el extremo conectado al compresor.

8. El gas altamente sobrecalentado abandona el compresor a través del conducto de gas caliente en el lado de alta presión del sistema. El conducto de gas caliente puede llegar hasta a los 90 ℃ con una presión de 1.925 KPa. Puesto que la temperatura de saturación correspondiente a 1.925 KPa es 52 ℃, el conducto de gas caliente tiene unos 38 ℃ de sobrecalor, que han de ser eliminados antes de que la condensación pueda tener lugar. Puesto que el conducto está tan caliente y hay presente vapor, el conducto entregará calor fácilmente a su entorno.
9. El sobrecalor ha sido eliminado, hasta alcanzar la temperatura de condensación de 52 ℃, y se está comenzando a formar refrigerante líquido. Ahora la temperatura de la bobina, 52 ℃, es la correspondiente a los 1.925 KPa del lado de alta presión. Dicha medida de alta presión de 1.925 KPa se debe a que el refrigerante se condensa a 52 ℃. Se pueden calcular las condiciones de condensación conociendo la eficiencia del condensador. En este ejemplo, se utiliza aire exterior a 37 ℃ para absorber el calor, lo que da una temperatura de condensación de 52 ℃. Algunos condensadores permitirán que la condensación tenga lugar a 12 ℃ por encima del aire circundante; se trata de condensadores de alta eficiencia.
10. El refrigerante es ahora 100% líquido a la temperatura saturada de 52 ℃. A medida que el líquido progresa a través de la bobina, el aire continúa enfriándolo por debajo de la temperatura real de condensación. El líquido puede llegar a alcanzar 10 ℃ por debajo de la temperatura de condensación de 52 ℃ antes de alcanzar el dosificador.
11. El refrigerante líquido llega al dosificador a través de un tubo, procedente del condensador. La distancia entre los dos componentes puede ser larga y el conducto puede entregar calor durante ese trayecto. El calor entregado en este punto abandona el sistema, lo que es positivo. El refrigerante que entra en el dosificador puede estar hasta 10 ℃ más frío que la temperatura de condensación de 52 ℃. El refrigerante que entra en el dosificador es

100% líquido. En la corta distancia representada por el orificio del dosificador (un agujero del tamaño del ojo de una aguja pequeña), dicho líquido se transforma en una mezcla de, aproximadamente, 75% líquido y 25% vapor. El 25% de vapor recibe el nombre de gas flash y se emplea para enfriar el 75% restante de líquido hasta 4 ℃, la temperatura de ebullición en el evaporador.

El refrigerante ha completado ahora el ciclo de refrigeración y está listo para volver a empezar.

1.25. REFRIGERANTES

Hasta ahora se ha usado agua y R-22 como refrigerantes (el Anexo 5 enlista las propiedades principales del R-22). Sólo se va a ver aquí unos pocos de toda la variedad existente. Los sistemas de aire acondicionado y refrigeración domésticos y comerciales utilizan comúnmente tres refrigerantes (en los equipos existentes puede todavía encontrarse un cuarto tipo): R-22, utilizado principalmente en el acondicionamiento de aire; R-12, usado principalmente en la refrigeración de media y alta temperatura (R-134a se emplea como sustituto de R-12 en algunas instalaciones); y R-502, usado fundamentalmente en la refrigeración de baja temperatura (R-22 comienza a ser usado más frecuentemente en este tipo de aplicaciones). En algunos equipos antiguos todavía puede encontrarse refrigerante R-500. La elección del refrigerante se está haciendo cada vez más importante, debido al factor de polución del refrigerante. Se ha mostrado que algunos de los refrigerantes comunes (R-12, 500, 502 y 22) pueden estar causando daño a la capa de ozono. El Anexo 6 presenta la composición química de los refrigerantes más usados.

“LOS REFRIGERANTES DEBEN SER SEGUROS DETECTABLES”

Los modernos refrigerantes no son tóxicos y los equipos se diseñan para utilizar una cantidad mínima de refrigerante para realizar su tarea. Una nevera doméstica o un acondicionador de aire de montaje en ventana, utiliza normalmente menos

de 1 Kg de refrigerante, lo que puede compararse con la cantidad de refrigerante que, durante años, se ha venido usando como propulsor en un aerosol comercial normal: casi 1/2 Kg.

Puesto que los refrigerantes son más pesados que el aire, es importante proporcionar una ventilación adecuada. No debe utilizarse una llama cuando un refrigerante esté presente. Cuando haya equipos de refrigeración o botellas de refrigerante situados en una habitación donde exista algún tipo de llama, es necesario garantizar que no existan fugas en el equipo. Si hay un escape de refrigerante y éste alcanza a la llama, ésta puede algunas veces adquirir un color azul desvaído o azul verdoso, lo que quiere decir que la llama está generando un gas tóxico y corrosivo. Los refrigerantes en sí no se queman.

Un buen refrigerante debe ser fácilmente detectable. El primer procedimiento de detección de fugas que puede usarse, en las fugas de gran tamaño, consiste en escuchar el silbido que provoca el refrigerante al escaparse. Ésta no es la mejor forma en todos los casos. Sin embargo, pueden encontrarse muchas fugas de esta manera.

Las burbujas de jabón son una forma práctica y simple de detectar fugas. Muchos técnicos de mantenimiento utilizan productos preparados comerciales que proporcionan grandes burbujas elásticas. Este tipo de sistema es adecuado cuando se sabe que una cierta fuga está en una determinada área. Este método resulta eficiente en aquellas ocasiones en que puede ser utilizado.

El detector de fugas de haluros puede utilizarse con gas acetileno o gas propano. Funciona según el principio de que, cuando se permite al refrigerante entrar en contacto con una llama en presencia de cobre incandescente, la llama cambiará de color.

También hay detectores a baterías. Algunos equipos de aire acondicionado domésticos tienen especificaciones de carga de refrigerante que requieren una

precisión de. 10 gramos. Los detectores de fugas electrónicos, son capaces de detectar tasas de fuga tan bajas como 10 gr por año.

Otro sistema, consiste en una lámpara ultravioleta de alta intensidad. Se añade un aditivo al sistema de refrigeración, y dicho aditivo se revelará como un halo brillante de color amarillo verdoso bajo la luz ultravioleta en el punto de la fuga. Puede limpiarse el área con un limpiador de propósito general una vez reparada la fuga y volver a inspeccionarla. El aditivo puede permanecer en el sistema. Si se sospechara posteriormente que existe una nueva fuga, el aditivo continuará mostrando su color amarillo verdoso bajo la luz ultravioleta. Este sistema permite detectar fugas tan pequeñas como 5 gr por año.

1.26. PUNTO DE EBULLICIÓN DEL REFRIGERANTE

El punto de ebullición del refrigerante debe ser bajo a la presión atmosférica, para poder obtener bajas temperaturas sin necesidad de crear un vacío. Por ejemplo, puede ponerse en ebullición el refrigerante R-502 a temperaturas tan bajas como -45 ℃ antes de que la presión de ebullición se transforme en un vacío, mientras que R-12 sólo puede ebullir a -30 ℃ antes de alcanzar el vacío. Para poder entrar en ebullición a 5 ℃, el agua tendría que ser evaporada a 750 mm Hg de vacío.

Cuando se utiliza el manómetro o calibrador compuesto por debajo de la presión atmosférica, la medida se muestra en forma inversa a la escala absoluta de pulgadas o mm de mercurio. Comienza con la presión atmosférica y va bajando hasta un vacío perfecto, denominado pulgadas o mm de mercurio de vacío. Siempre que sea posible, los ingenieros de diseño procuran evitar refrigerantes que se evaporen por debajo de 0 KPa. Esta es una de las razones por las que R-502 es una buena elección para un sistema de baja temperatura. Cuando un sistema opera en un vacío y se produce una fuga, el aire entra dentro del sistema, en lugar de ser el refrigerante el que salga de éste.

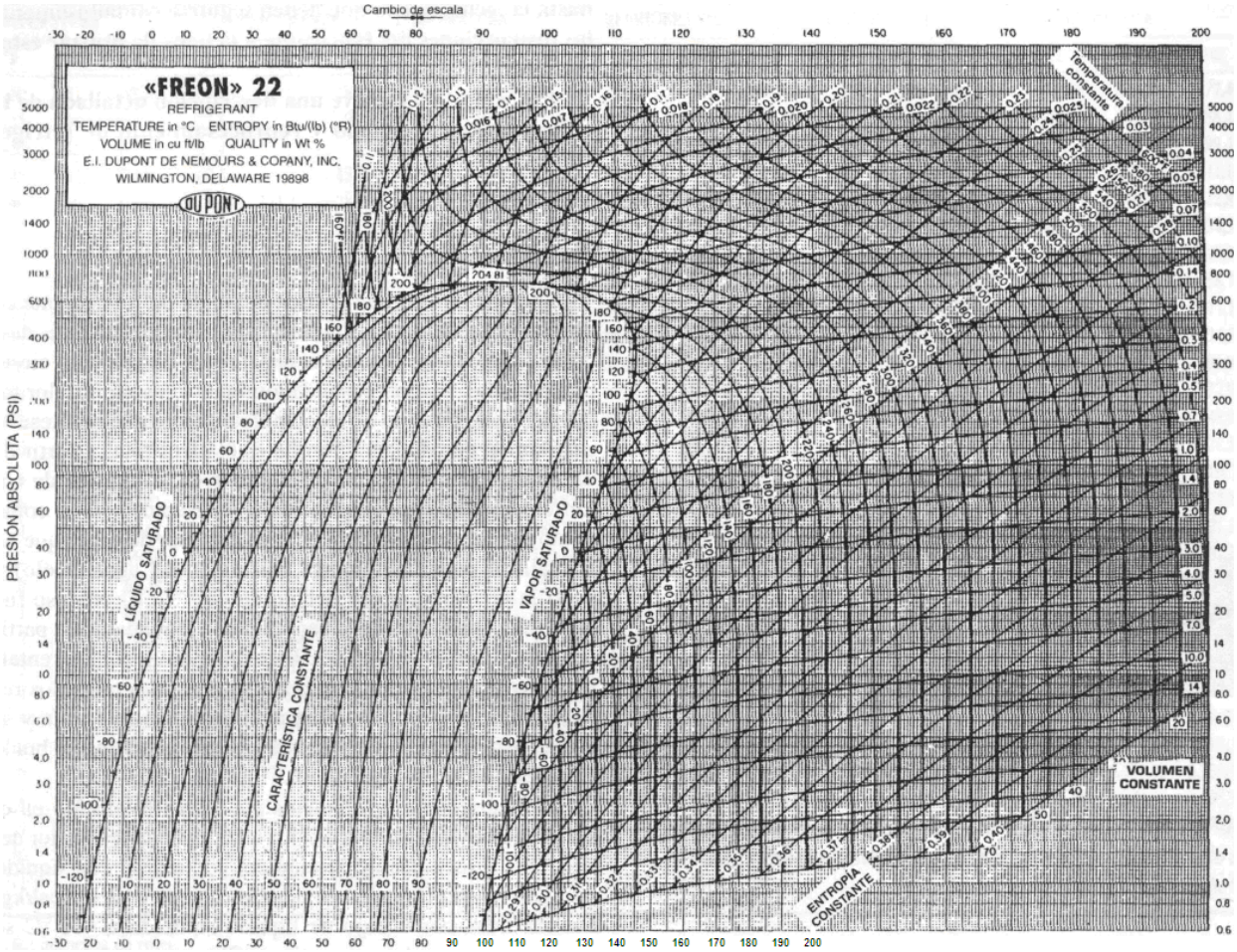
1.27. TRAZADO DEL CICLO DE REFRIGERANTE

Se puede trazar una gráfica del ciclo de refrigerante en un diagrama de presión/entalpía. El término entalpía describe cuánto calor tiene una sustancia a partir de un cierto punto inicial. Mucha gente denomina a la entalpía calor total, pero este término no es completamente preciso. Resulta un término conveniente porque es el calor total a partir de un punto inicial. La Figura 1.3 muestra, el gráfico de calor/temperatura para el agua. En él se utiliza -40 ℃ como punto inicial de calor para el agua, a pesar de Saber que en la realidad puede eliminarse más calor del hielo y bajar la temperatura por debajo de -40 ℃. El proceso fue descrito en términos de la cantidad de calor añadida a partir del punto inicial de -40 ℃. Este calor se denomina entalpía. Hay disponi ble un diagrama similar para todos los refrigerantes; se denomina diagrama de presión/entalpía y se utiliza para trazar el ciclo de refrigerante en forma de bucle completo; véase la Figura 1.21.

El diagrama de presión/entalpía indica la presión en el eje izquierdo y la entalpía o calor total en la parte inferior del diagrama. Las medidas de entalpía comienzan con líquido saturado a -40 ℃ con un contenido calo rífico de 0 Kcal/Kg. Las medidas por debajo de líquido saturado a -40 ℃ se muestran como valores negativos. Observe que la temperatura está relacionada con la presión y se dibuja en el interior de la gráfica a la izquierda y a la derecha de la curva en forma de herradura.

El R-22 se emplea en muchas aplicaciones de baja temperatura porque otros refrigerantes están siendo dejados de utilizar debido al efecto de los CFC sobre la capa de ozono. R-22 tiene el problema de la alta temperatura de descarga de gas.

DIAGRAMA DE PRESIÓN - ENTALPÍA



ENTALPÍA (BTU/LB POR ENCIMA DE LÍQUIDO SATURADO A -40℃)

Figura 1.21. Gráfico de presión/entalpía para R-22, expresado en Btu/lb de refrigerante circulado. La gráfica utiliza líquido saturado a -40 ℃ como punto de partida del contenido calorífico. Para encontrar este punto/ localice O Btu/lb en el eje horizontal y siga hacia arriba la línea correspondiente hasta la curva de líquido saturado a -40℃.

La curva en forma de herradura es la curva de saturación, en la que la temperatura está en correspondencia con la presión absoluta. Cuando el trazado intersecte esta curva, el refrigerante estará saturado de calor. Existen dos curvas de saturación; la de la izquierda es la curva de líquido saturado. Si se añade calor, el refrigerante comenzará a cambiar al estado gaseoso. Si se extrae calor, el líquido será subenfriado. La curva de la derecha es la curva de vapor saturado. Si

se añade calor, se sobrecalentará el vapor. Si se elimina calor, el vapor comenzará a cambiar al estado líquido. Observe que las curvas de líquido saturado y vapor saturado se tocan en la parte superior. Este punto recibe el nombre de temperatura o presión crítica. Por encima de este punto, el refrigerante no podrá condensarse; permanecerá en estado de vapor independientemente de cuánta presión se aplique.

El área comprendida entre las curvas de líquido saturado y vapor saturado, dentro de la curva en forma de herradura, es donde tiene lugar el cambio de estado. Cuando un trazado caiga entre las curvas de saturación, el refrigerante se encontrará en el estado parcialmente líquido, parcialmente gaseoso. Las líneas oblicuas y casi verticales entre las curvas de líquido saturado y vapor saturado son las líneas de característica constante, que describen el porcentaje de líquido y vapor existente en la mezcla entre los puntos de saturación. Si el trazado está próximo a la curva del líquido saturado, hay más líquido que vapor. Si el trazado está más próximo a la curva de vapor saturado, hay más vapor que líquido.

La Figura 1.22 muestra el trazado de un ciclo de refrigeración. El sistema que se está trazando es un sistema de aire acondicionado que utiliza R-22. El sistema opera a una temperatura de condensación de 55 ℃ (2 .050 KPa o 2.150 KPa absolutos de presión de descarga) y una temperatura de evaporación de 4 ℃ (465 KPa o 565 KPa abolutas de presión de succión). El ciclo trazado no tiene subenfriamiento, tiene 5 ℃ de sobrecalor cuando el refrigerante abandona el evaporador y tiene otros 5 ℃ de sobrecalor absorbi dos por el conducto de succión en ruta hacia el compresor. Observe que el compresor es un compresor enfriado por aire y que el gas de succión entra por la válvula de succión adyacente a los cilindros.

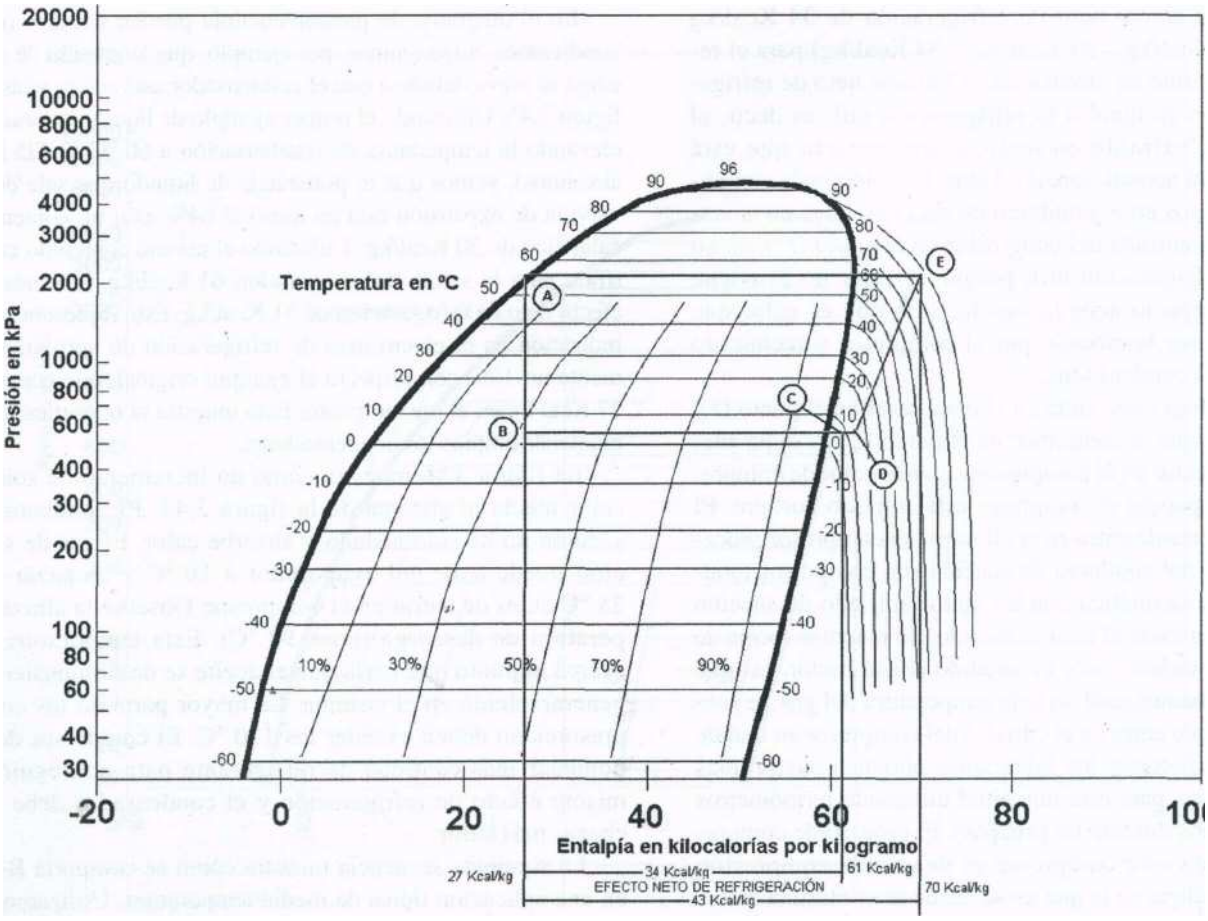


Figura 1.22. Ciclo de refrigeración trazado en el diagrama de presión/entalpía.

El refrigerante R-22 entra en el dispositivo de expansión en forma de un líquido saturado a 2.150 KPa absolutos y 55 ℃; véase el pu nto A. El contenido calorífico es de 27 Kcal/Kg tanto al entrar como al salir de la válvula de expansión. La temperatura del líquido refrigerante antes de la válvula es de 55 ℃, mientras que la temperatura al salir de la válvula es de 4 ℃. S e puede explicar la caída de temperatura observando que se tiene 100% líquido al entrar en la válvula y aproximadamente un 67% de líquido al salir de la válvula. En torno a un 33% del líquido se ha transformado en vapor (gas flash), disminuyendo la temperatura del líquido restante hasta 4 ℃.

La refrigeración útil da comienzo en el punto B, donde el refrigerante tiene un contenido calorífico de 27 Kcal/Kg. A medida que se añade calor en el evaporador, el refrigerante cambia de estado a vapor. Cuando se alcanza la curva de vapor saturado, todo el líquido se ha transformado en vapor, y luego se añade

una pequeña cantidad de calor al refrigerante en forma de sobrecalor (5 ℃). El refrigerante abandona el evaporador en el punto C, con un contenido calorífico de unos 61 Kcal/Kg. Esto es un efecto neto de refrigeración de 34 Kcal/Kg (61 Kcal/Kg - 27 Kcal/Kg = 34 Kcal/Kg) para el refrigerante en circulación. El efecto neto de refrigeración es igual a la refrigeración útil, es decir, el calor extraído en realidad del espacio que está siendo acondicionado. Unas 2 Kcal/Kg más son absorbidas en el conducto de succión antes de alcanzar la entrada del compresor en el punto D. Esta no es refrigeración útil, porque el calor no proviene del espacio acondicionado, sino que es calor que debe ser bombeado por el compresor y rechazado por el condensador.

El refrigerante entra en el compresor en el punto D y abandona el compresor en el punto E. No se ha añadido calor en el compresor, salvo el calor de compresión, porque el compresor está enfriado por aire. El refrigerante entra en el cilindro del compresor procedente del conducto de succión (un compresor totalmente hermético con un motor enfriado de succión no generaría el mismo trazado; no se tiene forma de saber cuánto calor es añadido por el motor, así que no se sabe cuál sería la temperatura del gas de succión que entra en el cilindro del compresor en uno de tales motores; los fabricantes obtienen sus propias medidas para esta magnitud utilizando termómetros internos durante las pruebas). El proceso de compresión en este compresor se denomina compresión adiabática, en la que no se añade ni se elimina calor.

El refrigerante abandona el compresor en el punto E y contiene unas 70 Kcal/Kg. Este condensador debe rechazar 43 Kcal/Kg (70 - 27 = 43), lo que se denomina el calor de rechazo. La temperatura del gas de descarga es de unos 85 ℃ (observe las líneas de temperatura constante para ver la temperatura del gas sobrecalentado). Cuando el gas caliente abandona el compresor, contiene la máxima cantidad de calor que debe ser rechazada por el condensador.

El refrigerante entra en el condensador en el punto E como un gas altamente sobrecalentado. La temperatura de condensación del refrigerante es de 55 ℃ y el gas caliente que abandona el compresor está a 85 ℃ , de modo que contiene 30

℃ (85 - 55 = 30) de sobrecalor. El condensador eliminará primero el sobrecalor hasta alcanzar la temperatura de condensación y luego condensará el refrigerante para obtener un líquido a 55 ℃, para volver a entrar en el dispositivo de expansión en el punto A para realizar otro ciclo.

El ciclo de refrigerante del ejemplo anterior puede ser mejorado eliminando algo de calor del líquido condensado, subenfriándolo. El sistema tiene por ejemplo, un efecto de refrigeración neto de 39 Kcal/Kg en lugar de 34 Kcal/Kg. Esto representa un incremento de la capacidad aproximado del 12%. Observe que el líquido que sale de la válvula de expansión tiene sólo un 25% de vapor, aproximadamente, en lugar del 33% de vapor del primer ejemplo. Es aquí donde se produce el incremento de capacidad: se pierde menos capacidad en la generación de gas flash. Hay que considerar que para un correcto funcionamiento se debe:

- Mantener limpio el condensador, esto asegura la eliminación de calor y aumenta la eficiencia del refrigerante al pasar por la válvula de expansión.
- Aislar el conducto de succión, éste puede absorber calor y exigir demasiado al compresor pues recibe un refrigerante más caliente que puede afectar las características del aceite. La mayor parte de los compresores no deben exceder los 120 ℃. el evaporador deberá eliminar más calor.

Ahora que se ha revisado la teoría pertinente a la refrigeración en este capítulo, se procederá, en el siguiente capítulo, a resumir el diseño y construcción del módulo didáctico de refrigeración.

CAPÍTULO 2.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR)

2.1. ANTECEDENTES

La construcción del Módulo Didáctico de Refrigeración, mismo al que se hará referencia como MDR por sus siglas, sugiere criterios distintos al cálculo y diseño de instalaciones de ambientes refrigerados reales, debido a que mantiene condiciones inexistentes en aplicaciones prácticas, como son:

- Carga a refrigerar infinita
- Evaporador y Condensador compartiendo el mismo ambiente.

2.2. ELECCIÓN DE LA UNIDAD DE REFRIGERACIÓN

La finalidad del MDR es exponer de una forma explicita los diferentes estados a los que se somete el refrigerante dentro del ciclo de refrigeración, por lo que se opta por la alternativa comercial más accesible, la unidad de refrigeración más pequeña (Figura 2.1) utilizada en instalaciones industriales, misma que cuenta con un compresor, condensador y tanque de líquidos que presentan las siguientes características:

Figura 2.1. Unidad de refrigeración

- Compresor de ½ HP, para aplicaciones con refrigerantes R-22 o R- 502, con un voltaje de alimentación de 115VAC a 60Hz y con una presión máxima de funcionamiento de 29 bares (Figura 2.2).

Figura 2.2. Compresor

- Condensador de dimensiones adecuadas a la capacidad del compresor determinadas por el fabricante, con un ventilador de 26 vatios y un voltaje de alimentación de 115VAC a 60Hz (Figura 2.3).

Figura 2.3. Condensador

- Acumulador de líquidos, cuya capacidad es de 0,75 litros (Figura 2.4).

Figura 2.4. Acumulador de líquidos

2.3. ELECCIÓN DEL EVAPORADOR

En instalaciones reales, la elección de la Unidad de Refrigeración y del Evaporador dependen de un análisis previo que toma en cuenta la cantidad y el tipo de carga térmica, el cual será analizado más adelante dentro de este mismo capítulo (sección 2.12).

En el caso particular del MDR se seleccionará un evaporador de acuerdo a la capacidad del compresor y la tecnología existente en nuestro medio. Por lo tanto se ha seleccionado un evaporador (Figura 2.5) correspondiente al compresor de ½ HP, cuyas características se detallan a continuación:

- Tres ventiladores de 25 cm de diámetro
- La potencia de cada ventilador es de 26 W
- La velocidad de cada ventilador es de 1500 rpm

Figura 2.5. Evaporador

2.4. DOSIFICADORES DE REFRIGERANTE

En la industria existen básicamente 2 tipos de dosificadores de refrigerante ampliamente utilizados según su aplicación, estos son:

- Dosificador de orificio o Tubo capilar.
- Válvula de Expansión

2.4.1. DOSIFICADOR DE ORIFICIO

Es un dosificador sencillo de tamaño fijo conocido con el nombre de orificio. Se trata de una pequeña restricción de tamaño fijo en mitad del conducto, como se ilustra en la Figura 2.6. Este dispositivo retiene el flujo de refrigerante y es el punto divisor entre los lados de alta presión y de baja presión del sistema. Sólo puede entrar en él líquido puro. El tubo que lleva hasta el orificio puede tener el tamaño de un pincel, y el agujero de precisión del orificio puede tener el tamaño de una aguja de coser muy fina. El flujo de gas se ve restringido en este punto. El refrigerante líquido que entra en el orificio se encuentra a una presión de 1.925 KPa; el refrigerante que sale del orificio es una mezcla de aproximadamente el 75% líquido y el 25% vapor, a una nueva presión de 480 KPa y a una nueva temperatura de 5 ℃.

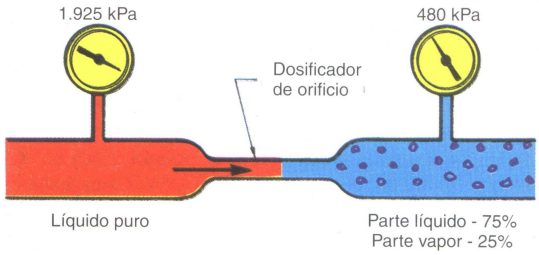


Figura 2.6. Dosificador de orificio (Tubo Capilar).

Para poder determinar cuál deberá ser la distancia del dosificador de orificio, se debe conocer la capacidad del sistema de refrigeración que se va a utilizar, es decir, la potencia del compresor y la temperatura del ambiente a refrigerar. Con estos datos y conociendo el diámetro interior del dosificador de orificio existente en el mercado, se puede hacer referencia a la Figura 2.7 para conocer la longitud que deberá tener éste.

Potencia	Temp	DISTANCIA REQUERIDA EN PIES						
		0,031 D. I.	0,036 D. I.	0,040 D. I.	0,042 D. I.	0,049 D. I.	0,055 D. I.	0,065 D. I.
1/8	H	1,1	2,2	3,5	4,5	9	15	
	M	4	8	13	16	32	56	
	L	9	18	289	36	72	426	
1/5	H						10	
	M	2,2	4,4	7	9	18	31	
	L	5,2	10,5	17	21	42	73	
1/4	H						5	
	M	1,1	2,2	3,5	4,5	9	15	
	L							7,5
1/3	M						9,5	
	L	1,75	3,5	5,6	7	14	2,5	
1/2	M				2,3	4,5	6	

Figura 2.7. Distancias para dosificadores de orificio (D.I. es el diámetro interior y está dado en pulgadas)

Tomando en cuenta lo anterior, se ha determinado una distancia de 2,3 pies para el tubo capilar de D.I.=0,042 pulgadas, que se usará en la construcción del MDR.

2.4.2. VÁLVULA DE EXPANSIÓN.

Una válvula de expansión (Figura 2.8) consta de: Una cámara en la cual se produce la expansión, al pasar el fluido refrigerante a ésta a través de un orificio cilindro-cónico obturado parcialmente por un vástago. Y los tubos de entrada y

salida del fluido. Un elemento de potencia que actúa sobre el vástago para abrir o cerrar el paso de refrigerante a la cámara de expansión. Un regulador o tornillo que nos limita la cantidad mínima de caudal. Un bulbo situado a la salida del evaporador, conectado por un capilar al elemento de potencia y que actúa sobre éste. Un tubo de compensación de presión conectado también a la salida del evaporador, y que ayuda a funcionar al obturador (Ecualizador).

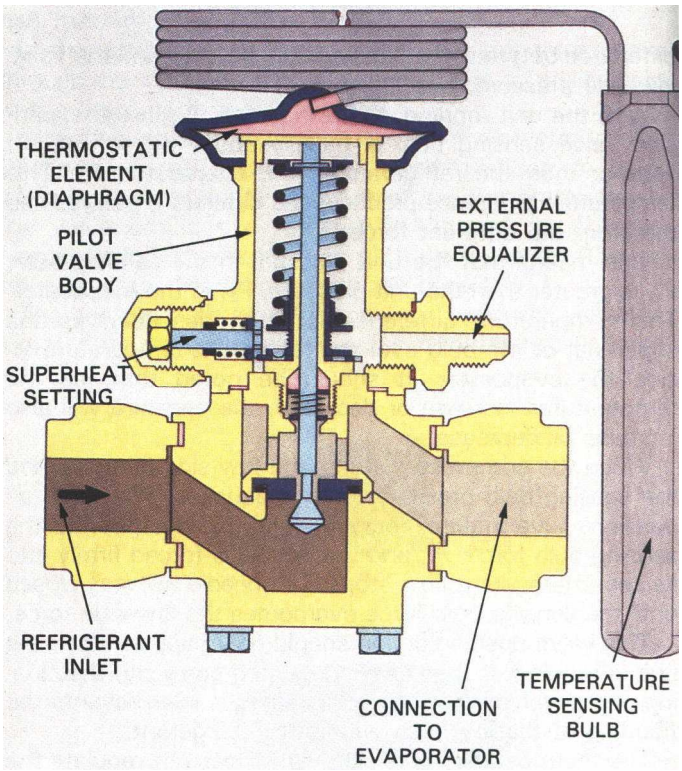


Figura 2.8. Válvula Termostática con compensación de presión

Las válvulas de expansión termostáticas regulan la inyección de refrigerante líquido en los evaporadores. La inyección se controla en función del recalentamiento del refrigerante. El rango de válvulas de expansión termostáticas comprende válvulas diseñadas para aplicaciones específicas.

Las válvulas se suministran con conexiones para soldar o conexiones bimetálicas de acero inoxidable / cobre. El rango de temperatura es desde -60ºC a 50ºC.

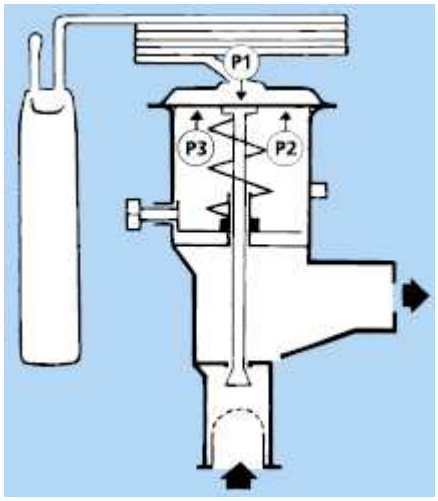
2.4.2.1. Funcionamiento de una válvula de expansión termostática:

El funcionamiento está determinado por 3 presiones fundamentales:

P1: Presión del bulbo, que actúa sobre la parte superior de la membrana, en la dirección de apertura de la válvula.

P2: Presión de evaporación, que actúa sobre la parte inferior de la membrana, en la dirección de cierre de la válvula.

P3: Presión del muelle, que igualmente actúa sobre la parte inferior de la membrana, en la dirección de cierre de la válvula.



2.9. Dirección del flujo de refrigerante.

Cuando la válvula regula, se crea un equilibrio entre la presión del bulbo por un lado de la membrana y la presión de evaporación y del muelle por el lado opuesto de la misma.

Por medio del muelle se ajusta el recalentamiento. El recalentamiento se mide en el lugar donde está situado el bulbo en la tubería de aspiración, y es la diferencia entre la temperatura existente en el bulbo y la presión de evaporación/temperatura de evaporación en el mismo lugar. El recalentamiento se mide en Kelvin (K) y se emplea como señal reguladora de inyección de líquido a

través de la válvula de expansión.

El subenfriamiento se define como la diferencia entre la temperatura del líquido y la presión/temperatura de condensación a la entrada de la válvula de expansión. El subenfriamiento se mide en Kelvin (K). El subenfriamiento del refrigerante es necesario para evitar burbujas de vapor en el líquido antes de la válvula. Un subenfriamiento de un valor de 4-5 K es suficiente en la mayoría de los casos.

Las burbujas de vapor merman la capacidad de la válvula y por consiguiente reducen el suministro de líquido al evaporador.

Si se usan distribuidores de líquido, siempre deberán emplearse válvulas de expansión con compensación de presión exterior.

La elección de la válvula de expansión termostática se realiza conociendo los siguientes datos:

- Subenfriamiento
- Caída de presión a través de la válvula
- Compensación de presión interna o externa
- Refrigerante
- Capacidad del evaporador
- Presión de evaporación
- Presión de condensación

2.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Todo sistema de refrigeración (Figura 2.11) cuenta básicamente con las siguientes partes:

- Compresor (el refrigerante pasa desde el lado de baja al de alta presión)
- Condensador (libera la energía calórica del sistema hacia el ambiente)

- Válvula de dosificación (el refrigerante pasa desde el lado de alta al de baja presión)
- Evaporador (extrae la energía calórica de la cámara a refrigerar)

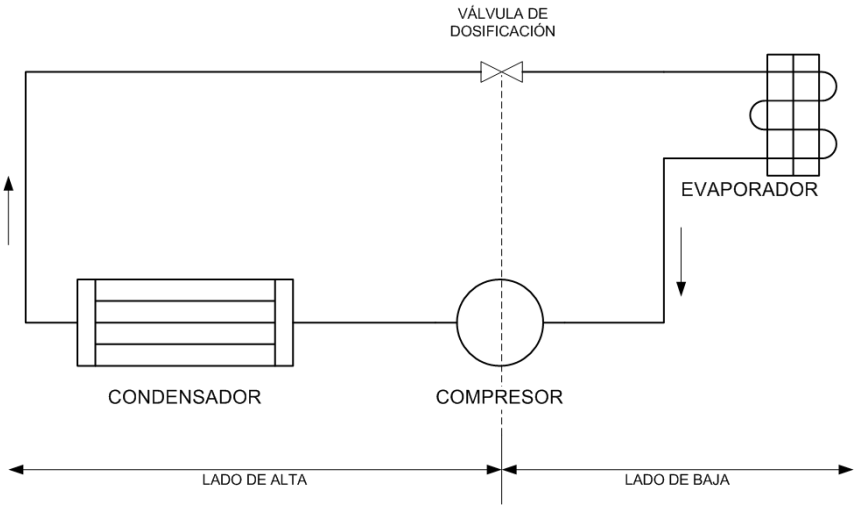


Figura 2.11. Sistema de Refrigeración básico

Dado que el objetivo es construir un módulo de refrigeración con fines didácticos con la tecnología existente en nuestro medio, el diseño se hará tratando de “copiar” modelos didácticos de empresas dedicadas al desarrollo y venta de equipos para instituciones educativas.

Se han visitado instituciones que cuenten con estos equipos en donde se tuvo únicamente acceso a una revisión física del módulo, mas no de una apreciación en su funcionamiento (Anexo 7).

En base a lo investigado y contando ya con el sistema de condensación, sistema de evaporación y conociendo de antemano los accesorios existentes, gracias a la ayuda de la empresa privada, se ha propuesto el siguiente diseño (Figura 2.12):

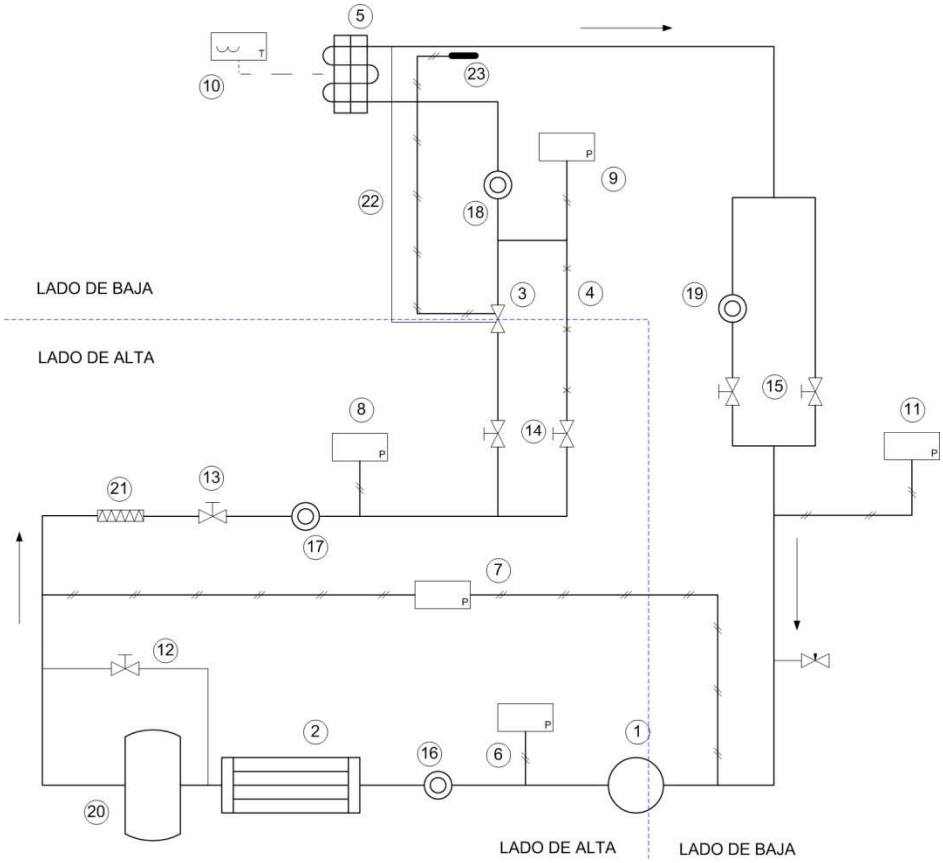


Figura 2.12. Diseño del módulo de refrigeración a construir
(Para mayor detalle refiérase al Anexo 8)

2.6. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

El diagrama de control que ha sido aplicado en la construcción del Módulo Didáctico de Refrigeración se presenta de manera detallada en la Figura 2.13, Figura 2.14 y Figura 2.15, para la consecución de dicho diagrama se ha tomado en cuenta los criterios que se exponen a continuación.

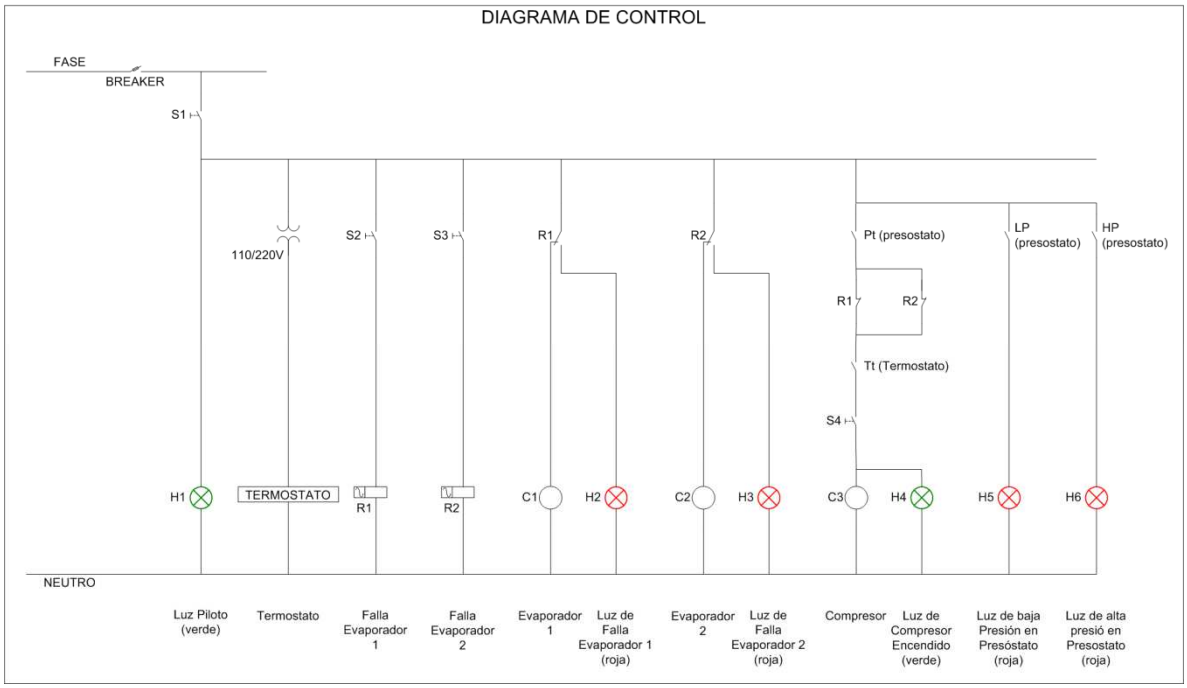


Figura 2.13. Diagrama de control eléctrico para el MDR

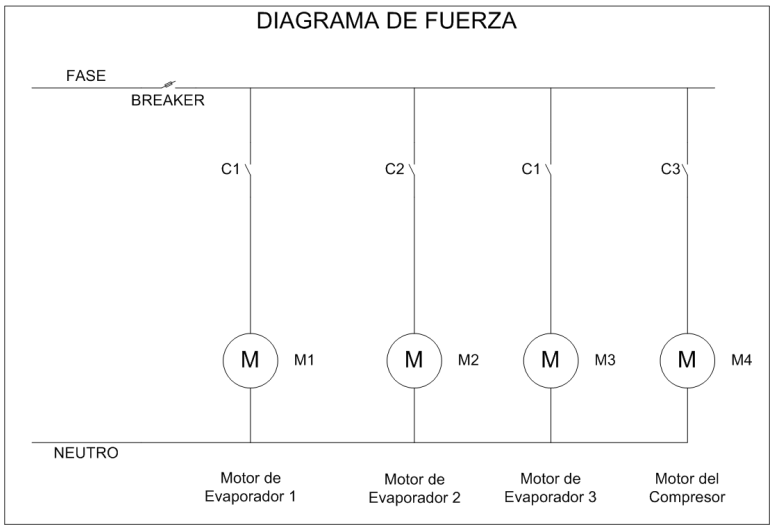


Figura 2.14. Diagrama de fuerza para el MDR

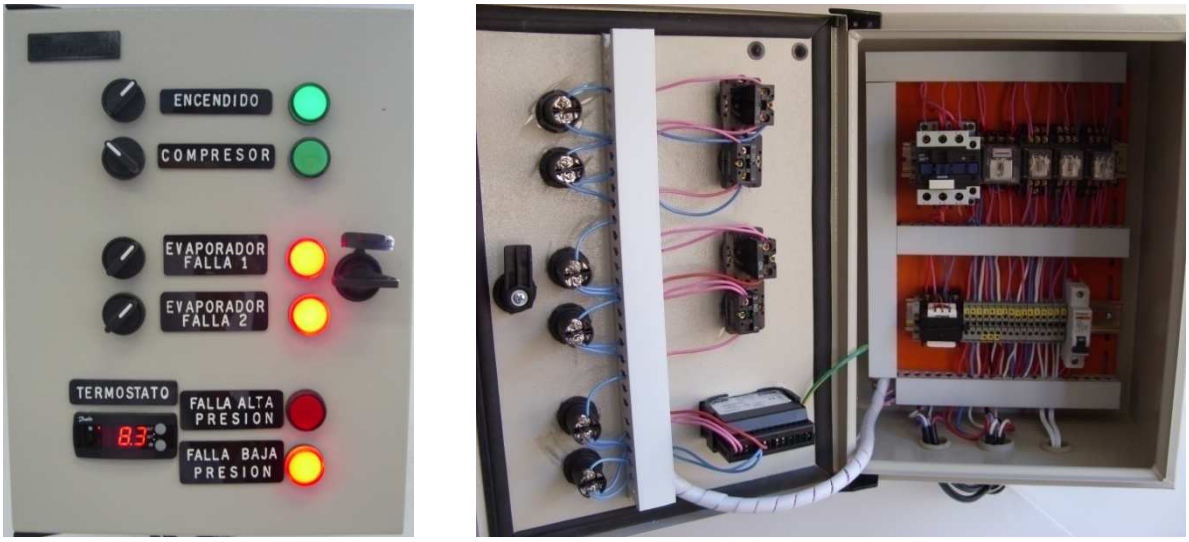


Figura 2.15. Vista frontal e interna del tablero de control.

A diferencia de los sistemas domésticos de refrigeración, los sistemas industriales están en capacidad de mantener un funcionamiento continuo y no intermitente como en el caso de refrigeradoras. En las instalaciones de refrigeración industrial, así como en el MDR, el elemento activo principal es el Compresor, por lo cual, éste debe ser protegido ante ciertas condiciones que deben ser previstas y motivo de apagado del sistema, como son:

- Presiones demasiado bajas o altas
- Temperaturas demasiado bajas o altas
- Falla total del Evaporador
- Falla en la alimentación eléctrica
- Sobrecorrientes hacia el Compresor.

2.6.1. PRESIONES DEMASIADO BAJAS O ALTAS

Por mucho, el presostato (Figura 2.16) más comúnmente usado en la industria es el de tipo fuelle y es el que se utiliza en el MDR. Los fuelles se encuentran conectados directamente al sistema por medio de tubos capilares. Conforme cambia la presión dentro del sistema, ocurre lo mismo con la presión dentro del fuelle, haciendo que éste se mueva hacia adentro y hacia afuera, en concordancia con la variación de la presión. De esta manera puede comandar la conexión o

desconexión del compresor cuando las presiones del sistema no se encuentran dentro del rango establecido.

Adicionalmente cuenta con contactos que activan señales de alarma en caso de que la desconexión deba realizarse por sobrepresión o por baja presión en el sistema. En el caso particular del MDR estas alarmas se presentan como señales luminosas en el Tablero de Control.

Figura 2.16. Presostato

2.6.2. TEMPERATURAS DEMASIADO BAJAS O ALTAS

El termostato al que se ha recurrido es el EKC101 de la marca Danfoss (Figura 2.17) con una sonda de temperatura PTC1000. Este es un controlador muy usado en la industria y sirve para aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y calefacción.

Para ciertas aplicaciones, se puede restringir el rango de temperaturas a manejar; es decir, que se bloquee el encendido del compresor si las condiciones de temperatura no son las adecuadas para un funcionamiento seguro.

El Termostato EKC101 permite por medio de una sencilla configuración, misma que se explicará en el siguiente capítulo, controlar el cierre y apertura del contacto que limitará el funcionamiento de la unidad de refrigeración en un rango de temperaturas.

Figura 2.17. Termostato

2.6.3. FALLA TOTAL DEL EVAPORADOR

Todo sistema de refrigeración, funciona única y exclusivamente cuando el evaporador está en funcionamiento, caso contrario no habría intercambio de calor entre la cámara a ser acondicionada y el sistema de refrigeración. Esto produciría escarchamiento en el evaporador y por lo tanto el refrigerante no se evaporaría completamente, creando el riego de que regrese refrigerante líquido a la entrada del compresor, lo que produciría la destrucción del mismo.

Por esta razón, la avería completa del evaporador ocasiona el apagado obligatorio de la Unidad de Refrigeración.

2.6.4. FALLA EN LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

El sistema eléctrico, como se sabe, puede sufrir fluctuaciones nocivas para los aparatos eléctricos, el MDR debe por lo tanto, ser protegido ante sobrecorrientes, lo cual se logra con la limitación de la corriente de alimentación con un breaker de 10 A en la entrada de la alimentación.

2.6.5. SOBRECORRIENTES HACIA EL COMPRESOR.

La presencia de muy altas o muy bajas presiones ocasiona un trabajo excesivo del compresor, haciendo que consuma más corriente de la especificada por el fabricante. Esta falla se debería controlar por medio del presostato, pero ante una eventual falla o una inadecuada calibración del mismo se debe proteger de manera auxiliar al compresor.

El MDR cuenta con un sistema de protección contra estas sobrecorrientes, el cual se encuentra incluido en la Unidad de Refrigeración y consiste en un elemento térmico de tipo bimetálico.

2.7. CONSTRUCCIÓN DEL MDR

A continuación se presenta el proceso de construcción física y montaje de los distintos componentes del MDR.

2.7.1. ESTRUCTURA METÁLICA Y TABLEROS DE MONTAJE

En base a los módulos encontrados en visitas previas, se determinó la forma del MDR. El elemento que presenta las mayores dimensiones es el Evaporador, por lo tanto, en función de éste se determinó el ancho y profundidad de la estructura metálica de 134 cm y 48 cm, respectivamente (Figura 2.18). No había un elemento cuyas dimensiones fueran críticas al momento de determinar la altura que debía tener el MDR, por lo que se determinó una altura de 201 cm en función de la comodidad en la manipulación y con la posibilidad de desmontar el Evaporador para facilitar el traslado de un lugar a otro en el caso de ser necesario.

Los tableros debían ser montados de manera tal que faciliten el montaje de válvulas y accesorios, y sus dimensiones serían establecidas en función de la estructura metálica

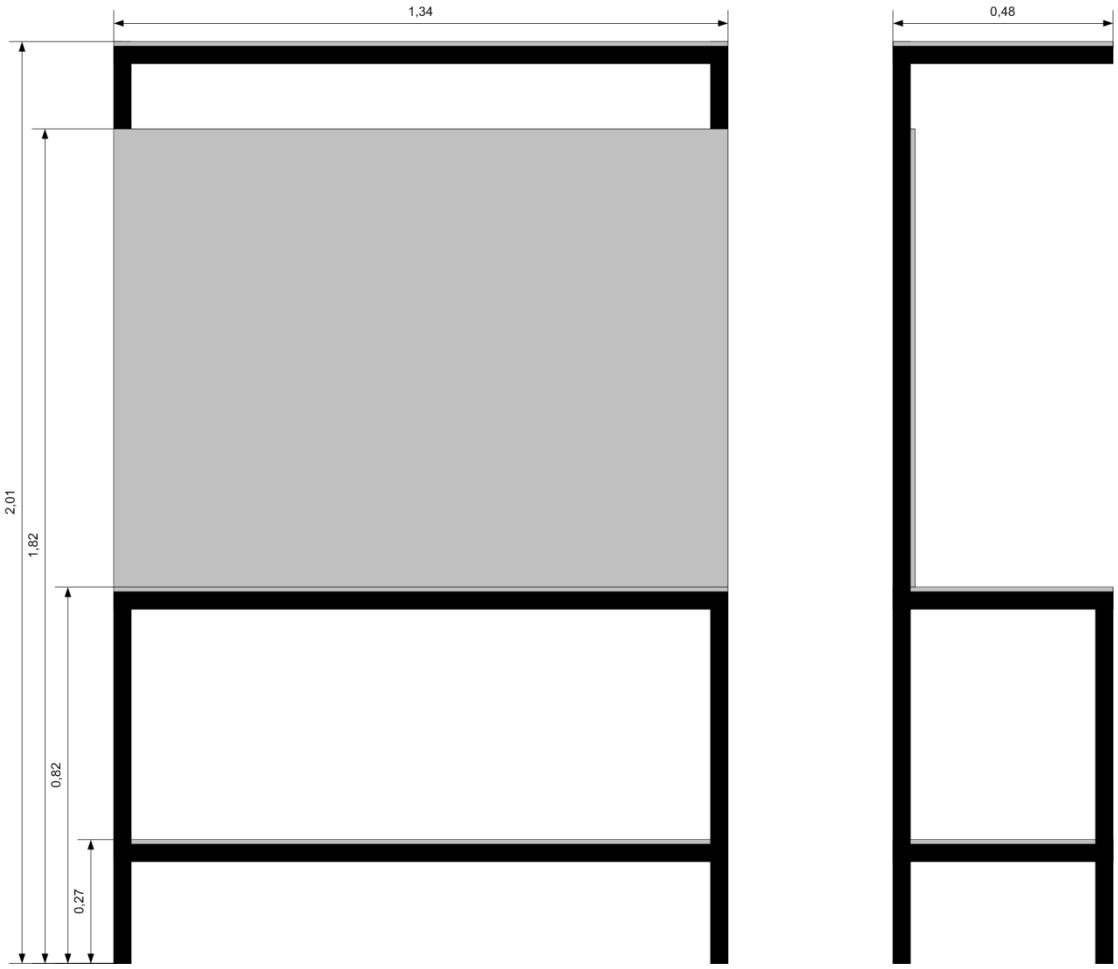


Figura 2.18 Estructura metálica y Tableros de Montaje.

2.7.2. DETERMINAR LA UBICACIÓN DE ELEMENTOS:

2.7.2.1. Elementos básicos.

Como ya se expuso anteriormente, existen cuatro elementos básicos en un sistema de refrigeración, su ubicación es de gran importancia para un buen funcionamiento.

- Compresor.
- Condensador.
- Válvula de expansión (dosificador de refrigerante).
- Tubo capilar (dosificador de refrigerante).
- Evaporador.

La Unidad de Refrigeración (compresor, condensador y tanque de líquidos) debe estar lo más aislado posible del ambiente del evaporador, por lo que, mientras el evaporador se encuentra en el lugar más alto del MDR, el Compresor se lo aísla colocándolo debajo de los tableros de montaje.

Los elementos de dosificación de refrigerante (válvula de dosificación y tubo capilar) deben ser colocados en una posición cercana al evaporador, pues en éste se debe dar la mayor caída de temperatura para un óptimo funcionamiento y no desperdiciar este trabajo en tuberías innecesarias.

Sobre los tableros de montaje, se colocan de forma conveniente los componentes del MDR como son:

2.7.2.2. Elementos de control:

- Presostato.
- Manómetro de lado de alta 2.
- Manómetro de lado de baja 1.
- Termostato.
- Manómetro de lado de baja 1.

2.7.2.3. Accesorios y elementos de maniobra:

- Válvula de paso (lado de alta).
- Válvulas selectoras de dosificador.
- Válvulas de paso de visor.
- Visor de lado de alta 2.
- Visor de lado de baja 1.
- Visor de lado de alta 2.
- Filtro.

2.7.2.4. Elementos incluidos en la Unidad de Refrigeración

Existen elementos que intervienen en la unidad de refrigeración y por fines prácticos no se los incluye en los tableros de montaje. Para su colocación se debe intervenir a las tuberías que unen los componentes de dicha unidad, estos son:

- Manómetro del lado de alta 1.
- Válvula de by pass del tanque de líquidos.
- Visor de lado de alta 1.

La colocación de estos elementos se muestra en la Figura 2.19 y se determina según su función y ubicación dentro del ciclo de refrigeración detallado en el Anexo 9.

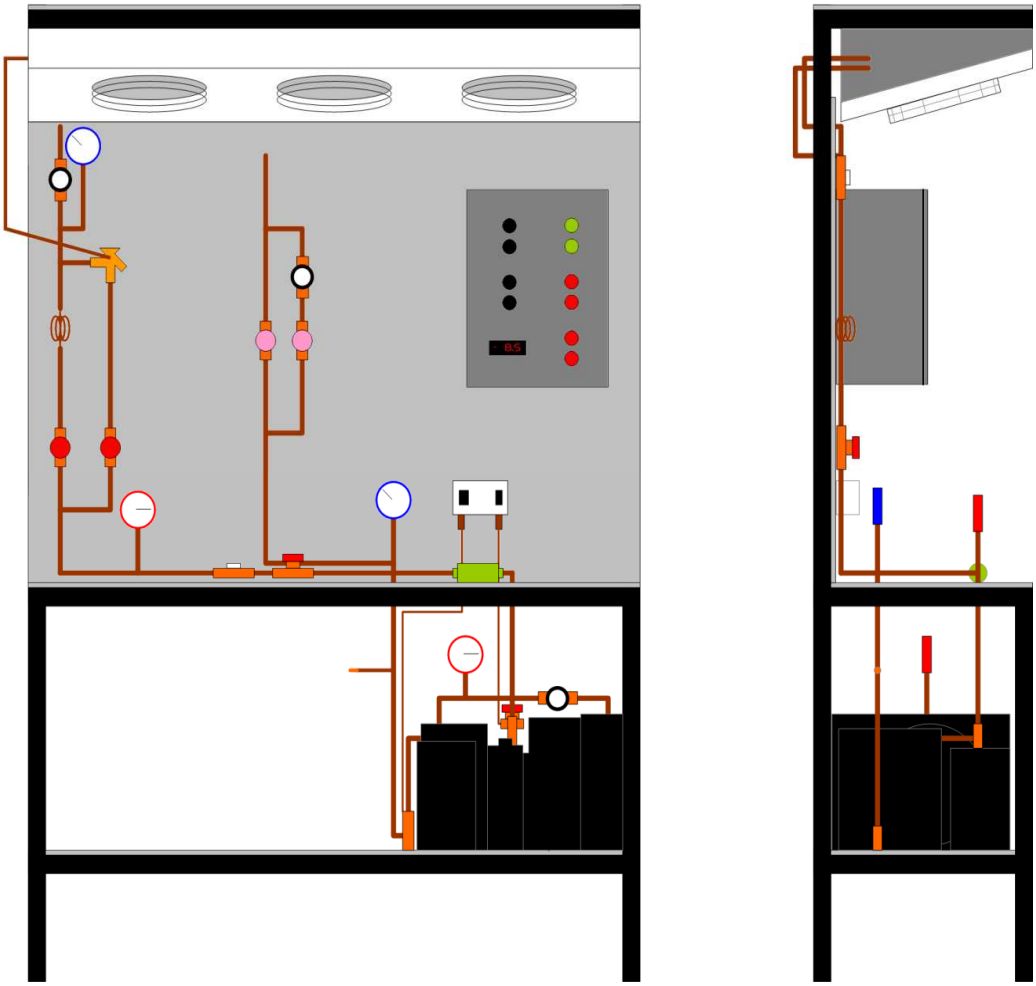


Figura 2.19. Ubicación de elementos del MDR.

2.8. TUBERÍAS

El dimensionamiento, disposición e instalación correctos de las tuberías y accesorios ayuda a mantener los sistemas de refrigeración en condiciones adecuadas de funcionamiento y evitan las pérdidas de refrigerante.

El sistema de tuberías permite el paso del refrigerante hacia el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión. También proporciona el modo para que el aceite se drene de vuelta hacia el compresor. Las tuberías y accesorios utilizados deben ser del material correcto y del tamaño adecuado; el sistema debe ser dispuesto apropiadamente e instalado de forma correcta.

2.8.1. TIPOS Y TAMAÑOS DE TUBERÍAS

Las tuberías de cobre se emplean generalmente para sistemas de calefacción y refrigeración. Las tuberías de acero y de hierro forjado se utilizan para los conductos de gas y, frecuentemente para calefacción por agua caliente.

Las tuberías de cobre están disponibles como tuberías blandas de cobre recocido y tuberías de cobre estirado en frío. El cobre recocido puede ser doblado o utilizado con tubos acodados, uniones en T y otros tipos de empalmes. Las tuberías estiradas en frío no están pensadas para ser dobladas; úselas sólo con accesorios de empalme para obtener las configuraciones deseadas.

Las tuberías de cobre utilizadas para refrigeración se denominan tuberías ACR (air conditioning and refrigeration).

El diámetro exterior (DE) de estos tipos de tuberías son aproximadamente 1/8 de pulgada mayor que el tamaño indicado; es decir, una tubería de 1/2 pulgada tiene un DE de 5/8 pulgadas. El tamaño de las tuberías ACR se mide por su DE; las tuberías de 1/2 pulgada tienen un DE de 1/2 pulgada (véase la Figura 2.20). Las tuberías de cobre están normalmente disponibles en diámetros que van de 3/16 pulgada hasta más de 6 pulgadas.

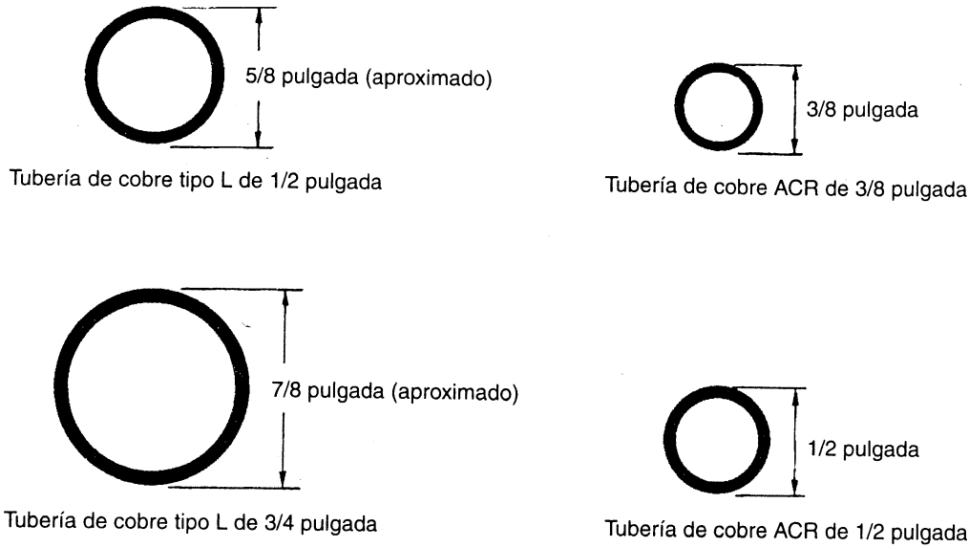


Figura 2.20. Tamaños de tuberías

Las tuberías ACR vienen tapadas por ambos extremos, para mantener su interior seco y limpio, y a menudo tienen una carga de nitrógeno para mantenerlas libres de contaminantes. Se sugiere un procedimiento adecuado para sacar la tubería de la bobina. Nunca se debe sacar la tubería desde el interior del rollo. La tubería debe colocarse en una superficie plana para desenrollarla, como se indica en la Figura 2.21.

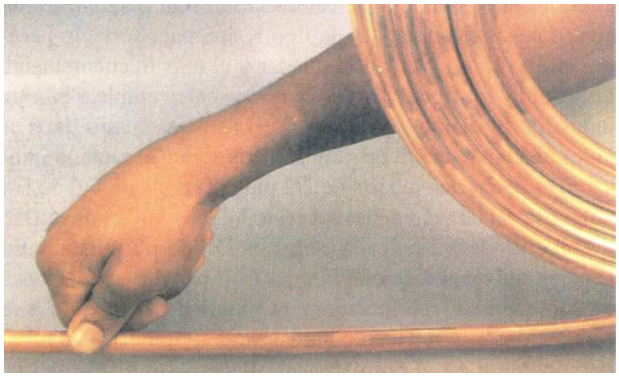


Figura 2.21. Rollo de tubería blanda.

No debe doblarse o enderezarse la tubería más de lo necesario, porque se endurecería. Este fenómeno se denomina endurecimiento por acritud. Las tuberías endurecidas por acritud pueden ser ablandadas calentándolas y dejando que se enfríen lentamente, este proceso se denomina ablandamiento.

Las tuberías de cobre estirado en frío están disponibles en longitudes de 5 m y con mayores diámetros que las tuberías de cobre blando. Se debe tomar las mismas precauciones con el cobre estirado en frío que con el cobre recocido.

2.8.2. AISLAMIENTO DE TUBERÍAS

Las tuberías ACR se aíslan a menudo en el lado de baja presión de un sistema de aire acondicionado o refrigeración, entre el evaporador y el compresor, para evitar que el refrigerante absorba calor; véase la Figura 2.22. El aislamiento también evita que se forme condensación en los conductos.

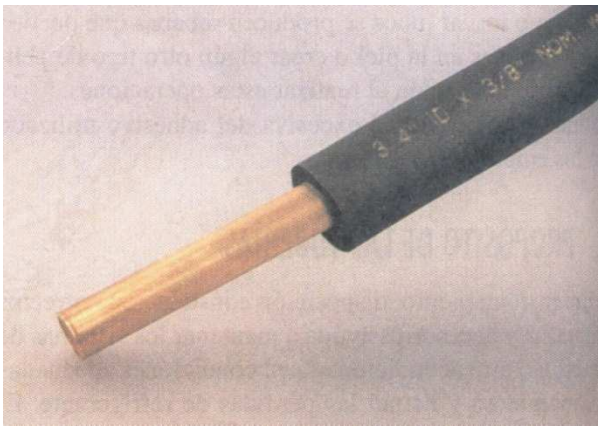
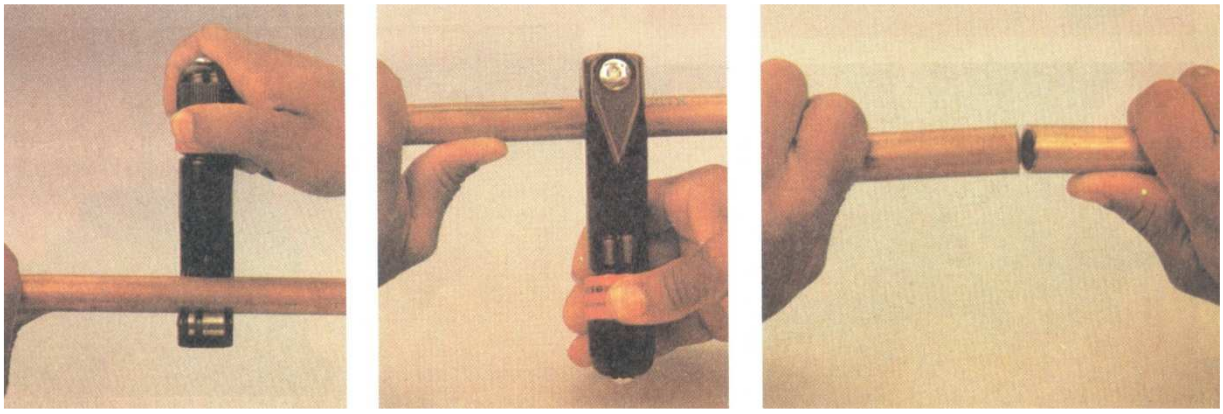


Figura 2.22. Tubería ACR con aislante.

2.8.3. CORTE DE TUBERÍAS

Las tuberías se cortan normalmente con un cortador de tuberías o una sierra de corte para metales. Los cortadores de tuberías suelen emplearse normalmente con tubos blandos y con las tuberías estiradas en frío de más pequeño diámetro (Figura 2.23). Para las tuberías estiradas en frío de diámetros mayores puede usarse una sierra de corte para metales (Figura 2.24).



(A) (B) (C)

Figura 2.23. Forma correcta de utilización de un cortador de tubos.

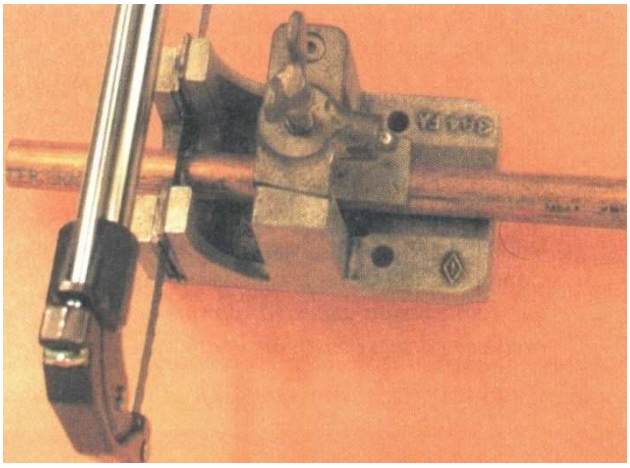


Figura 2.24. Forma correcta de utilizar una sierra de corte para metales.

Al terminar el corte se debe eliminar el material en exceso (denominado rebaba) introducido en el conducto la cuchilla del cortador de tubos, como se ilustra en la Figura 2.25. Las rebabas producen turbulencias y representan un obstáculo para el paso del fluido a través del conducto.

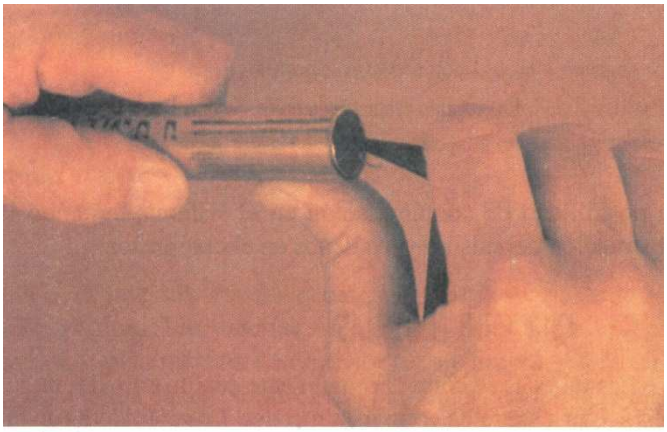


Figura 2.25. Eliminación de una rebaba.

2.8.4. DOBLADO DE TUBERÍAS

Sólo se deben doblar las tuberías blandas, utilizando el máximo radio de curvatura posible (Figura 2.26). Todas las áreas de la tubería deben continuar siendo curvas. No se debe permitir que la tubería se estrangule o que se formen pliegues (Figura 2.27). Puede utilizar muelles para doblar tuberías como ayuda para realizar la curva, como se ilustra en la Figura 2.28. Dichos muelles pueden usarse en el interior o el exterior del tubo.

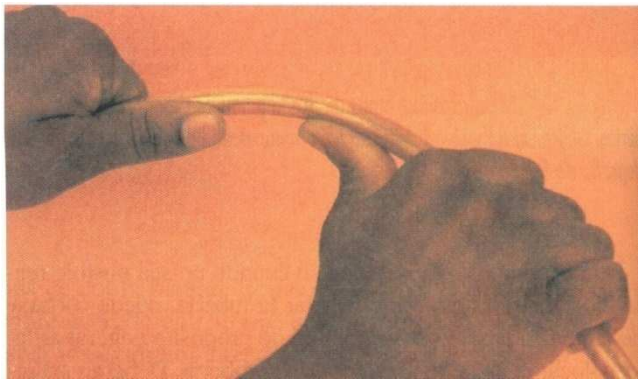


Figura 2.26. Doblado manual de una tubería.

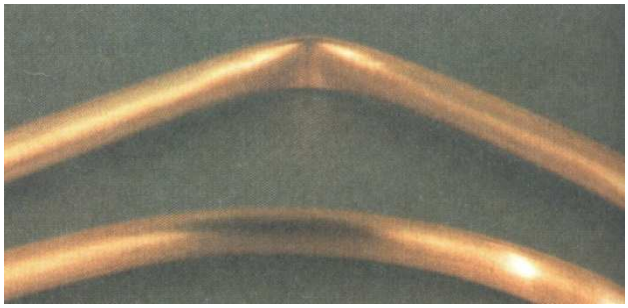


Figura 2.27. Tubería mal doblada.

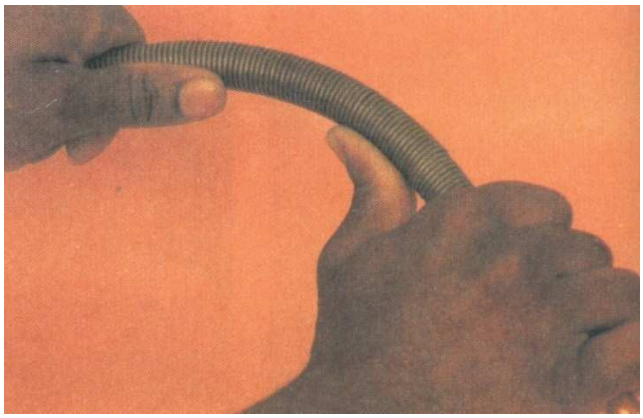


Figura 2.28. Uso de muelles interiores o exteriores para doblar tuberías.

2.8.5. DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS

El diámetro de las conexiones de las unidades condensadoras y de los evaporadores nos pueden servir de parámetro para seleccionar los diámetros de las tuberías del sistema. Sin embargo para seleccionar correctamente las tuberías se deben tomar en cuenta las tablas de los Anexos 14 y 15

En base a los valores de rendimiento típicos de la unidad de condensación del Anexo 12, se obtiene que el rendimiento es de 6000 Btu/h en el caso del compresor de ½ HP para una temperatura del refrigerante de 30 ºF. Además, las longitudes de las tuberías, entre el evaporador y la unidad condensadora, no superan los 8 m a los que se hace referencia en los Anexos 14 y 15.

Por lo tanto, se determina que el diámetro de la tubería de succión (lado de baja presión) es de 1/2 pulgada y el diámetro de la tubería de líquido (lado de alta presión) es de 3/8 de pulgada.

2.9. SOLDADURA

La soldadura es el proceso utilizado para unir tuberías y conductos a los empalmes. Se utiliza principalmente en sistemas de fontanería y calefacción que empleen tuberías y empalmes de cobre y latón. Los sistemas de refrigeración de gran tamaño también utilizan tuberías y empalmes duros. La soldadura denominada estañosoldadura, se realiza a temperaturas por debajo de 400 ℃, usualmente en el rango que va de 200 ℃ a 250 ℃, c omo se indica en la Figura 2.29.

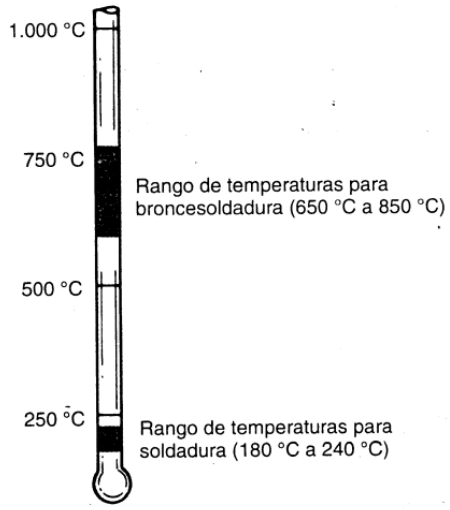


Figura 2.29. Rangos de temperatura para soldadura y broncesoldadura.

La broncesoldadura, que requiere temperaturas más altas, se utiliza para unir tuberías y conductos en sistema de aire acondicionado y refrigeración. En las operaciones de broncesoldadura, se emplean temperaturas por encima de 400 ℃. Las diferencias de temperatura son necesarias d ebido a las diferentes aleaciones utilizadas en los metales de aportación (suelda).

Los metales de aportación para broncesoldadura adecuados para unir tuberías de cobre son aleaciones que contienen entre un 15% y un 60% de plata (BAg) o aleaciones de cobre que contienen fósforo (BCuP).

En la broncesoldadura, el metal base (la tubería o conducto) se calienta hasta el punto de fusión del material de aportación. No debe fundirse la tubería o conducto. Cuando se calientan dos superficies metálicas suaves, limpias y que ajusten bien, hasta el punto en que empieza a fundirse el metal de aportación, este metal fundido se introduce en la juntura por atracción capilar (véase la Figura 2.30). Si se realiza adecuadamente la soldadura, la suelda fundida será absorbida por los poros del metal base, se adherirá a todas las superficies y formará una unión sólida entre las superficies en contacto.

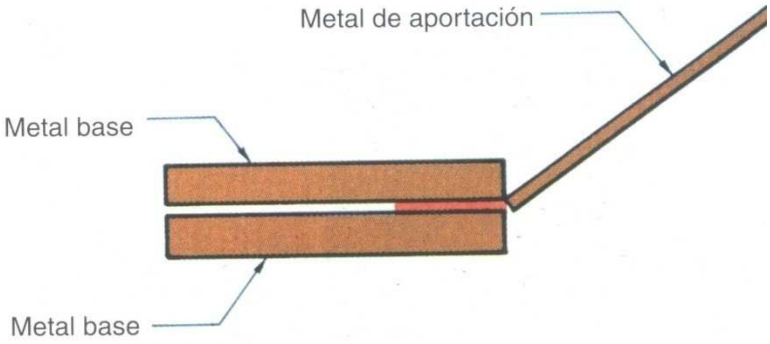


Figura 2.30. Ejemplo de atracción capilar.

2.9.1. FUENTES DE CALOR PARA SOLDADURA

Las fuentes de calor más comúnmente utilizadas para soldadura y broncesoldadura son: Sopletes de propano (Figura 2.31). Sopletes de butano o aireacetilénicos (Figura 2.32). Sopletes oxiacetilénicos (mezcla de oxígeno con gas acetileno), particularmente para broncesoldar tuberías de gran diámetro (Figura 2.33). Sopletes de gas MAPP, que son de composición similar al propano y que puede usarse con aire (Figura 2.34). Éste es usado en aplicaciones pequeñas de refrigeración y se lo usó para la construcción de MDR.

Estos sopletes pueden ser fácilmente encendidos y ajustados al tipo y tamaño de la junta que esté siendo soldada. Hay disponibles varios tipos de punta para soldadura según su aplicación (Figura 2.35 y Figura 2.36). En la figura 2.37 se ilustran algunos tipos de llamas utilizados tanto para soldadura como para corte de metales.

Figura 2.31. Soplete de propano con una punta típica de soldadura.

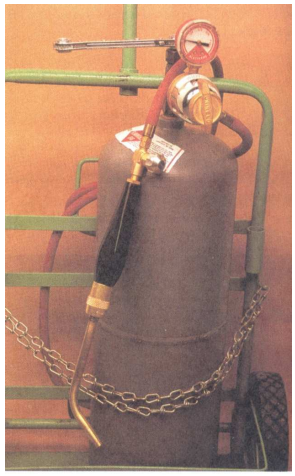


Figura 2.32. Unidad aireacetilénica típica.

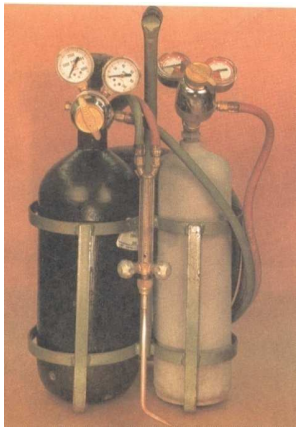


Figura 2.33. Equipo oxiacetilénico.

Figura 2.34. Contenedor de gas MAPP.

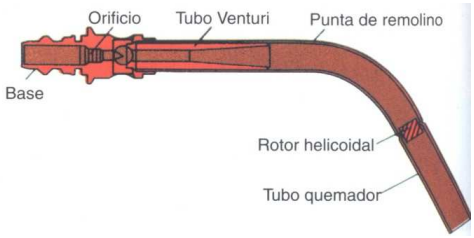


Figura 2.35. Punta de alta velocidad.

PUNTAS PARA SOPLETE ACETILÉNICO								
	Tamaño de punta		Flujo de gas		Tamaño de tubería de cobre			
Punta núm.			@ 14 psi	(0,9Bar)	Suelda de estaño		Suelda de plata	
	in.	mm	ft^3/hr	m^3/hr	in.	mm	in.	mm
A-2	3/16	4,8	2,0	0,17	1/8 – 1/2	3 – 15	1/8 – 1/4	3 – 10
A-3	1/4	6,4	3,6	0,31	1/4 – 1	5 – 25	1/8 – 1/2	3 – 12
A-5	5/16	7,9	5,7	0,48	3/4 – 1 1/2	20 – 40	1/4 – 3/4	10 – 20
A-8	3/8	9,5	8,3	0,71	1 – 2	25 – 50	1/2 – 1	15 – 30
A-11	7/16	11,1	11,0	0,94	1 1/2 – 3	40 – 75	7/8 – 1 5/8	20 – 40
A-14	1/2	12,7	14,5	1,23	2 – 3 1/2	50 – 90	1 – 2	30 – 50
A-32*	3/4	19,0	33,2	2,82	4 – 6	100 – 150	1 1/2 – 4	40 – 100
MSA-8	3/8	9,5	5,8	0,50	3/4 – 3	20 – 40	1/4 – 3/4	10 – 20
* Usar sólo con depósito de gran tamaño								
NOTA: Para aire acondicionado, añada 1/8 pulgada para tuberías de tipo L.								

Figura 2.36. Tabla de puntas para soplete acetilénico.

(A) (B) (C)

Figura 2.37. (A) Llama neutra, (B) llama carbonizante y (C) llama oxidante.

2.10. UNIONES ABOCINADAS

Otro método de unir tuberías y empalmes es la unión abocinada o abocardada. Este tipo de unión hace encajar un ensanchamiento en forma de bocina del extremo de la tubería con un ángulo situado en el extremo del empalme; la unión se asegura mediante una tuerca especial que se coloca detrás del ensanchamiento de la tubería (véase la Figura 2.38).

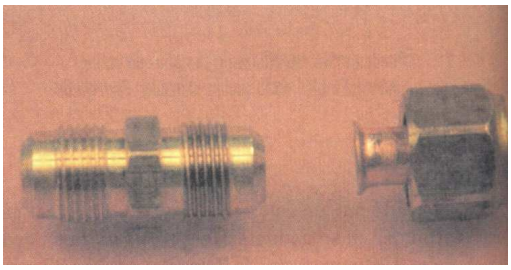


Figura 2.38. Unión abocardada o abocinada.

El ensanchamiento en forma de bocina de la tubería puede realizarse con un aparato especial de tipo tornillo, denominado abocardador. El procedimiento para esto se detalla en la Figura 2.39.

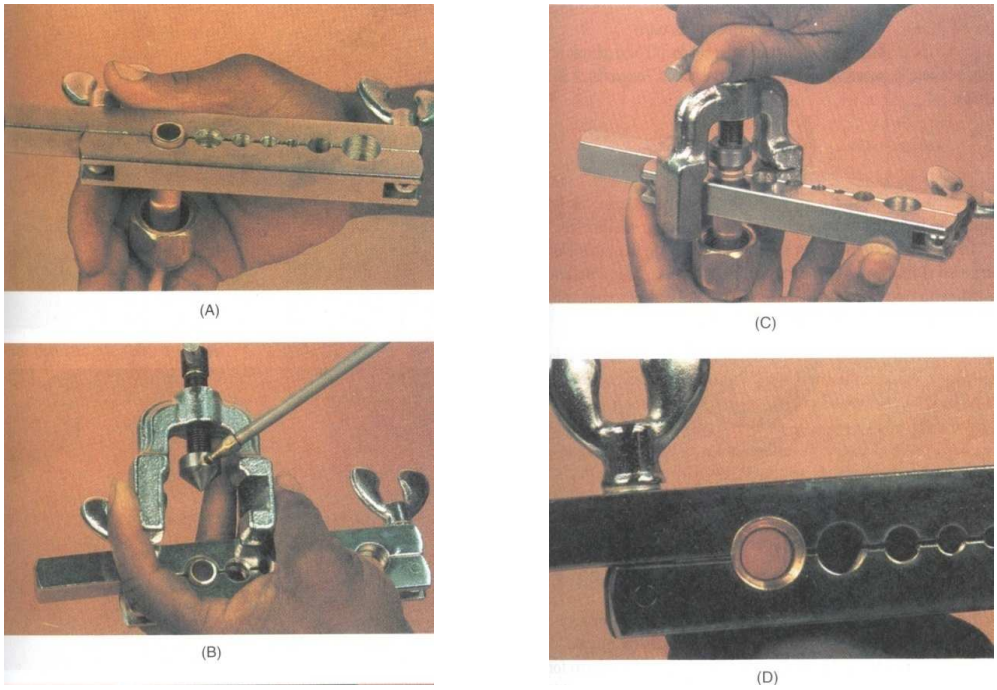


Figura 2.39. Procedimiento para realizar una unión abocinada.

2.11. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

2.11.1. INTRODUCCIÓN

La carga total de refrigeración del sistema, expresado en Btu/h, proviene de muchas fuentes de calor. Por ejemplo, las fuentes de calor en el cuarto de almacenamiento refrigerado, mismo que se muestra en la Figura 2.40. Se pueden clasificar las fuentes como sigue:

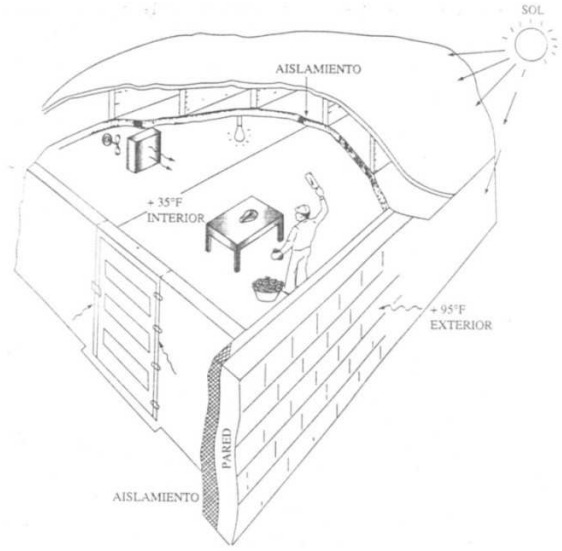


Figura 2.40. Almacén refrigerado

2.11.1.1. Transmisión de calor.

- Existe una diferencia de temperatura de 60 ℉ entre el aire exterior a 95 ℉ y la temperatura de la habitación a 35 ℉ que causa una gran conducción de calor.
- El efecto del sol sobre el techo y paredes provoca la acumulación de calor radiante.

2.11.1.2. Infiltración de aire.

- El aire se introduce a la habitación como resultado de la apertura y cierre de puertas durante periodos de trabajo normal.
- El aire se introduce a la habitación por grietas o alrededor de sellos en la estructura o en puertas.
- El aire es introducido voluntariamente para fines de ventilación.

2.11.1.3. Cargas por los productos

Es decir, el calor de los productos que se están almacenando.

- Calor seco o sensible, como al enfriar una lata de jugo de la temperatura ambiente hasta 35 ℉.

- Una combinación de calor seco y húmedo (latente) como en las verduras.
- Calor de productos congelados, con calor latente de congelación.
- Algo de calor también es el resultado de cambios químicos dentro del producto, como la maduración de frutas.

2.11.1.4. Cargas complementarias

Son causadas por objetos que emiten calor como:

- Bulbos eléctricos.
- Motores y herramientas.
- Personas.

2.11.2. CÁLCULO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Aunque la ingeniería en el diseño de refrigeración se responsabiliza principalmente de la estimación de cargas, en la práctica, se debe comprender cómo estas fuentes de calor afectan la operación del sistema. Se podrá entonces ajustar el equipo para que funcione de acuerdo con su diseño.

Los temas relativos al cálculo de la carga de refrigeración y a la selección de equipo se presentan bajo los siguientes puntos:

- Transmisión de calor.
- Efecto solar.
- Temperatura de diseño.
- Infiltración de aire.
- Carga por producto.
- Cargas complementarias.
- Carga total horaria, y.
- Selección de equipos.

2.11.2.1. Transmisión de calor

La ganancia térmica a través de paredes, piso y techo varía de acuerdo con:

- El tipo de construcción.
- El área expuesta a temperaturas diferentes.
- El tipo y espesor del aislamiento, y
- La diferencia de temperatura entre el espacio refrigerado y el aire ambiente.

La conductividad térmica (k) varía directamente con el tiempo, el área y la diferencia de temperatura. Se expresa en Btu/h, por pie^2 de área, por pulgada de espesor y por ºF de diferencia de temperatura.

A fin de reducir la transferencia de calor, el factor de conductividad térmica (basado en la composición del material) deberá ser tan pequeño como sea posible y el material aislante tan grueso como económicamente sea factible.

La transferencia térmica a través de cualquier material también es afectada por la resistencia superficial al flujo de calor causada por el tipo de superficie (rugosa o lisa), su posición (vertical u horizontal), sus propiedades reflejantes y la velocidad del flujo de aire sobre la superficie.

Se han llevado a cabo pruebas extensas a fin de determinar los valores precisos de transferencia térmica a través de materiales de construcción y estructurales comunes. Se ha encontrado que ciertos materiales tienen alta resistencia al flujo de calor, siendo buenos aislantes, y otros no lo son.

La pérdida de calor se mide por resistencia (R), que es la resistencia al flujo de calor, ya sea de 1" de material, o de un espesor especificado, de un espacio de aire, de una película de aire o de todo un conjunto. Este valor se expresa como la diferencia en temperatura en ºF por Btu, por hora, por pie^2. Un valor alto de R

indica baja velocidad del flujo de calor. Para obtener la resistencia total de varios componentes de una pared pueden sumarse las resistencias de los componentes:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

La Figura 2.41 enlista algunos valores de R para materiales de construcción comunes, a fin de ilustrar las diferencias en las características de flujo de calor.

Material	Densidad (lb/pies^2)	Temperatura media (ºF)	Conductividad *k*	Conductancia *C*	Resistencia *R*	
					Por pulg	General
Materiales aislantes						
Hoja de lana mineral	0.5	75	0.32		3.12	
Hoja de fibra de vidrio	0.5	75	0.32		3.12	
Tablero de caucho	6.5–8.0	0	0..25		4.0	
Tablero de fibra de vidrio	9.5–11.0	-16	0.21		4.76	
Uretano expandido, R11		0	0.17		5.88	
Poliestireno expandido	1.0	0	0.24		4.17	
Tablero de lana mineral	15.0	0	0.25		4.0	
Cubierta aislante para techo, 2 pulg		75		0.18		5.56
Lana mineral, relleno suelto	2.0–5.0	0	0.23		4.35	
Perlita, expandida	5.0–8.0	0	0.32		3.12	
Materiales de mampostería						
Concreto, arena y grava	140		12.0		0.08	
Tabique común	120	75	5.0		0.2	
Tabique de fachada	130	75	9.0		0.11	
Teja hueca, de 2 celdas de 6 pulg		75		0.66		1.52
Bloque de concreto, arena, 8 pulg		75		0.90		1.11
Bloque de concreto, cenizas, 8 pulg		75		0.58		1.72
Recubrimiento de plástico y arena	105	75	5.6		0.18	

Figura 2.41. Coeficientes típicos de transmisión de calor

La cantidad de transmisión de calor (Q) a través de una sustancia o de un material se calcula mediante la fórmula:

$$Q = U \times A \times Td$$

Donde:

Q = transferencia de calor, Btu/h.

U = coeficiente general de transferencia de calor (Btu/h/pie^2/ºF).

A = superficie (pies^2).

Td= diferencia de temperatura entre la temperatura de diseño interior y exterior y la temperatura de diseño del espacio refrigerado.

El ejemplo siguiente muestra el efecto acumulativo de los valores R para determinar la resistencia total de la pared. También se muestra la reducción en calor obtenible mediante un aislamiento adecuado, de 3480 a 294 Btu/h. Esto reduciría de manera importante el tamaño del equipo de refrigeración necesario y los costos de operación.

Ejemplo:

Calcular el flujo de calor a través de una pared de bloques de concreto (de cenizas) de 8 pulg de 100 pies^2 de área, con una diferencia de temperatura de 60℉ entre la parte interior y la exterior.

Solución:

El valor de *R* de la pared de bloques de concreto de 8 pulg es de 1.72.

Por tanto:

U = 1 / R siendo R la resistencia total de los componentes individuales de la pared

U = 1/ 0.72

U = 0.58 Btu/h/ºF/pie^2

Q = 0.58 x 100 pies^2 x 60℉

Q = 480 Btu/h de flujo de calor hacia el espacio

Agregar 6 pulg de aislamiento de fibra de vidrio a la pared y calcular nuevamente la carga de transmisión. Dado que el valor de R para un aislamiento de 1 pulg es de 3.12:

R = (6 x 3.12) = 18.72

Factor U =1 / R

$R_t = R_1$ (bloque de concreto) + R_2 (aislamiento de 6 pulgadas)

R_t = 1.72 + 18.72 = 20.44

Por tanto,

U = 1/ 20.44 = 0.049

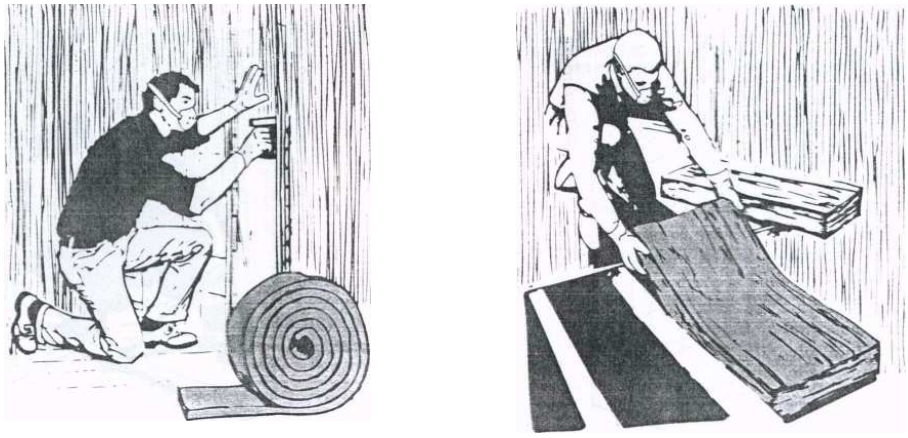
Q= 0.049 x 100 pies^2 x 60°F = 294 Btu/h.

El aislamiento es el método más eficaz de reducir la transmisión de calor. Los tipos de aislamiento para diversas aplicaciones son: (1) rellenos sueltos. (2) flexible, (3) rígido o semirrígido, (4) reflectores, y (5) espumados en sitio.

El aislamiento de relleno suelto o "soplado" (Figura 2.42) se utiliza principalmente en estructuras residenciales para reducir el flujo de calor. Los aislamientos flexibles como la fibra de vidrio, en tramos o en rollo (Figura 2.43) también son comunes en construcciones residenciales y comerciales nuevas, incluyendo un recubrimiento de papel de estraza que actúa como barrera contra el vapor. Los aislamientos flexibles se pueden utilizar para recubrir ductos o colocarlos entre montantes de pared o vigas de techo.

Los aislamientos rígidos y semirrígidos (Figura 2.44) se fabrican de materiales tales como corcho, poliestireno, vidrio espumado y poliuretano. Están disponibles en tablero o en hoja, de diversas dimensiones y formas. Algunas tienen algún grado de resistencia estructural.

Figura 2.42. Aislamiento de relleno suelto.



(a) (b)

Figura 2.43. Aislamiento de fibra de vidrio: (a) rollos; (b) colchonetas.

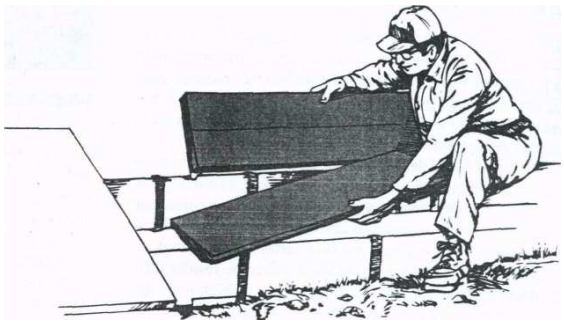


Figura 2.44. Instalación de aislamiento semirrígido.

El material rígido y semirrígido es el tipo de aislamiento utilizado en equipo de refrigeración como enfriadores de cabina, congeladores y exhibidores. Debido a su densidad y estructura, tienen incorporada una barrera de vapor contra la humedad.

El aislamiento espumado en sitio (Figura 2.45) es de amplio uso para rellenar cavidades difíciles de aislar. También se utiliza para cubrir charolas de drenaje y otros lugares donde se requiere controlar la temperatura y sello contra el agua. El aislamiento espumado puede utilizarse en habitaciones refrigeradas construidas en el sitio en conjunción con aislamientos rígidos.

Figura 2.45. Aplicación de aislamiento de tipo de espuma

Para todos los tipos de aislamiento, es de extrema importancia controlar la humedad. El aislamiento deberá estar seco al instalarse y deberá sellarse perfectamente, a fin de conservarlo seco.

La Figura 2.46 muestra los cambios graduales de temperatura que ocurren dentro del material aislante de 90℉ en el calor exterior hasta 40℉ en el frío interior.

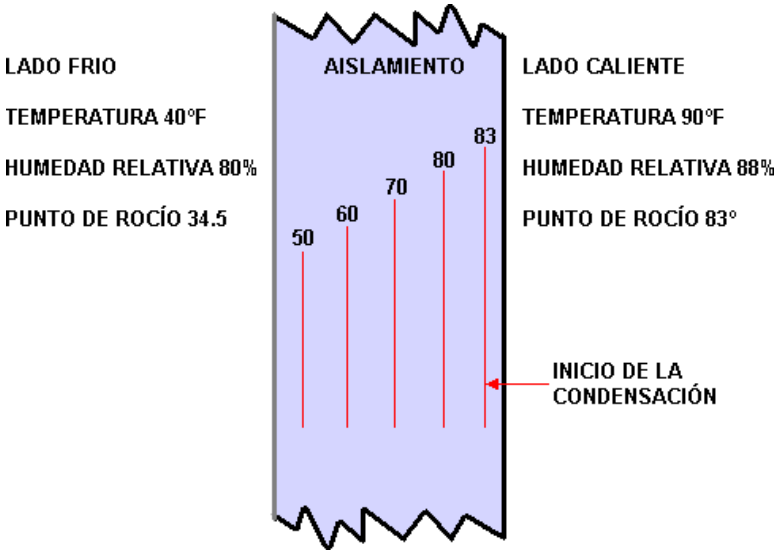


Figura 2.46. Cambios graduales de temperatura en una pared aislada desde el interior hasta el exterior.

En la Figura 2.46, el lado del aire caliente a 90° F tiene una temperatura de punto de rocío de 83 ºF. (A la temperatura de punto de rocío el aire está saturado de

humedad, y si esta temperatura se reduce ocurrirá la condensación de vapor a líquido) Como se ilustra, cuando del lado caliente no exista una barrera o sello de vapor eficaz, el agua empezará a condensarse dentro del aislamiento, al descender la temperatura por debajo del punto de rocío. El agua es buen conductor del calor, aproximadamente 15 veces más veloz que la fibra de vidrio. Por lo que, si entra agua en el interior del aislamiento, el valor aislante del material se reducirá de forma importante, pudiendo ocasionar también problemas físicos.

Los sellos de vapor pueden ser fabricados de diversos materiales, incluyendo recubrimientos metálicos, hojas de metal, película plástica y recubrimientos de asfalto. La selección dependerá de la aplicación.

La capacidad de un material para resistir la transmisión del vapor de agua se mide en perms, término relacionado con la permeabilidad. Se ha encontrado que barreras de vapor de 1 perm o menos son satisfactorias en instalaciones de calefacción y enfriamiento de comodidad tipo residencial. En aplicaciones de refrigeración comercial a temperaturas bajas como la de los congeladores, los niveles de perm aceptados pudieran llegar a 0.10 o menos. De la misma manera que el aislamiento y el flujo de calor, la resistencia al flujo de vapor es función de la composición de todos los materiales, como estén construidos, y no simplemente de la capacidad nominal de la barrera de vapor misma.

2.11.2.2. Efecto solar

El factor principal de radiación en la carga por refrigeración es la ganancia térmica proveniente de los rayos solares. Si las paredes del espacio refrigerado están expuestas al sol, se le agregará a la carga de calor un calor adicional. Un método simplificado para estimar este efecto aparece en la Figura 2.47.

	º F			
Tipo de estructura	**Pared este**	**Pared Sur**	**Pared oeste**	**Techo plano**
Superficie de color oscuro (pizarra, brea, teja de asfalto negro y pintura negra)	8	5	8	20
Superficie de color medio (tabique, teja roja, madera sin pintar, cemento oscuro)	6	4	6	15

Superficies claras (piedra blanca, cemento de color claro, tejas de asfalto blanco, pintura blanca)	4	2	4	9

Figura 2.47 Tolerancia de temperatura debida al efecto solar.

Los factores que se muestran, en ℉, para diversas condiciones y ubicaciones, deben agregarse a la diferencia normal en temperatura entre las condiciones de diseño interior y exterior.

2.11.2.3. Temperaturas de diseño

Para continuar con el cálculo de la carga deben determinarse dos temperaturas de diseño: la temperatura exterior y la interior.

Las condiciones exteriores de diseño recomendadas son resultado de extensos estudios, efectuados por el National Weather Service. Para aplicaciones de aire acondicionado y de refrigeración, la carga máxima ocurre durante el clima más caluroso. No es económico ni práctico diseñar el equipo para la temperatura máxima, ya que podría durar sólo unas cuantas horas en un periodo de varios años. La temperatura de diseño seleccionada será por tanto menor que la temperatura pico.

En la Figura 2.48 se muestra un segmento de una gráfica de datos exteriores de diseño de ASHRAE. En ella se dan temperaturas recomendadas de diseño de bulbo seco y húmedo para los estados y ciudades más importante de Estados Unidos. Las condiciones interiores de diseño son las condiciones de almacenamiento recomendadas para el producto que se está almacenando.

2.11.2.4. Infiltración del aire

El aire exterior que entra al espacio refrigerado debe ser reducido a la temperatura de almacenamiento, incrementando la carga de refrigeración. Si el contenido de humedad del aire que entra está por arriba del espacio refrigerado, la humedad en exceso se condensará en el aire, aumentando así la carga de refrigeración.

El tránsito hacia dentro y fuera de un refrigerador puede variar según el tamaño y volumen del mismo. Los cálculos de infiltración de aire debido a este concepto necesitarían por consiguiente tomar en consideración tanto el volumen como el número de veces que se abren las puertas del refrigerador.

En razón a las muchas variables implicadas, resulta difícil calcular la ganancia total de calor debida a la filtración del aire. Un método, el de cambios de aire, se basa en el número promedio de cambios de aire habidos en un periodo de 24 horas, comparados con el volumen del refrigerador, según se puede ver en la Figura 2.49.

Este método es el utilizado en habitaciones donde la temperatura esté por encima de 32 ºF de uso general. Los valores se incrementan multiplicándolos por 2 donde el uso sea más severo y las temperaturas más elevadas. Para almacenamientos a 0 ºF o inferiores, con menos uso, estos valores disminuyen.

Otra forma de calcular la infiltración es utilizando la velocidad del flujo de aire a través de una puerta abierta. Hay gráficas disponibles que registran la velocidad de infiltración promedio con base en la altura de la puerta y la diferencia de temperatura. Si puede ser determinado el tiempo promedio por hora que cada puerta está abierta, se podrá calcular la infiltración promedio horaria.

Una vez determinada, por cualquier método, la velocidad de infiltración en pies^3/hora, se puede calcular la carga de calor del calor extraído por pie^3, que se da en la Figura 2.50.

Localización	2 1/2 % diseño bulbo seco	Diseño coincidente bulbo húmedo
ALABAMA		
Birmingham AP	94	75
Mobile AP	93	77
Montgomery AP	95	76
ALASKA		
Anchorage AP	68	58
Barrow (S)	53	50
Juneau AP	70	58
ARIZONA		
Flagstaff AP	82	55
Phoenix AP (S)	107	71
Tucson AP (S)	102	66
ARKANSAS		
El Dorado AP	96	76
Fayetteville AP	94	73
Little Rock AP (S)	96	77
CALIFORNIA		
Bakersfield AP	101	69
Eureka / Arcata AP	65	59
Los Ángeles CO (S)	89	70
Sacramento AP	98	70
San Bernardino	99	69
San Diego AP	80	69
San Francisco CO	71	62
San Jose AP	81	65
FLORIDA		
Gainesville AP (S)	93	77
Jacksonville AP	94	77
Key West AP	90	78
Miami AP	90	77
Orlando AP	93	76
Tallahassee AP (S)	92	76
Tampa AP (S)	91	77
GEORGIA		
Atlanta AP (S)	92	74
sabannah - Travis AP	93	77
Valdosta - Moody	94	77
HAWAII		
Hilo AP	83	72
Honolulu	86	73
IDAHO		
Bolse AP	94	64
Coeur D'Alene AP	86	61
MASSACHUSETTS		
Boston AP	88	71
New Bedford	82	71
Springfield, Westover	87	71
Worcester AP	84	70
MICHIGAN		
Detroit	88	72
Grand Rapids AP	88	72
Marquett CO	81	69
MINNNESOTA		
Internationl Falls AP	83	68
Minneapolis AP	89	73
Rochester	87	72
NEVADA		
Las Vegas AP (S)	106	65
Reno CO	93	60
NEW YORK		
Albany CO	88	72
Buffalo	85	70
NYC - Central Park (S)	89	73
Rochester AP	88	71
Syracuse AP	87	71
OKLAHOMA		
Muskogee AP	98	75
Oklahoma, City AP	97	74
Tulsa AP	98	75
PENSYLVANIA		
Allentown AP	88	72
Philadelphia AP	90	74
Pittsburg	88	71
TEXAS		
Corpus Christi AP	94	78
Dallas AP	100	75
Houston CO	95	77
Lubbock AP	96	69
San antonio AP	97	73
WASHINGTON		
Bellingham	77	65
Seattle - Tacoma AP	80	64
Spokane AP	90	63

Figura 2.48 Condiciones exteriores de diseño para verano: Estados Unidos

Volumen (pies^3)	Cambios de aire por 24 h	Volumen (pies^3)	Cambios de Aire por 24 h
200	44.0	6,000	6.5
300	34.5	8,000	5.5
400	29.5	10,000	4.9
500	26.0	15,000	3.9
600	23.0	20,000	3.5
800	20.0	25,000	3.0
1,000	17.5	30,000	2.7
1.500	14.0	40,000	2.3
2,000	12.0	50,000	2.0
3.000	9.5	75,000	1.6
4.000	8.2	100,000	1.4
5.000	7.2		

Nota: Para uso severo multiplique los valores arriba citados por 2. Para almacenamiento prolongado multiplique los valores arriba citados por 0.6

Figura 2.49. Cambios de aire promedio durante 24 h, para cuartos de almacenamiento, debido a apertura de puertas y a infiltración (por encima de 32ºF).

En aquellos sistemas donde se provee ventilación mediante ventiladores de suministro y/o de extracción, la carga de ventilación reemplazará la carga por infiltración, si es superior. Se puede calcular la ganancia de calor por el volumen de aire del equipo de ventilación.

Temperatura del aire exterior (ºF)								
Temperatura de la cámara de almacenamiento ºF	**85**		**90**		**95**		**100**	
	Humedad relativa (por ciento)							
	50	**60**	**50**	**60**	**50**	**60**	**50**	**60**
65	0.65	0.85	0.93	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95
60	0.85	1.03	1.13	1.37	1.44	1.74	1.78	2.15
55	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44
50	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65
45	1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85
40	1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.06
35	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24
30	2.00	2.24	2.26	2.53	2.64	2.94	2.95	3.35
Temperatura del aire exterior (ºF)								
Temperatura de la cámara de almacenamiento ºF	**40**		**50**		**90**		**100**	
	Humedad relativa (por ciento)							
	70	**80**	**70**	**80**	**50**	**60**	**50**	**60**
30	0.24	0.29	0.58	0.66	2.26	2.53	2.95	3.35
25	0.41	0.45	0.75	0.83	2.44	2.71	3,14	3.54
20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.62	2.90	3.33	3.73
15	0.71	0.75	1.06	1.14	2.80	3.07	3.51	3.92
10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.93	3.20	3.64	4.04
5	0.98	1.03	1.34	1.42	3.12	3.40	3.84	4.27

0	1.12	1.17	1.48	1.56	3.28	3.56	4.01	4.43
-5	1.23	1.28	1.59	1.67	3.41	3.69	4.15	4.57
-10	1.35	1.41	1.73	1.81	3.56	3.85	4.31	4.74
-15	1.50	1.53	1.85	1.92	3.67	3.96	4.42	4.86
-20	1.63	1.68	2.01	2.09	3.88	4.18	4.66	5.10
-25	1.77	1.80	2.12	2.21	4.00	4.30	4.78	5.21
-30	1.90	1.95	2.29	2.38	4.21	4.51	4.90	5.44

Figura 2.50. Calor eliminado al enfriar aire según las condiciones del cuarto de almacenamiento (Btu/pie^3).

Ejemplo

Suponer que el volumen de una habitación refrigerada es de 1000 pies^3 y la temperatura de almacenamiento es de 40℉, con una temperatura exterior de 95℉ y 60% de humedad relativa. Calcular la carga de calor.

Solución

De la Figura 2.49 observe que un volumen de 1000 pies^3 promediada 17.5 cambios de aire cada 24 h. Ello produciría una infiltración de 17,500 pies^3 de aire en 24 h (1000 x 17.5)

Haciendo referencia a la Figura 2.50, para una habitación a 40℉ con una temperatura exterior de 95℉ y 60% de humedad relativa, los Btu/pie^3 de calor son 2.62.

Así, en 24 h, la carga sería de 2.62 x 17,500, es decir

45,850 Btu. En 1 h sería: 45,850 / 24 = 1,910 Btu/horas.

2.11.2.5. Carga de los productos

La carga de los productos es cualquier ganancia de calor proveniente del producto existente dentro del espacio refrigerado. La carga puede venir de sitios con temperaturas exteriores superiores, de un proceso de enfriamiento o de congelación, o del calor por respiración de productos perecederos. También puede ser la suma de diversos tipos de cargas del producto.

Para calcular la carga de refrigeración del producto para productos alimenticios (sólidos y líquidos), será necesario conocer sus puntos de congelación, sus calores específicos, porcentaje de agua, etcétera.

2.11.2.5.1. Carga de calor sensible por encima del punto de congelación

La mayor parte de los productos, al llegar al refrigerador, están a una temperatura más alta que la temperatura de almacenamiento. Dado que muchos alimentos tienen un contenido de agua grande, su reacción a una pérdida de calor es bastante distinta si es por encima del punto de congelación o por debajo, debido al cambio de estado del agua. Se define el *calor específico* de un producto como los Btu que se requieren para elevar 1 ºF la temperatura de 1 Ib de esta sustancia.

El calor que se debe eliminar de un producto para reducir su temperatura (por encima del punto de congelación) se puede calcular como sigue:

$$Q = W \times C \times (T_1 - T_2)$$

Donde:

Q = Btu a eliminar.

W = peso del producto en libras.

C = calor específico por encima del punto de congelación.

T_1 = temperatura inicial, ºF.

T_2 = temperatura final, ºF (punto de congelación o su perior).

Ejemplo

El Calor a eliminarse a fin de enfriar 1000 Lb de ternera (cuyo punto de congelación es de 29 ºF) de 42 a 29 ºF se puede calcular como sigue:

$$Q = W \times C \times (T_1 - T_2)$$

Q = 1000 Lb x 0.71 {calor específico de la ternera} x (42 ºF - 29 ºF)

Q = 9230 Btu

2.11.2.5.2. Calor por respiración

Productos como frutas y vegetales frescos, incluso cuando están almacenados a temperaturas por encima de la de congelación, ceden algo de calor debido a la respiración. La *respiración* es el proceso de oxidación de la maduración, y sus subproductos son bióxido de carbono y calor. Esta carga varía según el tipo y temperatura del producto. En la Figura 2.51 aparecen valores tabulados en Btu/lb/24 h. siendo aplicables al peso total del producto almacenado, y no sólo al movimiento diario. Utilícese un valor cercano al punto de congelación (32℉).

2.11.2.5.3. Carga por calor latente de congelación

Para calcular la eliminación necesaria de calor para congelar productos alimenticios conteniendo un gran porcentaje de agua, bastará considerar ésta. El *calor latente de congelación* se determina multiplicando el calor latente del agua (144 Btu/lb) por el porcentaje de agua que existe en el producto alimenticio.

Ejemplo

La ternera contiene 63% de agua y su calor latente es 91 Btu/lb (0.63 x 144 Btu/lb = 91 Btu). Calcular el calor latente necesario para congelar 1000 Ib de ternera.

Solución:

El calor que debe extraerse de un producto debido a calor latente de congelación se puede calcular como sigue:

$Q = W \times h_f$

Donde:

Q = Btu a eliminar

W = peso del producto en libras

h_f = calor latente de fusión, Btu/lb

El calor latente de congelación de 1000 Ib de ternera a 29℉ es:

$Q = W \times h_f$

Q = 1000 lb x 91 Btu/lb

Q = 91,000 Btu

Btu/lb/24 h				
	Temperatura de almacenamiento			
Producto	**32°F**	**40°F**	**60°F**	**Otros °F**
FRUTAS				
Manzanas	0.25 – 0.45	0.55 – 0.80	1.50 – 3.40	@ 68°4.2 – 4.6
Albaricoques (chabacanos)	0.55 – 0.63	0.70 – 1.00	2.33 – 3.74	
Aguacate	–	–	6.60 – 15.35	
Plátano	–	–	2.30 – 2.75	
Zarzamoras	1.70 – 2.52	5.91 – 5.00	7.71 – 15.97	
Moras	0.65 – 1.10	1.00 – 1.35	3.75 – 6.50	@ 70°5.7 – 7.5
Cerezas	0.65 – 0.90	1.40 – 1.45	5.50 – 6.60	
Cerezas amargas	0.63 – 1.44	1.41 – 1.45	3.00 – 5.49	
Arándanos	0.30 – 0.35	0.45 – 0.50	–	
Higos, Misión	–	1.18 – 1.45	2.37 – 3.52	
Grosellas silvestres	0.74 – 0.96	1.33 – 1.48	2.37 – 3.52	
Toronja	0.20 – 0.50	0.35 – 0.65	1.10 – 2.00	
Uvas norteamericanas	0.30	0.60	1.75	
Uvas europeas	0.15 – 0.20	0.35 – 0.65	1.10 – 1.30	
Limones	0.25 – 0.45	0.30 – 0.95	1.15 – 2.50	
Limas	–	0.405	1.485	
Melones (cantalupas)	0.55 – 0.63	0.96 – 1.11	3.70 – 4.22	
Melones (dulcineas)	–	0.45 – 0.55	1.20 – 1.65	
Naranjas	0.20 – 0.50	0.65 – 0.80	1.85 – 2.60	
Duraznos	0.45 – 0.70	0.70 – 1.00	3.65 – 4.65	
Peras	0.35 – 0.45	–	4.40 – 6.60	
Ciruelas	0.20 – 0.35	0.45 – 0.75	1.20 – 1.40	
Frambuesas	1.95 – 2.75	3.40 – 4.25	9.05 – 11.15	
Fresas	1.35 – 1.90	1.80 – 3.40	7.80 – 10.15	
Mandarinas	1.63	2.93	–	
LEGUMBRES				
Alcachofas (globo)	2.48 – 4.93	3.48 – 6.56	8.49 – 15.90	
Espárrago	2.95 – 6.60	5.85 – 11.55	11.0 – 25.75	
Habichuelas, Ejotes	–	4.60 – 5.70	16.05 – 22.05	
Alubias. Frijoles	1.15 – 1.60	2.15 – 3.05	11.0 – 13.7	
Remolacha, betabel con hojas	1.35	2.05	3.60	
Brócoli	3.75	5.50 – 8.80	16.9 – 25.0	
Coles de Bruselas	1.65 – 4.15	3.30 – 5.50	6.60 – 13.75	
Col	0.60	0.85	2.05	
Zanahorias con hojas	1.05	1.75	4.05	
Coliflor	1.80 – 2.10	2.10 – 2.40	4.70 – 5.40	
Apio	0.80	1.20	4.10	
Maíz dulce	3.60 – 5.65	5.30 – 6.60	19.20	
Pepinos	–	–	1.65 – 3.65	
Ajo	0.33 – 1.19	0.63 – 1.08	1.18 – 3.00	
Rábano picante	0.89	1.19	3.59	
Colinabo	1.11	1.78	5.37	
Puerro, porro	1.04 – 1,78	2.15 – 3.19	9.08 – 12.82	
Lechuga entera	1.15	1.35	3.95	
Lechuga en hoja	2.25	3.20	7.20	
Hongos	3.10 – 4.80	7.80	–	@50°11.0
Ocra, quimbombó	–	6.05	15.8	
Aceitunas	–	–	2.37 – 4.26	
Cebollas secas	0.35 – 0.55	0.90	-1.20	
Cebollas verdes	1.15 – 2.45	1.90 – 7.50	7.25 – 10.70	
Guisantes, chícharos verdes	4.10 – 4.20	6.60 – 8.0	19.65 – 22.25	
Pimientos, chiles dulces	1.35	2.35	4.25	
Patatas, papas sin madurar	–	1.30	1.45 – 3.40	
Patatas, papas maduras	–	0.65 – 0.90	0.75 – 1.30	
Boniato, camote	–	0.85	2.15 – 3.15	
Rábanos con hojas	1.59 – 1.89	2.11 – 2.30	7.67 – 8.50	
Rábanos sin hojas	0.59 – 0.63	0.85 – 0.89	3.04 – 3.59	
Ruibarbo con hojas	0.89 – 1.44	1.19 – 2.0	3.41 – 4.97	
Espinacas	2.10 – 2.45	3.95 – 5.60	18.45 – 19.00	
Calabacitas, amarillas	1.30 – 1.41	1.55 – 2.04	8.23 – 9.97	
Jitomates, frescos maduros	–	0.55	3.10	
Jitomates maduros	0.50	0.65	2.8	

Nabos	0.95	1.10	2.65	
Legumbres mixtas	2.0	–	–	
MISCELÁNEOS				
Caviar en cubeta	–	–	1.91	
Queso americano	–	–	2.34	
Camembert	–	–	2.46	
Limburger	–	–	2.46	
Roquefort	–	–	–	@ 45°2.0
Suizo	–	–	2.33	
Flores, cortadas	0.24 Btu/24 h/pie^2 de área de piso			
Miel	–	0.71	–	@ 35°0.75
Lúpulo	–	–	–	@ 50°0.75
Malta	–	–	–	
Azúcar de maple o arce	–	–	–	@ 45°0.71
Jarabe o miel de maple o arce	–	–	–	@ 45°0.71
Nueces	0.074	0.185	0.37	
Nueces secas	–	–	–	@ 35°0.50

Notas: Todas las frutas y legumbres están vivas y ceden calor en almacenamiento: Si no se conoce el calor por respiración, deberá utilizarse un valor aproximado o promedio. Para Btu/24 h/ton/ºF multiplique por 2000.

Figura 2.51. Calor por respiración

2.11.2.5.4. Carga por calor sensible debajo del punto de congelación

Una vez congelado el contenido de agua de un producto, puede haber enfriamiento sensible de nuevo, de la misma manera que la congelación, excepto que el hielo dentro del producto hace que cambie el calor específico. Por ejemplo, nótese que el calor específico de la ternera, arriba del punto de congelación, es 0.71 en tanto que su calor específico, por debajo del punto de congelación, es 0.39.

El calor que debe eliminarse de un producto para reducir su temperatura por debajo del punto de congelación se calcula como sigue:

$$Q = W \times C_i \times (T_f - T_3)$$

Donde

Q = Btu a eliminar

W = peso del producto en libras

C = calor específico por debajo del punto de congelación

T_f = temperatura de congelación

T_3 = temperatura final

Ejemplo

Calcular el calor a eliminar a fin de enfriar 1000 lb de ternera de 29 a 0 ºF.

Solución

$Q = W \times C_i \times (T_f - T_3)$

Q = 1000 lb x 0.39 calor específico x (29ºF – 0ºF)

Q = 1000 x 0.39 x 29

Q = 11,310 Btu

La carga total del producto es la suma de los cálculos individuales de calor sensible por encima del punto de congelación, del calor latente de congelación, y del calor sensible por debajo del punto de congelación. En el ejemplo anterior, de 1000 lb de ternera enfriadas y congeladas de 42 ºF a 0 ºF, la carga total del producto sería:

Calor sensible por encima de congelación =	9,230 Btu
Calor latente de congelación =	91,000 Btu
Calor sensible por debajo del punto de congelación =	11,310 Btu
Carga total del producto =	111,540 Btu

Si se deben considerar varios productos, deberán efectuarse cálculos por separado para cada uno de ellos a fin de hacer una estimación precisa de la carga total del producto. Se advierte que en todos los cálculos arriba citados no se toma en consideración el factor tiempo, ya sea para la reducción inicial de temperatura o durante su estancia en almacenamiento.

2.11.2.6. Cargas complementarias

En el estimado total de la carga de enfriamiento debe incluirse también la ganancia de calor por otras fuentes. Algunos ejemplos son:

- Energía eléctrica disipada en el espacio refrigerado por luces y calentadores (como la descongelación) convertida a calor. Un watt de energía eléctrica es igual a 3.41 Btu.

- En cuanto a un motor eléctrico dentro del espacio refrigerado, la Figura 2.52 concede las Btu/h aproximados.

HP del motor	Btu/h
1/6	710
1/4	1,000
1/3	1,290
1/2	1,820
3/4	2,680
1	3,220
1½	4,770
2	6,380
3	9,450
5	15,600

Figura 2.52. Btu/h para motores dentro del espacio refrigerado

- Respecto a personas que trabajan en un interior refrigerado, se tiene un valor de 1,300 Btu/h.

La carga total complementaria es la suma de los factores individuales que contribuyen a la misma.

Ejemplo

La carga total complementaria, en un cuarto de almacenamiento refrigerado mantenido a 0℉, donde existan 300 W de luz eléctri ca, un motor de 3 Hp impulsando un ventilador y dos personas que trabajan de manera continua, sería como sigue:

300 W x 3.41 Btu/h =	*1,023 Btu/h*
Motor de 3 Hp =	*9,450 Btu/h*
2 personas x 1,300 Btu/h =	*2,600 Btu/h*
Carga total suplementaria =	*13,073 Btu/h*

2.11.2.7. Carga horaria total

Para aparatos de refrigeración producidos en masa, la carga generalmente la especifica el fabricante. El equipo de refrigeración se preselecciona y puede estar ya instalado en el aparato.

Si es necesario estimarla, la carga esperada deberá calcularse determinando la ganancia de calor debido a cada uno de los factores que contribuyen a la carga total. Los procedimientos más precisos utilizan para ello formularios y datos disponibles del fabricante mismo, también se considera por separado cada uno de los factores.

El equipo de refrigeración está diseñado para operar de manera continua, y normalmente el tiempo de operación del compresor queda definido por las necesidades del sistema de descongelación. La carga se calcula con base en un periodo de 24 h y la capacidad horaria requerida del compresor se determina dividiendo la carga de 24 h entre el número deseado de horas de operación del compresor en dicho periodo de 24 h. Debe incluirse un factor de seguridad razonable para permitir que la unidad pueda recuperarse con rapidez después de una elevación de temperatura, y poder hacer frente a cualquier carga mayor a la originalmente estimada.

En aquellos casos en que la temperatura de evaporación del refrigerante no baje de 30 ℉, no se acumulará escarcha sobre el evapora dor, no siendo necesario un periodo de descongelación. El compresor en estos tipos de aplicaciones se seleccionará con base en un periodo de operación de 18 a 20 h.

Para aplicaciones con temperaturas de almacenamiento de 35℉ o superiores, y temperaturas de refrigerante lo suficientemente bajas como para causar escarcha, es práctica común descongelar parando el compresor y permitir que el área de retorno descongele el hielo del serpentín. Los compresores para este tipo de aplicación deberán seleccionarse para periodos de operación entre 16 y 18 horas.

En aplicaciones a baja temperatura, debe proveerse algún medio integrado de descongelación. Con periodos de descongelación normales, por lo común es aceptable una operación de 18 h del compresor, aunque algunos sistemas se diseñan para operación continua, excepto durante el periodo de descongelación.

Para asegurarse que el equipo no resultaría pequeño, como una medida conservadora, a menudo se agrega un factor de seguridad adicional del 5 al 10% a los cálculos de la carga. Cuando los datos que se refieren a la carga de refrigeración no son muy seguros, este procedimiento puede ser deseable. Sin embargo, el compresor es dimensionado en función a una operación de 16 a 18 h y ello proporciona un factor de seguridad suficiente. La carga deberá ser calculada según la demanda pico en condiciones de diseño. Por lo general, las condiciones de diseño se seleccionan de acuerdo con la hipótesis de que la demanda pico no ocurrirá en más del 1% del tiempo durante el verano.

2.11.3. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Para seleccionar el equipo es importante conocer la siguiente información:

1. Carga diaria de enfriamiento.
2. Tiempo de operación de compresores (horas por día).
3. Carga horaria de enfriamiento, en Btu/h.
4. Temperatura del recinto refrigerado.
5. Humedad relativa del recinto refrigerado (% de RH).
6. Diferencial de temperaturas de operación del serpentín *(TD* = temperatura del recinto - temperatura de evaporación).
7. Temperatura del evaporador.

8. Caída de temperatura en la tubería de succión debido a pérdida de presión entre serpentín y compresor (Para sistemas de refrigeración cuya temperatura de diseño sea mayor a 32 ºF se considerará una pérdida de 2º F en la tubería. Para sistemas de refrigeración cuya temperatura de diseño sea menor a 32 ºF se considerará una pérdida de 3º F en la tubería.).
9. Temperatura de condensación del compresor, incluyendo la caída de temperatura tubería de descarga hacia el condensador remoto.
10. Tamaño de serpentines y compresores disponibles.

Las tablas siguientes son útiles para determinar las condiciones de operación requeridas del compresor y del evaporador.

a. Condiciones de temperatura y humedad de almacenamiento para diversos alimentos (Figura 2.53). Registre las clases de humedad para alimentos.
b. Diferencias de temperatura en el serpentín para cuatro clases de alimentos (Figura 2.54).
c. Tiempo de operación del compresor, que se muestra en la Figura 55.

Producto	Almacenamiento a corto plazo		Almacenamiento de 24 a 72 h	
	ºF	Humedad	ºF	Humedad
Legumbres	36 – 42	Clase 2	32 – 36	Clase 1
Frutas	36 – 42	Clase 2	32 – 36	Clase 2
Carnes (cortadas)	34 – 38	Clase 2	32 – 36	Clase 2
Carnes (en canal)	34 – 38	Clase 3	32 – 36	Clase 3
Aves	32 – 36	Clase 2	30 – 35	Clase 1 – 2‡
Pescados	35 – 40	Clase 1	35 – 40	Clase 1
Huevos	36 – 42	Clase 2	31 – 35	Clase 1
Mantequilla y queso	38 – 45	Clase 1*	35 – 40	Clase 2 – 3†
Refrescos embotellados	35 – 45	Clase 4	40 – 45	Clase 4
Alimentos congelados		–	0	Clase 2

ASRAE 1959 Data Book y ASHRAE 1962 Guide and Data book. Reproducidos con permiso.

*Si no está errcacado. †Si está empacado. ‡Congele y mantenga a 0°o inferior si se va a conservar más de 72 horas.

Figura 2.53. Temperatura de almacenamiento y condiciones de humedad para diversos productos alimenticios.

CLASES DE ALIMENTOS

Clase 1. Productos tales como huevos, mantequilla y queso sin empacar y la mayor parte de las legumbres conservadas durante periodos comparativamente largos. Estos productos requieren una humedad relativa muy alta, ya que durante el almacenamiento es necesario que ocurra un mínimo de evaporación de la humedad.

Clase 2. Alimentos tales como cortes de carne, frutas y productos similares. Estos requieren humedades relativas altas, pero no tan altas como los de clase 1.

Clase 3. Las carnes en canal y frutas, como melones, con piel o con envoltura resistente. Estos productos sólo necesitan humedades relativas moderadas porque tienen superficies cuya tasa de evaporación de humedad es moderada.

Clase 4. Productos enlatados, embotellados y otros productos, con un recubrimiento protector. Productos que sólo necesitan humedades relativas bajas o que no son afectados por la humedad. Los productos cuya superficie tiene una tasa muy baja de evaporación de humedad, o ninguna, entran en esta clase.

Tipos de Serpentines	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Serpentines de aire forzado	6 – 9℉	9 – 12℉	12 – 2 0℉	Por encima de 20℉
Serpentines por gravedad	14 – 18ºF	18 – 22℉	21 – 28℉	27 – 37℉

La diferencia de temperatura se define como la temperatura promedio del aparato, menos la temperatura promedio del refrigerante.

Figura 2.54. Diferencias de temperatura entre el serpentín del evaporador y el recinto, para diversos tipos de productos alimenticios.

Temperatura del recinto ºF	Temperatura del evaporador ºF	Descongelación		Tipo de operación del compresor en horas	Humedad relativa %	Diferencial de temperatura ºF
		Tipo	Núm./24h			
Por encima de 35	Por encima de 30	Ninguno	–	18 – 20 y más	90	8 – 10
35 y más		Ambiente	4	16	85	10 – 12
35 a 25	Debajo de 30	Electricidad por gases calientes	4	18 – (20*)	80 75	12 – 15 16 – 20
10 y menos			6	(18') – 20	–	8 – 10

*Tiempo preferencial de operación del compresor.

Figura 2.55. Tiempo de operación del compresor según varias temperaturas de recinto para almacenamiento de alimentos. (Cortesía de Dunham-Bush, Inc.)

2.11.4. CÁLCULO DE EJEMPLO

Calcular la carga y seleccionar el equipo para un enfriador de cabina, con las especificaciones siguientes:

Localización:	Atlanta, Georgia.
Humedad relativa:	50%
Uso del recinto:	Almacenamiento de legumbres mixtas.
Calor específico legumbres:	0,9
Dimensiones exteriores:	12 x 14 x 9 pies.
Temperatura del cuarto:	35 ºF.
Aislamiento:	3 pulg de poliestireno moldeado.
Carga total del producto en el cuarto:	8.000 lb.
Entregas diarias:	2.000 lb pre-enfriadas a 45 ºF.
Recipiente del producto:	Cartones de papel (200 b).
Calor específico recipiente:	0,32

Antes de calcular la carga total, se deben tomar las siguientes consideraciones:

Temperaturas de Diseño:

Te, Temperatura exterior, Atlanta, Georgia (Figura 2.48)	92ºF
Ti, Temperatura interior de diseño	35ºF
Td, Diferencia de temp. (Td = Te – Ti)	57ºF
Humedad relativa	50%

Dimensiones de la habitación:

Exteriores:	
Largo	14 pies
Ancho	12 pies
Altura	9 pies
Área total de la habitación	804 pies^2
Espesor de paredes	5 pulg

Puerta	7 pies x 4 pies
Interiores = Dimensiones exteriores – espesor de pared:	
Largo	13,6 pies
Ancho	11,6 pies
Altura	8,6 pies
Volumen interior	1356,7 pie^3
Área del piso: 13,6 pies x 11,6 pies	143 pie^2

Ganancia total de calor por aislamiento en 24h [Btu/24h/pie^2]:

Tipo	Poliestireno moldeado
Espesor	3 pulg
Conductividad (k), (Figura 2.41)	0,24
Coeficiente de transferencia de calor (U)	0,08
U=k/Espesor	
Ganancia total por aislamiento (Gta)	109,44 [Btu/24h/pie^2]
Gta = U x Td x 24h	

Datos y clase de los productos:

Tipo de producto	Mezcla de legumbres
Cantidad de almacenamiento	8.000 lb
Carga diaria	2.000 lb
Congelación o enfriamiento	Enfriamiento
Temperatura al ingresar	45ºF
Temperatura final	35ºF
Calor específico (arriba de congelación)	0,9
Calor por respiración (Figura 2.51)	2,0 [Btu/lb/24h]

Datos para el evaporador:

Los alimentos a almacenar se clasifican en 4 clases dependiendo de su naturaleza, humedad relativa y tiempo de almacenamiento (Figura 2.53).

En este ejemplo se tienen legumbres para almacenamiento a corto plazo a una temperatura de 35ºF, lo que lo clasifica como de clase 2

Para la selección de la diferencia de temperatura del evaporador se debe tomar en consideración el tipo de serpentín, que en este caso deberá ser el serpentín de aire forzado y la diferencia de temperatura del serpentín (Figura 2.54). Por facilidad en el manejo de tablas, se escogerá una diferencia de temperatura del evaporador de 10ºF (este dato servirá en el manejo del Anexo 10 o Anexo 11).

Tiempo de operación del compresor:

Para aplicaciones con temperaturas de 35ºF o superiores se recomienda que el periodo de operación esté entre 16h a 18h, y el tiempo restante se lo utilice en eventuales periodos de descongelamiento. Para este ejemplo se tomará un periodo de trabajo de 16h (Figura 2.55).

Datos de recipientes y contenedores:

Tipo de material	Cartones de papel
Peso total	20 lb
Calor específico	0,32

Cálculos de carga:

Carga por aislamiento:

Área total de la habitación	804 pie^2
Ganancia total por aislamiento (Gta)	109,44 [Btu/24h/pie^2]
804 pie^2 x 109,44 [Btu/24h/pie^2]	**87989,8 [Btu/24h]**

Carga por infiltración de aire:

Volumen interior	1.356,7 pie^3
Cambios de aire por 24h (Figura 2.49)	17,5
Factor de servicio (Figura 2.50)	2,49 Btu/pie^3
1.356,7 pie^3 x 17,5 x 2,49 btu/pie^3	**59.118,2 [Btu/24h]**

Carga por producto:

Libras por día	2.000 lb/día
Reducción de temperatura	10ºF
Calor específico	0,9
2.000 lb/día x 10ºF x 0,9	**18.000 [Btu/24h]**

Carga por respiración del producto:

Almacenamiento total	8.000 lb
Calor por respiración	2,0 [Btu/lb/24h]
8.000 lb x 2,0 [Btu/lb/24h]	**16.000 [Btu/24h]**

Carga por recipientes:

Recipientes por día	200 lb/día
Reducción de temperatura	10ºF
Calor específico del recipiente	0,32
200 lb/día x 10ºF x 0,32	**640 [Btu/24h]**

Estimación de carga del ventilador del evaporador:

Cantidad	1
Potencia	1/6 HP
Carga por hora (Figura 2.52)	710 [Btu/h]
Carga por día (710 Btu/h x 24)	17.040 [Btu/24h]
Carga total	198.788 [Btu/24h]
Factor de seguridad 10%	19.878,8 [Btu/24h]
TOTAL	**218.666,8 [Btu/24h]**

Carga Horaria Real:

Como el equipo no funcionará las 24h, sino solamente 16h, entonces la carga total por día se la deberá dividir para 16 y se tendrá la carga horaria real

Carga TOTAL	218.666,8 [Btu/24h]
Horas de funcionamiento	16 h
218.666,8 [Btu/24h] / 16h	**13.666,7 [Btu/h]**

Selección del Evaporador:

Diferencia de temperatura del evaporador	10ºF
Carga Horaria Real	13.666,7 [Btu/h]
Enfriamiento o Congelación	Enfriamiento (Anexo 10)

Con la información anterior se puede escoger del Anexo 10 el modelo WJ 150 (revísese sus características en el Anexo 10).

Selección de la Unidad de Condensación:

Temperatura de la habitación	35ºF
Diferencial de temperatura del evaporador	10ºF
Pérdida de temperatura en tubería	2ºF
Temperatura de succión del compresor	23ºF
35ºF – 10ºF – 2ºF	
Carga Horaria Real	**13.666,7 [Btu/h]**

Tomando en cuenta la temperatura de succión del compresor y la carga horaria real se puede referir al Anexo 12 y determinar la potencia del compresor en HP.

De esta manera se seleccionará una unidad de condensación de 1½ HP de 60 Hz.

Concluyendo de esta manera la construcción del Módulo Didáctico de Refrigeración, en el siguiente capítulo se explicará el modo de uso, las pruebas realizadas para la puesta a punto y el mantenimiento que se debería realizar.

CAPÍTULO 3.
PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. INSTRUCCIONES DE SERVICIO

El funcionamiento Normal del Módulo Didáctico de Refrigeración consiste en mostrar el comportamiento del refrigerante dentro del ciclo, éste responde al Esquema Básico que se implementa en la refrigeración doméstica e industrial y aire acondicionado que se muestra a continuación en la Figura 3.1.

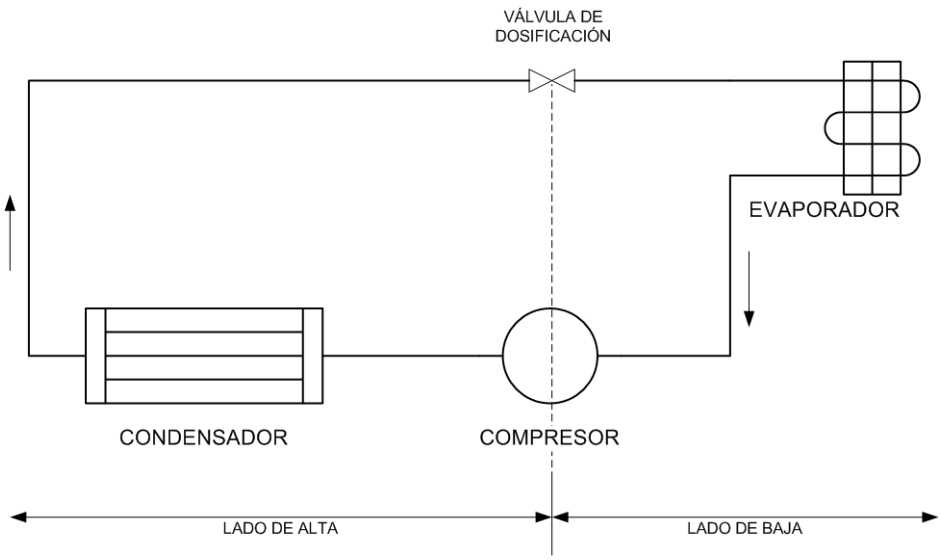


Figura 3.1. Esquema básico del Sistema de Refrigeración

El Módulo Didáctico de Refrigeración implementado cuenta con algunos accesorios como válvulas, visores, controles y accesorios que lo complementan, la Figura 3.2 lo muestra.

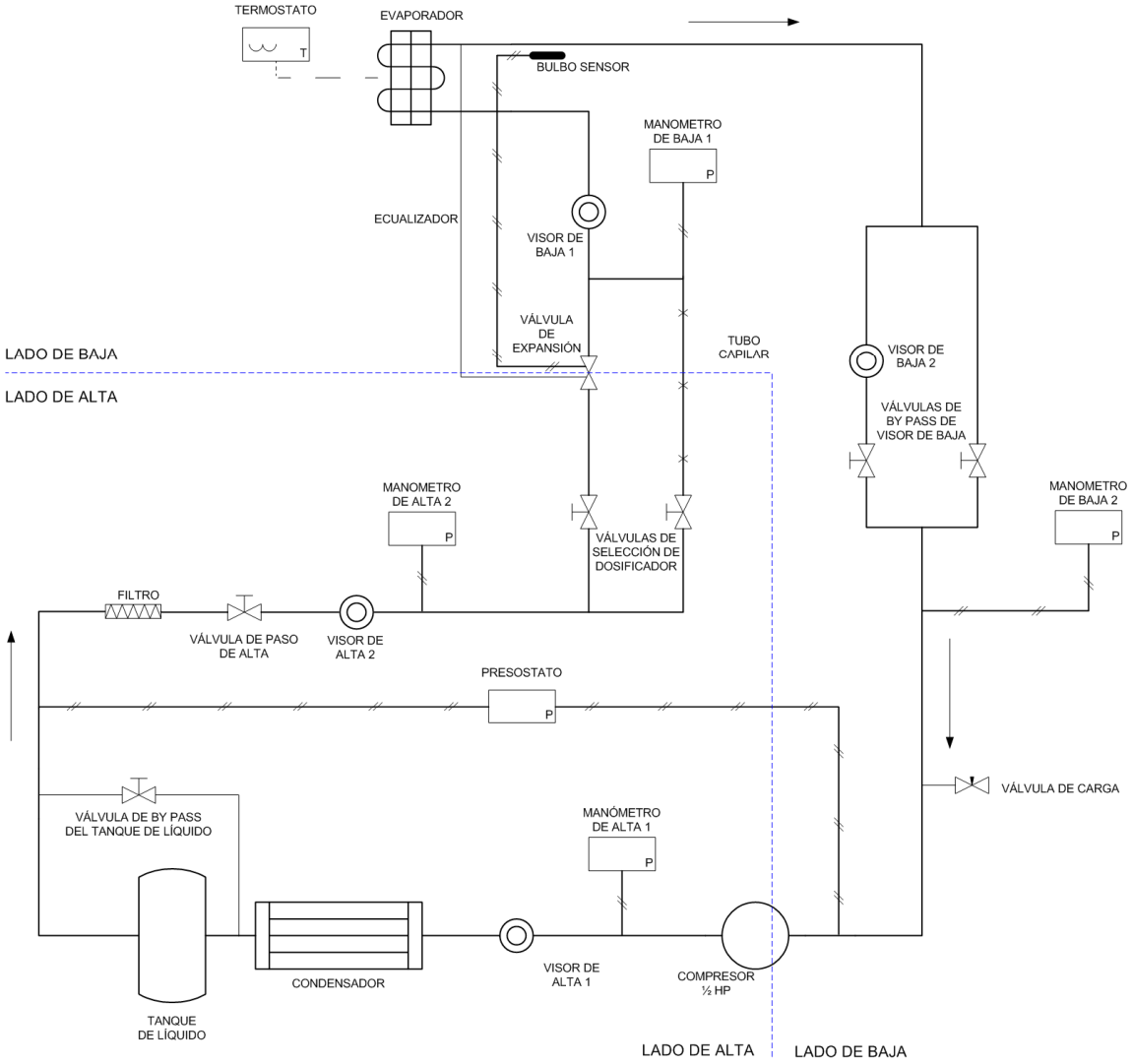


Figura 3.2 Módulo Didáctico Implementado

Para poner en marcha el Módulo Didáctico se deben seguir los siguientes pasos:

1. Despejar el área circundante para permitir tener una adecuada circulación de aire tanto en el evaporador y en el condensador.
2. Encender el Módulo mediante la Perilla “Encendido” en el panel de control. En esta posición arrancaran los ventiladores del evaporador y entran en funcionamiento las señales de alarma, como son: Baja Presión, Alta Presión y se enciende el termostato.
3. Para un funcionamiento normal, se debe verificar la apertura y cierre adecuados de las diferentes válvulas como se indican a continuación:

- Cerrar la Válvula de By pass. Esto garantiza que el acumulador de líquidos esté dentro del ciclo y asegure el estado líquido del refrigerante en el lado de alta.
- Abrir Válvula de Paso de Alta.
- Escoger el método de dosificación (válvula de expansión o tubo capilar). Es importante que sólo se abra una de las dos válvulas para un correcto funcionamiento, NO las dos.
- La habilitación del visor de baja 2 es opcional mediante las válvulas asociadas con él, lo importante es que por lo menos una de ellas se encuentre abierta.

4. Encender el Compresor mediante su respectiva perilla en el Panel de Control (Figura 3.3).

Figura 3.3. Panel de Control

Después de esta serie de procedimientos se tendrá en funcionamiento al Módulo Didáctico de Refrigeración, cuyo ciclo se estabilizará después de aproximadamente unos 5 minutos

3.1.1. DOSIFICADOR DE REFRIGERANTE:

El lado de baja y el de alta en un sistema de refrigeración están divididos por: el compresor, que lleva al refrigerante del lado de baja al de alta, elevando tanto su temperatura como su presión. A su vez, para llevar el refrigerante del lado de alta al de baja se utiliza una válvula dosificadora de refrigerante. En el Módulo Didáctico de Refrigeración se ha optado por la utilización de dos tipos de válvulas para esta función como son: el Tubo Capilar “Orificio” y la Válvula de Expansión. La selección del método de dosificación se la realiza por medio de las válvulas de selección de dosificador, las cuales, en el módulo, no deben funcionar de forma simultánea.

3.1.1.1. Tubo Capilar “Orificio”

Figura 3.4. Dosificador: Tubo Capilar

El tubo capilar es muy usado en la refrigeración doméstica. Se trata de una obstrucción dentro de la tubería de alta que impide el paso de refrigerante líquido. Convierte al refrigerante líquido en una mezcla de 75% de líquido y 25% de gas denominada “Gas flash”. De esta forma y en la cantidad adecuada ingresa al Evaporador, la Figura 3.4 muestra la sección de tubo capilar utilizada en el MDR.

3.1.1.2. Válvula de Expansión.

Esta es la válvula de dosificación más popular en los sistemas de refrigeración industriales. Se la especifica según el refrigerante a ser usado (R-22 en el caso del MDR) y según la capacidad de la unidad de refrigeración. Al entrar en funcionamiento entra también la función del bulbo sensor de temperatura y la tubería del ecualizador, los que llevan la información de temperatura y presión de salida del evaporador(Figuras 3.5 y 3.6).

Figura 3.5. Dosificador: Válvula de Expansión

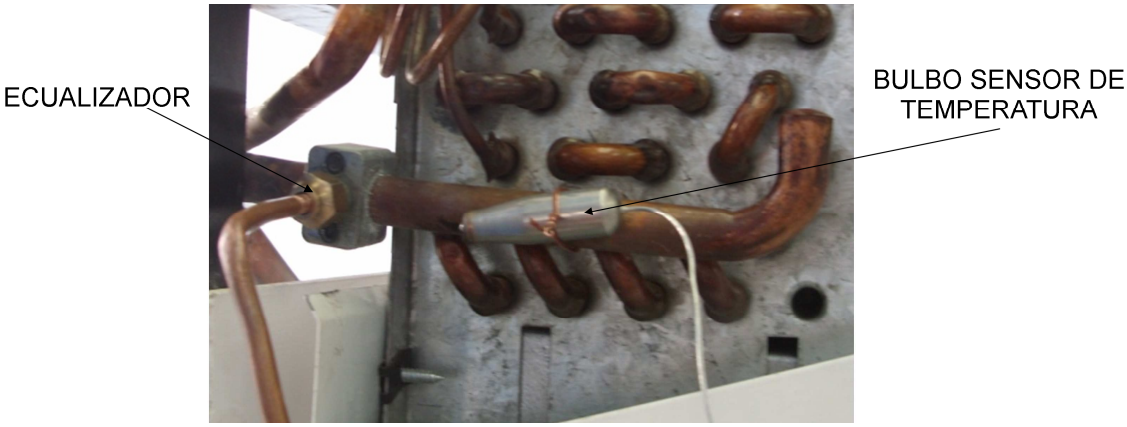


Figura 3.6. Señales de realimentación de la Válvula de expansión

3.1.2. PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES:

Para que el Compresor entre en funcionamiento, se necesita cumplir todas estas condiciones:

- Que el usuario lo haya encendido
- Que el evaporador esté dentro del rango de temperatura adecuado
- Que las presiones estén dentro de los márgenes de funcionamiento:

Adicionalmente la unidad de Refrigeración está equipada con un sistema propio contra sobrecorrientes, pero en el uso normal del Módulo, éste no debe entrar a funcionar.

Resulta importante conocer el modo de programación de los controladores utilizados:

3.1.2.1. Termostato

El Termostato al que se ha recurrido es el EKC 101 de la marca DANFOSS con una sonda de temperatura PTC 1000. Éste es un controlador muy usado en la industria y sirve para aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y calefacción (Figura 3.7).

Fig. 3.7. Termostato Danfoss EKC 101

Mediante este controlador se puede verificar la temperatura de la cámara a ser controlada. En el caso del Módulo, que no cuenta con un ambiente a controlar, se supervisa la temperatura del evaporador.

El manual completo del Termostato se encuentra en el Anexo 13, sin embargo aquí se presentan 3 de las actividades más comunes:

1. Configurar temperatura del evaporador; es decir, la temperatura a la que se desea que descienda. En cuanto el evaporador llegue a esta temperatura, el termostato apagará al compresor, y lo volverá a encender cuando la temperatura supere la "temperatura del evaporador configurada" más el "diferencial de temperatura" (Figura 3.8).

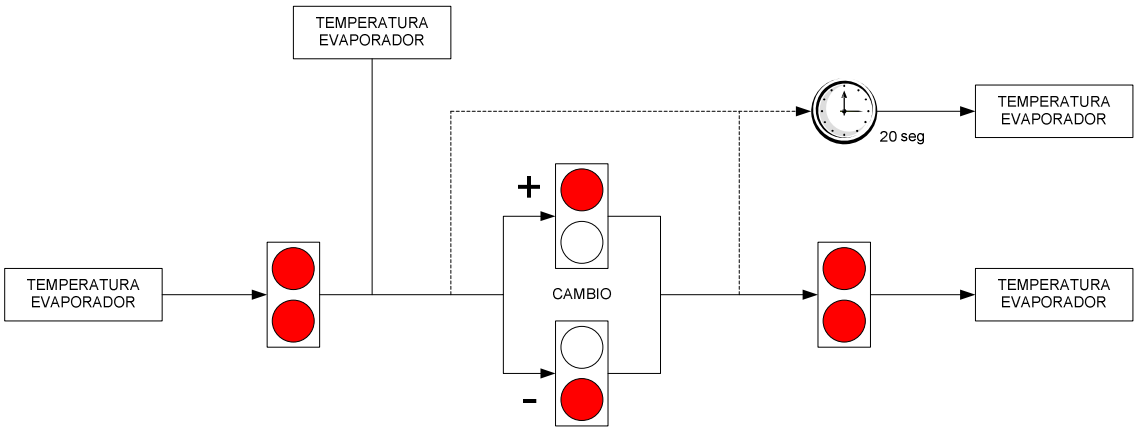


Figura 3.8. Lectura o cambio del ajuste de temperatura del Evaporador

2. En la Figura 3.9. se muestra el procedimiento para arrancar o apagar de forma manual al Compresor.

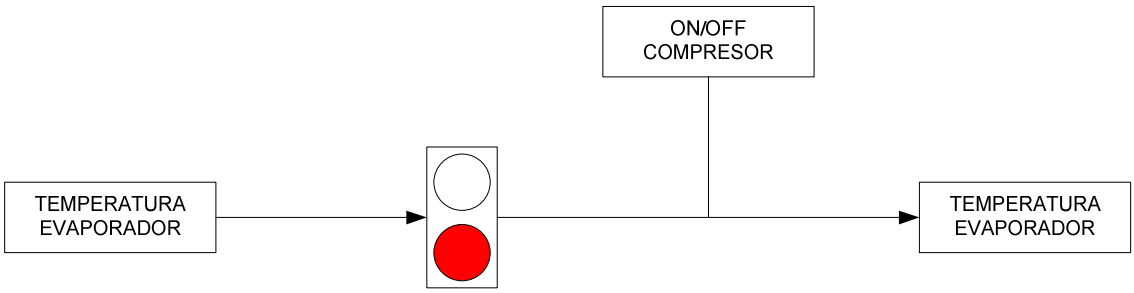


Figura 3.9. Encendido o apagado manual del compresor

3. El sensor asociado al Termostato es un PTC 1000, pero puede presentar un error de hasta ±3,5ºK para corregir este error. En la Figura 3.10 se

presenta los pasos mediante los cuales se puede corregir el valor de temperatura.

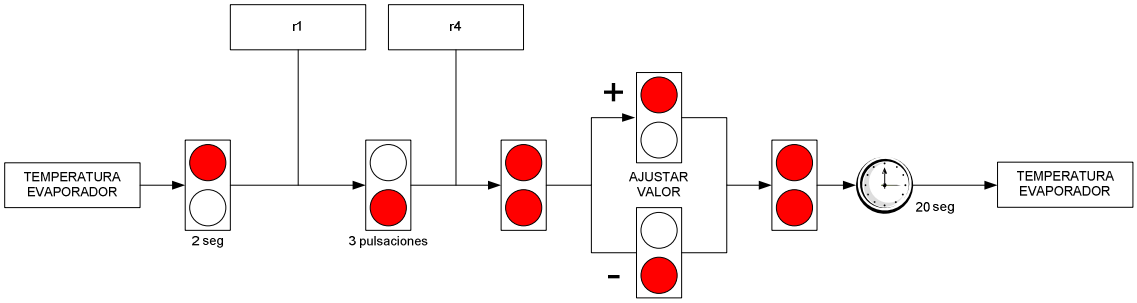


Figura 3.10. Calibración de la señal del sensor

La Figura 3.11 muestra los distintos parámetros que se pueden manejar por medio del Presostato.

Ajustes y lecturas de parámetros del controlador

Códigos: 084B7020, SW = 3.0x., 084B7021, SW = 3.0x

Parámetros de ajuste y lectura		**Código**	**Valor min.**	**Valor máx.**	**Ajuste de fábrica**	**Ajuste actual**
Temperatura del regulador, temperatura de referencia de corte			-60(0)℃	50(99)℃	0℃	
Termostato						
Ajuste del diferencial de temperatura 1)		r1	1 K	20 K	2 K	
Bloqueo superior de la referencia		r2	-59(1)℃	50(99)℃	50℃	
Bloqueo inferior de la referencia		r3	-60(0)℃	49(99)℃	-60℃	
Calibración de la sonda de temperatura		r4	-20 K	20 K	0.0 K	
Unidades de temperatura (℃/℉) (084B7021)		r5	-	-	℃	
Compresor						
Tiempo de marcha mínimo del compresor		c1	0 min	15 min	0 min	
Tiempo de parada mínimo del compresor		c2	0 min	15 min	0 min	
Funcionamiento en % compresor en caso de fallo de la sonda de Temp.. 2)		c3	0 %	99 %	0 %	
Desecarche						
Temperatura de fi de desescarche		d2	0℃	25℃/OFF	OF F	
Intervalo de tiempo entre arranques de desescarches		d3	OFF	48 hour	8 hour	
Máximo tiempo de desescarche		d4	0 min	99 min	45 min	
Retardo en visualizar la Temp.. despues de terminar el desescarche		d5	0 min	15 min	0 min	
Desescarche al arrancar	084B7020	d6	ON	99 min	OFF	
	084B7021		ON	240 min	OFF	
Otros						
Retardo de la señal de salida después de un arranque		o1	0 min	15 min	0 min	
Código de acceso		o5	OFF	99	OFF	
Sensor utilizado tipo (Pt/Ptc) (084B7021)		o6	-	-	Ptc	
Refrigeración o calefacción (rE=refrigeración, HE = calefacción)		o7	rE	HE	rE	
Códigos de fallos en pantalla						
Fallo en el regulador		Er				
Sensor de cámara desconectado		Er				
Sensor de cámara cortocircuitado		Er				

( ) Los valores entre paréntesis, solo cuando esta ajustado en calor o7=HE

1) Refrigeración (o7 = rE): El relé cierra cuando la temperatura de la cámara es mayor que el valor de corte más el diferencial
Calefacción (o7 = HE): El relé cierra cuando la temperatura de la cámara cae por debajo del valor ajustado menos el diferencial.
2) El controlador utilizará este valor después del arranque y durante tres días y noches. Después de este tiempo, el controlador es capaz de calcular el valor promedio de los tiempos de marcha y parada.

Figura 3.11. Parámetros de ajuste y lectura del presostato.

3.1.2.2. Presostato

El Presostato (Figura 3.12) controla que las presiones del sistema se encuentren dentro de los rangos adecuados de funcionamiento, los fuelles están conectados directamente al sistema de refrigeración mediante tuberías (tubo capilar). Conforme cambian las presiones dentro del sistema, ocurre lo mismo con la presiones dentro de los fuelles, haciendo que éstos se muevan hacia adentro y hacia afuera, en concordancia con la variación de las presiones.

Figura 3.12. Presostato.

Las señales que toma de presión son las del lado de alta y de baja por medio de dos entradas de presión. La entrada del lado de baja puede abrir un contacto del control eléctrico por baja presión. Para su funcionamiento se ingresa la presión de funcionamiento y una presión diferencial, la cual se resta de la presión de funcionamiento establecida con lo que se obtiene el límite inferior de la presión de funcionamiento en el lado de baja. Para la entrada del lado de alta, solo se

ingresa el valor de presión a la cual el contacto del control eléctrico debe abrirse. El valor de recierre viene preestablecido, es de 4 Bares por debajo del límite de alta presión configurado.

Para configurar los valores de presiones de funcionamiento, el presostato en su parte superior cuenta con tornillos cuya manipulación altera los límites de las presiones de trabajo.

El Presostato cuenta con dos contactos adicionales, los cuales se cierran para comandar dos señales de alarma, por medio de las que se puede apreciar si la presión ha bajado o subido fuera de los rangos de funcionamiento.

3.1.3. SIMULACIÓN DE FALLAS

El Módulo Didáctico de Refrigeración además de mostrar el funcionamiento normal de un sistema de refrigeración y el comportamiento del refrigerante dentro del ciclo de refrigeración, mediante la manipulación de controles y válvulas se puede simular fallas comunes.

3.1.3.1. Falla en el Evaporador.

El funcionamiento del evaporador es fundamental para un sistema de refrigeración, pues éste es el que enfría el espacio a ser acondicionado, pero para esto se necesita del correcto funcionamiento de los ventiladores (Figura 3.8), que son los que hacen el intercambio de temperaturas.

Mediante las perillas: “Evaporador Falla 1” y “Evaporador Falla 2” es posible simular el apagado parcial o completo de los ventiladores del Evaporador. Para simular una falla se puede manipular una de las dos perillas y crear un mal funcionamiento del sistema. Si se activan las dos fallas del evaporador se estará apagando completamente al evaporador, y por lo tanto apagando el compresor y deja de funcionar el Sistema.

Figura 3.8. Ventilador del Evaporador

3.1.3.2. Falla por Presión Fuera de los Límites

3.1.3.2.1. Alta Presión

Si a la salida del Compresor se experimenta una presión mayor a 29 bares, que equivale a 420,6 psi (límite establecido por el fabricante), el compresor sufrirá una sobrecarga por alta presión. Mediante el presostato se ha establecido una presión de apertura de 315 psi aproximadamente para protección del Compresor. En cuanto el lado de alta supere esta presión, el presostato apagará el sistema y dará una señal de alarma en el Panel de Control indicando la falla ocurrida.

Para simular una falla por alta presión se debe contar previamente con un funcionamiento estable del MDR en condiciones de funcionamiento normal, posteriormente se debe cerrar rápidamente la válvula de paso del lado de alta, (Figura 3.9). Al realizar esta acción, la presión a la salida del compresor se elevará pues se ha interrumpido el ciclo, esto se evidencia al verificar la caída de presión en el Manómetro de Alta 2 mientras que el Manómetro de Alta 1 muestra la subida de la presión, misma que en pocos segundos superará el límite establecido en el presostato. El lado de baja, ante la falta de suministro, también bajará notablemente su presión.

Figura 3.9. Válvula de Paso en el lado de Alta

Al abrir nuevamente la válvula de paso en alta se vuelve a cerrar el ciclo, por lo que reconecta al compresor cuando la presión desciende de los 220 psi en el manómetro de alta 2. Después de unos minutos se llegará a un funcionamiento estable.

3.1.3.2.2. Baja Presión

Análogamente, si a la entrada del Compresor la presión es demasiado baja, el compresor puede llegar a trabajar sin carga, aumentando su velocidad y forzando sus condiciones mecánicas. En los datos de placa del compresor no se especifica el límite inferior de funcionamiento, pero en base a las tablas de funcionamiento correspondiente al refrigerante R-22, se determina una presión de apertura de 25 psi que corresponde a una temperatura de -17,5 ºC la misma que nunca se alcanzaría y por lo tanto evidenciará un funcionamiento deficiente.

Nuevamente se debe esperar a un funcionamiento estable del MDR en condiciones de operación normal, antes de simular una falla por baja presión, entonces se procederá a cerrar las dos válvulas de visor (Figura 3.10). La presión del Manómetro de Baja 2 (entrada del compresor) caerá rápidamente hasta llegar

a los 25 psi, momento en el cual el presostato apagará al compresor y mostrará en el panel de control la señal de alarma por baja presión.

Figura 3.10. Válvulas que permiten el paso por el Visor de Baja 2

Para volver a las condiciones normales de funcionamiento después de una falla de baja presión, se debe abrir una de las dos válvulas de visor. Cuando la presión supera los 45 psi (correspondiente a -5ºC) aproximadamente, el presostato reconecta el sistema y después de un tiempo de espera se tendrá condiciones normales de funcionamiento.

3.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN

A continuación se presentan valores obtenidos durante pruebas de funcionamiento.

3.1.4.1. Funcionamiento con Válvula de Expansión

Condiciones Normales

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	280 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	260 psi	
Manómetro de Baja 1	79 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	75 psi	
Termostato	7,1 ºC	
Temperatura ambiente	21 ºC	

Válvula de By pass abierta

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	280 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	258 psi	
Manómetro de Baja 1	78 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	75 psi	
Termostato	7,1 ºC	
Temperatura ambiente	21 ºC	

Evaporador a 2/3

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	265 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	245 psi	
Manómetro de Baja 1	69 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	66 psi	
Termostato	5,8 ºC	
Temperatura ambiente	21 ºC	

Evaporador a 1/3

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	225 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	206 psi	
Manómetro de Baja 1	53 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	50 psi	
Termostato	3,2 ºC	
Temperatura ambiente	20 ºC	

Evaporador a 2/3

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	265 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	245 psi	
Manómetro de Baja 1	69 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	66 psi	
Termostato	5,8 ºC	
Temperatura ambiente	21 ºC	

3.1.4.2. Funcionamiento con Tubo Capilar

Condiciones Normales

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	265 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	245 psi	
Manómetro de Baja 1	74 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	71 psi	
Termostato	4,8 ºC	
Temperatura ambiente	19,8 ºC	

Válvula de By pass abierta

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	225 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	210 psi	
Manómetro de Baja 1	55 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	52 psi	
Termostato	4,1 ºC	
Temperatura ambiente	20 ºC	

Evaporador a 2/3

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	255 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	241 psi	
Manómetro de Baja 1	70 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	67 psi	
Termostato	3,4 ºC	
Temperatura ambiente	20 ºC	

Evaporador a 1/3

Instrumento	Medida	Observaciones
Manómetro de Alta 1	240 psi	Presión muy poco estable
Manómetro de Alta 2	230 psi	
Manómetro de Baja 1	63 psi	Presión inestable
Manómetro de Baja 2	59 psi	
Termostato	0,4 ºC	
Temperatura ambiente	20,1 ºC	

3.1.4.3. Simulación de Errores de Presión.

Falla por baja presión

Presión de apertura:	25 psi
Presión de recierre:	47 psi

Falla por alta presión

Presión de apertura:	315 psi	
Presiones de recierre	Manómetro de Alta 1:	240 psi
	Manómetro de Alta 2:	230 psi

3.2. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Cualquier equipo mecánico o eléctrico en operación, en algún momento necesitará servicio. El trabajo de reparación necesario para poner al equipo otra vez en orden es una de las funciones importantes. La localización y reparación de averías es el proceso de determinar la causa del mal funcionamiento de un equipo y llevar a cabo las medidas correctivas. Dependiendo del problema, ello puede requerir un alto grado de conocimientos, experiencia y habilidad.

Básicamente existen dos tipos de problemas: (1) eléctricos y (2) mecánicos, aunque hay mucha superposición. Independientemente de la naturaleza del problema, es buena práctica seguir un procedimiento lógico, estructurado y sistemático. De esta manera la solución correcta se encontrará por lo común en el tiempo más corto posible.

3.2.1. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS ELÉCTRICOS

En la preparación para el análisis de problemas eléctricos, es importante saber o reconocer cuatro cosas de importancia:

1. La secuencia de operación de la unidad.
2. Funciones del equipo que está operando y las que no están en operación.
3. Los instrumentos de prueba eléctrica necesarios para analizar el problema.
4. El circuito de energía que alimenta al sistema.

La secuencia de operación por lo general la incluye el fabricante en las instrucciones de servicio o se puede determinarla estudiando el diagrama esquemático del alambrado. Las funciones en operación y no en operación del equipo se determinarán mediante examen y pruebas. Los instrumentos de prueba necesarios incluyen voltímetro, amperímetro de mordazas, el ohmetro y el probador de capacitores.

El primero a examinar es el circuito de energía, en el caso del MDR, éste se presenta en la Figura 3.11. Cabe recordar que antes de proseguir con cualquier otra cosa, se debe estar seguro de que se le puede suministrar energía adecuada a las cargas.

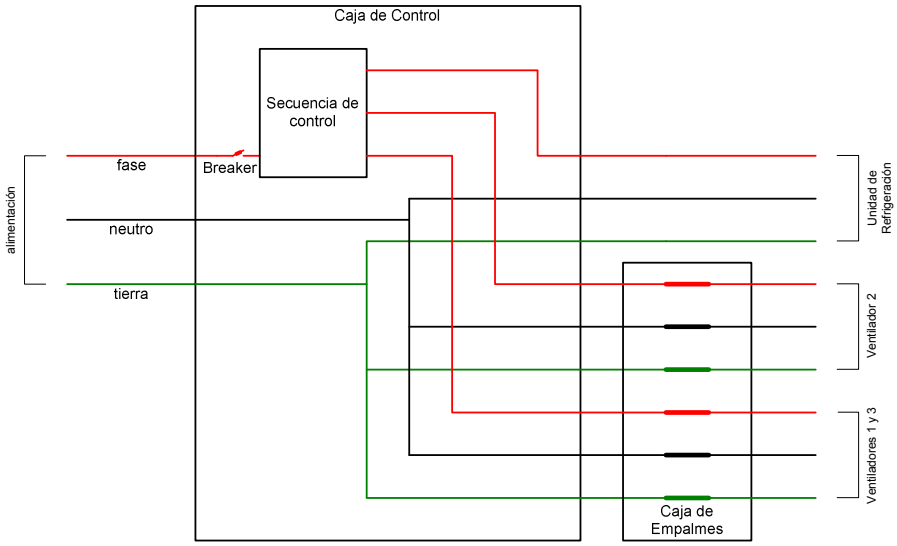


Figura 3.11. Esquema de distribución de Energía

Cada circuito tiene uno o más contactos para arrancar o detener la operación de una carga. Esta operación se conoce como función de control. En la localización y reparación de fallas, cuando no opera una carga, se debe determinar si el problema se encuentra en la carga misma o en los contactos que lo controlan.

Como ayuda en el análisis de problemas en la operación de la unidad, los fabricantes suelen proporcionar uno o más de los siguientes:

1. Diagrama de alambrado
2. Instrucciones de Instalación y Servicio.
3. Tablas para localización y reparación de fallas.
4. Diagrama de eliminación de fallas.
5. Pruebas de diagnóstico.

Los *diagramas de alambrado* generalmente contienen diagramas de conexiones y diagramas esquemáticos como el mostrado en la Figura 3.12. El diagrama de conexiones muestra los alambres que van a las diversas terminales de cada componente eléctrico en su localización aproximada en la unidad, mediante éste se puede determinar puntos de prueba. El diagrama esquemático separa cada uno de los circuitos, para indicar con claridad cual es la función de cada uno de los contactos que controlan cada carga. Mediante éste se determina la secuencia de operación del sistema.

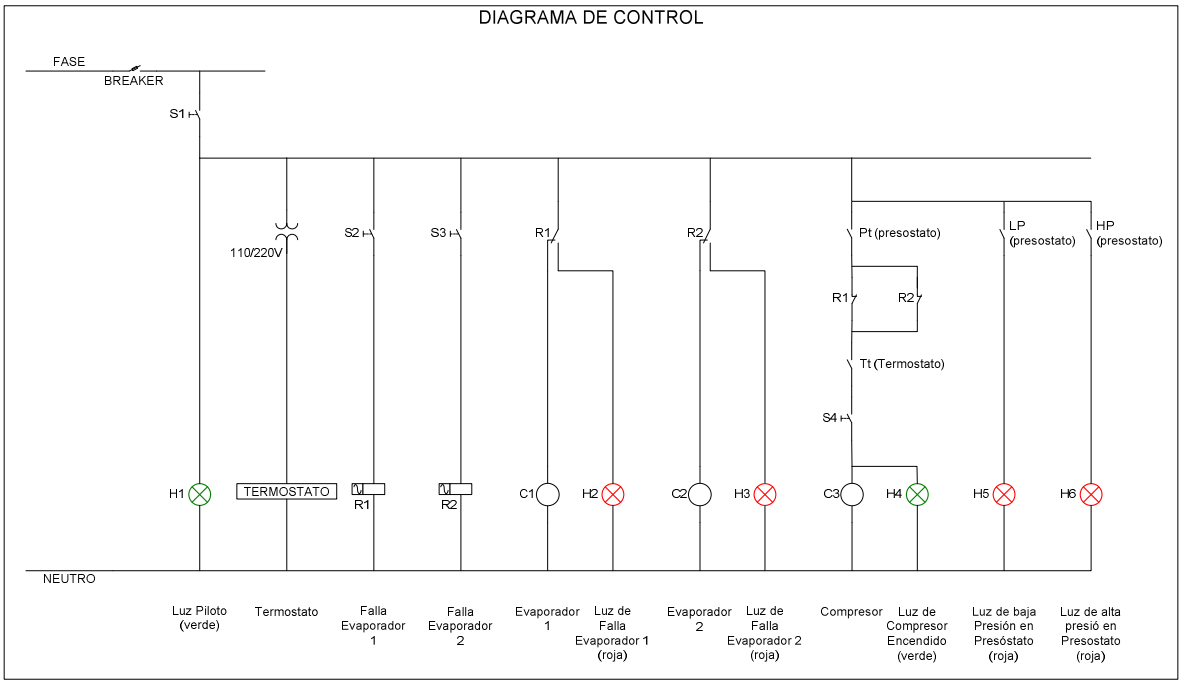


Figura 3.12. Diagrama esquemático del tablero de control del Módulo Didáctico de Refrigeración

Las *instrucciones de instalación y servicio* incluyen una amplia variedad de información que se piensa es necesaria para instalar y darle correctamente servicio a la unidad. Aquí se incluye el diagrama de alambrado, la secuencia de operación y cualquier nota o advertencia que deba ser tomada en cuenta para su uso.

Las *Tablas para la localización y reparación de fallas* son útiles como guía de acciones de corrección. Mediante un proceso de eliminación, estas tablas ofrecen una manera rápida de resolver un problema de servicio.

Un *diagrama de eliminación de fallas* empieza con un síntoma de falla y pasa a través de un proceso lógico de acciones y decisiones, a fin de aislar la falla. Las *pruebas de diagnóstico* pueden ser efectuadas en los tableros de circuito electrónico. En los puntos de revisión de voltajes que el fabricante indique y otra información esencial crítica o vital para la operación de la unidad.

Algunos sistemas electrónicamente controlados tienen características automáticas de prueba, que despliegan un número de código si hay mal funcionamiento dentro de la operación del equipo. Normalmente, a fin de determinar la acción necesaria, se requerirán pruebas adicionales.

El procedimiento para la localización y reparación de fallas eléctricas es:

1. Seleccionar el instrumento de prueba adecuado. Sí la unidad no funciona, pruebe con un óhmetro. Si alguna sección de la unidad funciona, pruebe con un voltímetro.
2. Seleccionar aquellos circuitos que contengan dispositivos eléctricos que no están funcionando.
3. Probar los contactos y las cargas de dicho circuito, hasta determinar cuál es el dispositivo con problema.
4. Reparar o reemplazar el equipo defectuoso.

3.2.2. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS MECÁNICAS DE REFRIGERACIÓN.

El procedimiento más eficiente para la solución de problemas mecánicos en la operación de los sistemas de refrigeración es un procedimiento sistemático, es útil seguir un procedimiento paso a paso. A continuación se dan los pasos:

1. Reunir información en relación con el problema.
   a. Descripción del problema en el momento de recibir la señal de alarma por un mal funcionamiento.
   b. Información directa sobre el problema mediante una entrevista con la persona encargada del sistema.
   c. Conducción de una inspección visual preliminar del sistema desconectado.
   d. Conducción de una inspección preliminar del sistema conectado.
2. Lectura y cálculo de los signos vitales del sistema.
   a. Leer y registrar los signos vitales, incluyendo presiones de succión y descarga, relativos al tipo de refrigerante que se está utilizando.
   b. Estimar el subenfriamiento del líquido refrigerante en el dispositivo de medición.
   c. Determinar si hay sobrecalentamiento de gas refrigerante en el compresor.
3. Comparar valores típicos contra reales.
   a. Determinar los valores típicos en relación con las condiciones y el sistema.
   b. Comparar las condiciones típicas con las reales.
4. Consultar las ayudas de localización y reparación de fallas.
   a. Llevar a cabo un análisis básico del sistema. Utilizando una guía de análisis básico seleccionar problemas posibles en el sistema, en función de la comparación de los cinco valores vitales reales con los típicos que aparecen en la guía mostrada en la Figura 3.13.
   b. Utilizando la información de localización y reparación de fallas del fabricante (Figura 3.14), llevar a cabo un análisis detallado. Eliminar

causas probables del problema mediante pruebas o mediante observación, y seleccionar aquella causa que se adecue a la situación.

Problema en el sistema	Presión de descarga	Presión de la sección	Sobrecalen -tamiento	Subenfria-miento	Amperios
Sobrecarga					
Menos Carga					
Restricción en los líquidos (secador)					
Bajo flujo de aire en el evaporador					
Condensador sucio					
Temperatura ambiente exterior baja					
Compresor Ineficiente					
Carga del bulbo sensor perdida.					
Bulbo sensor montado flojo					
Bulbo sensor con mal aislamiento.					

Figura 3.13. Análisis básico de un sistema

Clase general de problema	Síntomas	Causas posibles
Filtro secador obstruido (línea de líquidos)	➢ Síntomas de evaporador privado de gas. ➢ El compresor se conecta y desconecta por interruptor de baja presión	➢ Sistema de refrigeración sucio ➢ Evacuación deshidratación inadecuadas ➢ Partículas metálicas, escamas, etc., en el sistema, provenientes de la instalación
Filtro secador húmedo	➢ Indicación de humedad mirilla se ve húmeda ➢ Las válvulas se pegan de manera intermitente y el sistema se conecta y desconecta debido a bloqueo interno de hielo ➢ Prueba del tubo sellado de refrigerante muestra humedad	➢ Fuga de refrigerante en el sistema ➢ Evacuación deshidratación inadecuadas ➢ Tubos del condensador enfriado por agua con fuga ➢ Filtro secador expuesto al aire antes de la instalación
Filtro secador subdimensionado	➢ Capacidad baja del sistema ➢ Poco consumo de energía en el compresor (KW) ➢ Temperatura baja de succión saturada ➢ Temperatura baja de condensación saturada ➢ Sobrecalentamiento elevado del gas de descarga	➢ Diseño equivocado en sistemas con tuberías instaladas en campo

	➢ Gas en la mirilla de la tubería de líquidos ➢ Alto subenfriamiento de refrigerante líquido	
Calentador de cárter no funciona	➢ Arranque inundado: Alto consumo de energía en el compresor (KW) Operación ruidosa Excesiva vibración del compresor Sobrecalentamiento del compresor ➢ Espumado violento de aceite (visible en la mirilla del compresor)	➢ Nunca fue conectado ➢ Elemento calefactor roto ➢ Problema en el circuito de control ➢ Energía eléctrica o conexión de control suelta o corroída
Separador de aceite atrapando aceite	➢ Nivel del aceite bajo en la mirilla del compresor ➢ Alto consumo de energía del compresor (KW) ➢ Sobrecalentamiento del compresor ➢ Ruido del compresor	➢ Cienos que bloquean el orificio de la válvula del flotador del separador de aceite ➢ Ensamble del flotador del separador de aceite defectuoso
Válvula de flotador del separador de aceite abierta	➢ Temperatura alta de succión saturada ➢ Temperatura alta de condensación saturada ➢ Alto consumo de energía del compresor (KW) ➢ Arranque inundado	➢ Basuras en el orificio del separador de aceite impiden que la válvula del flotador asiente correctamente ➢ Conjunto de flotador defectuoso ➢ El refrigerante líquido emigra a través del separador hasta el cárter de aceite del compresor al apagarse
Válvula inversora de cuatro vías dañada o bloqueada – enfriamiento	➢ Capacidad baja o nula de enfriamiento ➢ El compresor se conecta y desconecta intermitentemente en sobrecarga interna ➢ El compresor opera pero la capacidad de enfriamiento es baja ➢ Temperatura alta de succión saturada ➢ Temperatura baja de condensación saturada	➢ Cienos en el sistema de refrigeración ➢ Ácidos en el sistema de refrigeración ➢ Evacuación deshidratación inadecuados ➢ Válvula de cuatro vías con fuga interna

Figura 3.14. Gráfica de localización y reparación de fallas para accesorios del ciclo de refrigeración en instalaciones industriales.

Al usar estos pasos para el diagnóstico de la causa de problemas, la respuesta pudiera encontrarse en los dos primeros pasos, eliminando la necesidad de seguir más adelante. Un problema difícil pudiera requerir completar los cuatro pasos.

3.2.3. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN EL COMPRESOR

Es de esperarse que los compresores que se fabrican hoy en día ofrezcan muchos años de operación constante, silenciosa y libre de problemas. En muchas aplicaciones es necesario que el compresor opere las 24 horas, los 365 días del año. Esta operación continua, sin embargo, con frecuencia no es tan dura para un compresor como lo es una operación por ciclos, cuando las temperaturas cambian constantemente y el aceite no conserva su viscosidad todo el tiempo. El compresor debe estar diseñado para soportar las condiciones normales de trabajo y los estados anormales ocasionales, como el retardo del líquido y una excesiva presión de descarga. Los compresores han sido diseñados para soportar un castigo extra sin dejar de trabajar correctamente. La mayor parte de las fallas de un compresor son causadas por fallas del sistema y no por fatiga en la operación. El grado de la habilidad para instalar, operar y mantener el equipo determinará al final de cuentas la duración esperada del sistema, particularmente de los compresores. Por tanto, ayuda el repasar algunos de los factores que acortan la vida de un compresor.

3.2.3.1. Pérdida de eficiencia

La pérdida de eficiencia en un compresor es por lo general indicación de que está teniendo problemas con el sistema que está desgastando algunos de los componentes. En una máquina esto puede ser el resultado de diversas situaciones:

1. Si entra líquido en el compresor, su eficiencia y capacidad resultante se verán seriamente afectados. Un daño físico reduce la eficacia de los componentes internos.
2. Si hay válvulas de descarga con fuga se reduce la eficiencia de bombeo haciendo que se eleve la presión en el cárter, incrementando la carga de la máquina.

3. Las válvulas de succión con fuga afectan de manera seria la eficiencia del compresor (así como su capacidad), especialmente en aplicaciones de temperaturas bajas.
4. La existencia de pistones flojos puede generar excesivo escape por los anillos, y baja compresión.
5. Los cojinetes desgastados, especialmente bielas y muñones flojos, impiden que los pistones suban todo lo que deben en la carrera de compresión. Esto tiene el efecto de reducir el volumen útil. resultando en excesiva reexpansión.
6. Deslizamiento de las bandas en aquellas unidades movidas por banda.

3.2.3.2. Sobrecarga del motor

Cuando el compresor no está funcionando satisfactoriamente, a veces la carga del motor aportará una indicación del problema. Un motor con una carga excesivamente alta o baja es indicio de una operación inadecuada. A continuación se indican algunas de las causas del sobrecalentamiento del motor:

1. Problemas mecánicos como pistones flojos, operación inadecuada de la válvula de succión, o un excesivo volumen del cabezal, por lo general lleva a una reducción de la carga del motor.
2. Otro problema común es una cámara de succión o una malla de admisión obstruidas (debido a contaminantes en el sistema). El resultado es una presión real mucho menor en los cilindros al final de la carrera de succión a la presión registrada en la tubería de succión en el manómetro de succión. De ser así, el resultado será una carga anormalmente baja del motor.
3. Una operación inadecuada de la válvula de descarga, puertos parcialmente obstruidos en la placa de válvulas (lo que no aparece en el manómetro de presión de descarga), y pistones demasiado ajustados, por lo común se verán acompañados por una carga elevada en el motor.
4. Temperaturas anormalmente altas en la succión, creadas por un exceso de carga, generarán una carga elevada en el motor.

5. Temperaturas anormalmente altas de condensación, generadas por problemas asociados con el condensador, también llevarán a una carga alta del motor.
6. Un voltaje el compresor bajo, independientemente que el origen esté en la alimentación de energía o por pérdidas excesivas en los conductores, contribuirá a una alta carga del motor.

3.2.3.3. Operación ruidosa

Una operación ruidosa usualmente significa que algo está mal. Puede tratarse de algún ruido fuera del compresor, o algo defectuoso o muy desgastado en el compresor mismo. Antes de cambiar de compresor, deberá efectuarse una inspección para determinar la causa del ruido. A continuación algunas causas posibles, exteriores al compresor:

1. Émbolos de líquido. Asegúrese de que al compresor solamente entra vapor sobrecalentado.
2. Émbolos de aceite lubricante. Probablemente está quedando atrapado aceite en el evaporador o en la tubería de succión, y está volviendo de manera intermitente en forma de émbolo hacia el compresor.
3. Volante suelto (en unidades impulsadas por banda).
4. Montajes del compresor mal ajustados. En compresores de tipo hermético de montaje exterior, los pies del compresor quizás estén golpeando los pernos. Las tuercas de sujeción quizás no están lo suficientemente flojas, o los resortes demasiado débiles, permitiendo así que el compresor golpee contra su base.

3.2.3.4. Ruidos en el compresor

Los ruidos provenientes del interior del compresor pueden ser debido a lo siguiente:

1. Insuficiente lubricación. El nivel de aceite puede ser demasiado bajo para la adecuada lubricación de todos los cojinetes. Si tiene incorporada una bomba de aceite, quizá no esté funcionando correctamente, o quizá haya fallado por completo. Los puertos de aceite pueden haberse obstruido con materias extrañas o con aceite convenido en cieno por presencia de humedad y de ácidos en el sistema.
2. Excesivo nivel de aceite. El nivel puede ser lo suficientemente alto como para causar bombeo excesivo del aceite, o embolismo.
3. Pistones o cojinetes apretados. Un pistón o un cojinete apretado puede hacer que otro cojinete golpee, incluso si tiene el juego necesario. Algunas veces en un nuevo compresor éste se “asentará” después de unas cuantas horas de operación. En un compresor ya en operación durante cierto tiempo, un pistón o un cojinete apretado puede deberse a un depósito superficial de cobre, resultado de humedad dentro del sistema.
4. Montajes internos defectuosos. En un compresor montado sobre resortes internos, los montajes pueden haberse torcido, haciendo que el cuerpo del compresor golpee contra la carcasa.
5. Cojinetes sueltos. Una biela, o muñón o cojinete principal flojo naturalmente creará ruido excesivo. La falta de alineación de los cojinetes principales, de flecha a muñones o a excéntricas, de los cojinetes principales a las paredes del cilindro, también puede causar ruido y desgaste rápido.
6. Válvulas rotas. Una válvula de succión o descarga rota puede incrustarse en la parte superior de un pistón, y golpear la placa de válvulas al llegar al fin de cada carrera del compresor. Partículas o rebabas metálicas, escamación o cualquier material extraño que se deposite sobre la corona del pistón pueden causar ese mismo efecto.
7. Vibración de las válvulas de descarga. Algunos compresores, bajo ciertas condiciones, especialmente a bajas presiones de succión, generan un ruido inherente debido a la vibración de la lengüeta o disco de descarga, durante la carrera de compresión. No resultará en un daño, pero si el ruido no es aceptable, el fabricante del compresor pudiera tener disponible alguna modificación de la válvula de descarga.

8. Pulsación del gas. Bajo ciertas condiciones, el evaporador, el condensador o la tubería de succión, pueden emitir ruido. Pudiera sonar como un golpe y/o un silbido transmitido y amplificado a través de la tubería de succión o del tubo de descarga. De hecho no existirá golpe mecánico, sino simplemente una pulsación causada por succión y carrera de compresión intermitentes, junto con ciertos fenómenos asociados con el tamaño y longitud de las tuberías de refrigerante, el número de dobleces y otros factores.

3.2.4. PRUEBA DE CAPACITORES Y RELEVADORES

3.2.4.1. Capacitores.

Si los devanados del motor del compresor están en buen estado, el problema puede estar en uno de los capacitores o en el relevador. Hay dos tipos de capacitor: de arranque y de marcha. El procedimiento para probar capacitores es como sigue:

1. Descargar gradualmente el capacitor mediante una resistencia de potencia y de valor adecuado entre sus terminales.
2. Desconectar el capacitor del circuito, conecte las puntas del óhmetro y observe la aguja del instrumento. Si el capacitor está en buen estado, la aguja hará una rápida oscilación hacia cero, y lentamente regresará a infinito. Si el capacitor tiene un corto interno, la aguja sólo se moverá parte del camino y se detendrá.
3. Para leer el valor en microfaradios de un capacitor y detectar la ruptura del aislamiento bajo condiciones de carga se utiliza un analizador para capacitores. En este caso, el instrumento indicará un corto.

Prácticamente todos los capacitores de marcha tienen una de las terminales marcada. Este terminal deberá conectarse a la terminal de marcha del motor y a uno de los alambres de alimentación de energía. En esta disposición, un cortocircuito interno a la caja del capacitor fundirá los fusibles del sistema, sin que

la corriente destructora del cortocircuito pase a través del devanado de arranque del motor.

Algunos capacitores de marcha tienen tres terminales, y se utilizan en circuitos con los motores. De hecho son dos capacitores en un mismo recipiente. Se prueban de igual forma que si fueran sencillos.

Muchos capacitores de arranque están construidos con un resistor de purga entre terminales. Este resistor descarga al capacitor después que haya sido desconectado del circuito.

Un orificio de expansión en el capacitor de arranque permite la expansión del aislamiento en caso que se sobrecaliente el capacitor. Si el aislamiento sobre este orificio está abierto, deberá reemplazarse el capacitor.

3.2.4.2. Prueba de relevadores de arranque.

El relevador de arranque desconoce al capacitor de arranque del circuito una vez que el motor alcanza ciertas rpm. Si es necesario reemplazar el relevador, debe utilizarse un reemplazo o repuesto idéntico, porque están construidos con características únicas que concuerdan con el motor en el que se usan. Cuando sea necesario reemplazarlos se deben colocar en la misma posición, y conectarse de manera idéntica al relevador original.

La bobina y los contactos se prueban por separado. Se debe desconectar el relevador del circuito. Al probar la bobina deberá encontrase una resistencia de las centenas de ohmios. Al probar los contactos, el óhmetro deberá leer cero, indicando que el contacto está cerrado. Los contactos de los relevadores por lo común fallan en posición abierta. Cuando fallan cerrados, generalmente se dañará el capacitor de arranque o el devanado de arranque del motor del compresor.

3.2.5. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN EVAPORADORES Y CONDENSADORES

3.2.5.1. Evaporadores

A continuación aparece una lista de algunos de los problemas del sistema de refrigeración asociados con los evaporadores:

1. Bajo flujo de aire
2. Excesivo flujo de aire
3. Flujo de aire no uniforme sobre los serpentines
4. Bajo suministro de refrigerante
5. Distribución no uniforme de refrigerante en los circuitos del serpentín
6. Bajo flujo de agua en enfriador (evaporador enfriado por agua para enfriadores)
7. Flujo no uniforme de agua a través del enfriador
8. Bajo suministro de refrigerante al enfriador

Clase de problema general	Síntomas	Causas posibles
Flujo de aire bajo	➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Bajo sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Baja temperatura de condensación saturada ➢ Bajo consumo de energía del compresor (KW) ➢ Temperatura baja del aire de alimentación ➢ Baja capacidad del sistema ➢ Temperatura alta del aire del espacio ➢ Evaporador con hielo o escarcha ➢ Inundación hacia atrás del líquido del compresor ➢ Émbolos de líquido en el compresor	➢ Serpentín del evaporador sucio (¿no hay filtro?) ➢ Aletas del evaporador muy torcidas o dobladas ➢ Filtros sucios
Flujo de aire excesivo	➢ Temperatura alta de aire de suministro ➢ Temperatura alta de succión saturada ➢ Consumo alto de energía del	➢ Velocidad del motor del ventilador ajustado demasiado alta ➢ Paquete y/o ajuste equivocado de impulsión del ventilador

	compresor (RW) ➢ Sistema de aire ruidoso ➢ Manejador de aire ruidoso ➢ Agua escurriendo del ventilador y del ducto de suministro cerca del manejador de aire	➢ Serpentín demasiado pequeño (manejadores de aire aplicados) ➢ Los condensados soplados sobre el manejador de aire hacia el ventilador y el ducto de suministro
Flujo de aire no uniforme sobre el serpentín	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Cobertura no uniforme de condensados sobre la superficie del serpentín ➢ Temperatura no uniforme en la superficie del serpentín ➢ Inundación hacia atrás de refrigerante hacia el compresor ➢ Émbolos de líquido al compresor	➢ Diseño defectuoso de los ductos cerca del serpentín del evaporador ➢ Colocación inadecuada del serpentín ➢ Turbulencia del aire en el serpentín ➢ Falta de los deflectores de aire necesarios cerca del serpentín ➢ Obstrucción dentro del manejador de aire ➢ Obstrucciones en los ductos cerca del manejador de aire ➢ Serpentín y manejador de aire no concuerdan
Suministro bajo de refrigerante	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Sobrecalentamiento alto del gas de succión ➢ Bajo consumo de energía del compresor (KW) ➢ Baja temperatura de condensación saturada ➢ Caída medible de temperatura en la tubería de líquidos ➢ Burbujas visibles en la mirilla de la tubería de líquidos ➢ Alta temperatura del aire de suministro ➢ Evaporador con escarcha o hielo ➢ Sobrecalentamiento alto del gas de descarga	➢ Sistema con baja carga ➢ Tubería de líquidos doblada o aplastada ➢ Tubo del evaporador aplastado (especialmente dobleces de retorno) ➢ Fuga de refrigerante del sistema ➢ Dispositivo de medición defectuoso ➢ Elemento de alimentación TXV bajo de carga ➢ Dispositivo de medición pequeño ➢ Tobera de distribuidor pequeña ➢ Control de la presión en el cabezal defectuosa a baja temperatura ambiente exterior ➢ TXV obstruido o atorado cerrado ➢ Tobera de aceite del distribuidor obstruida ➢ Agua libre en el sistema formando hielo ➢ Filtro secador obstruido
Distribución no uniforme del refrigerante a los circuitos de serpentines o a los circuitos de enfriadores	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Poco o nulo sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Galope del TXV inundación del compresor ➢ Émbolos de líquido en el compresor ➢ Temperatura no uniforme en la superficie del serpentín ➢ Formación no uniforme de con-	➢ Tubo o tubos alimentador del evaporador obstruidos ➢ Tubos alimentadores doblados o aplastados ➢ Distribuidor parcialmente bloqueado ➢ Distribuidor demasiado grande ➢ Tobera del distribuidor demasiado grande (manejadores de aire aplicados) ➢ Distribuidor incorrectamente

	densados en el evaporador ➢ Escarcha en algunas áreas del evaporador pero no en otras	instalado (manejadores de aire aplicados) ➢ Tubo del evaporador aplastado (especialmente dobleces de retorno) ➢ Circuito del evaporador (o del enfriador) obstruido
Flujo bajo de agua en el enfriador (evaporador de enfriamiento por agua para los enfriadores)	➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Bajo sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Baja temperatura de condensación saturada ➢ Bajo consumo de energía del compresor (KW) ➢ Baja temperatura del agua fría de salida ➢ Baja capacidad del sistema ➢ Alta temperatura en el espacio ➢ Alta caída de temperatura entre el agua fría de salida y de entrada ➢ El enfriador se apaga de manera intermitente ➢ (aun cuando el termostato solicita enfriamiento) Debido al termostato de seguridad de bajo nivel de agua de salida	➢ Bomba de agua fría demasiado chica ➢ Motor de la bomba defectuoso ➢ Impulsor de la bomba dañado o bloqueado ➢ Tubería o válvula del agua fría bloqueada ➢ Deflectores de agua en el enfriador D-X fuera de sitio bloqueando el flujo ➢ Demasiadas incrustaciones en el agua (enfriador inundado) ➢ Rotación inversa de la bomba de agua fría ➢ Bloqueo en las tuberías de agua fría ➢ Válvula de control de flujo de agua restringiendo el flujo
Flujo de agua no uniforme a través del enfriador	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Inundación hacia a atrás del compresor ➢ Émbolos de líquido al compresor ➢ Temperatura del agua fría de salida alta ➢ Baja caída ce temperatura entre agua fría de salida y de entrada	➢ (Enfriador D-X): Detectores fuera de sitio o rotos Aire en exceso en el sistema de agua Basuras en la carcasa del enfriador ➢ (Enfriador inundado): Tubos de agua demasiado incrustados Tubos de agua doblados o aplastados Tubos de agua o caja de agua obstruidos
Suministro bajo de refrigerante al enfriador	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Temperatura afta del agua fría de salida ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Alto sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Bajo consumo de energía del compresor (KW) ➢ Baja temperatura de condensación saturada ➢ Temperatura de espacio demasiado elevada ➢ El compresor del ventilador se conecta y desconecta ce manera intermitente en función del interruptor de baja presión	➢ Sistema con baja carga ➢ El control de presión del cabezal no funciona a bajas temperaturas del ambiente exterior ➢ Fuga en el sistema refrigerante ➢ Enfriador inundado: Flujo del refrigerante al condensador bloqueado Válvula de suministro de refrigerante al refrigerador trabada ➢ Enfriador D-X: Tubería de líquidos o de accesorios obstruida Tubería de líquidos doblada o aplastada

		Elemento de alimentación TXV bajo de carga TXV obstruido o trabado Distribuidor de refrigerante o tobera de refrigerante obstruida Válvula de expansión electrónica defectuosa o problema en el microprocesador Tubos del enfriador obstruidos por escarcha

Figura 3.15. Gráfica para la solución de problemas en evaporadores utilizados en instalaciones industriales.

Los síntomas y sus posibles causas aparecen en la Figura 3.15. Mediante un proceso de eliminación, se utilizará esta información para determinar la causa de un problema en particular. La información siguiente será útil para analizar algunos de los problemas más comunes.

Probablemente la causa principal de un bajo flujo de aire es un filtro sucio, particularmente si el propietario no ha llevado a cabo un mantenimiento periódico de los filtros de aire. En sistemas más grandes se puede usar un medidor detector de diferencial de presión que indique la caída de presión a través de los filtros y cuando es necesario su cambio. Se necesita una persona que se haga responsable de manera periódica de llevar a cabo la limpieza necesaria o el reemplazo. Los filtros llenan una valiosa necesidad y requieren mantenimiento.

Un flujo excesivo de aire puede bajar la eficiencia, interferir con el nivel de confort y/o producir una operación ruidosa.

Un flujo de aire excesivo se reconoce por una baja reducción en la temperatura en el serpentín del evaporador. Para un flujo de aire adecuado la caída de temperatura normalmente deberá ser entre 18 y 22℉. El ajuste de flujo de aire puede ser un correctivo en el procedimiento de verificación. Dado que la energía (watts) suministrada al motor del soplador varía en función del cubo de las rpm del mismo, se pueden conseguir grandes ahorros en la mayor parte de las instalaciones al suministrar el volumen de aire adecuado. Un flujo de aire demasiado elevado disminuye la función deshumidificadora de un sistema de aire acondicionado, interfiriendo así con el nivel de confort. La humedad puede

probarse midiendo la temperatura de bulbo húmedo del aire de salida. Al reducir la velocidad del ventilador el factor ruido mejorará de manera importante.

Un bajo flujo del agua a través de un enfriador quedará en evidencia debido a una baja temperatura del agua de salida. Esto por lo general es debido a una restricción en la tubería de agua, una bomba de agua girando al revés, o una bomba defectuosa. Muchas veces se encuentra que una válvula de corte ha sido abierta incorrectamente y está creando problemas. En cuanto se encuentra el origen del problema, a menudo una solución relativamente simple lo resuelve.

Un bajo suministro de refrigerante a menudo puede estar originado por un filtro secador obstruido. Éste es un componente comparativamente fácil de revisar. Debido a la restricción en el filtro secador, puede ocurrir algo de vaporización del refrigerante, bajando la temperatura de salida. Detectando una reducción de temperatura de un lado al otro del secador, quedará localizada la restricción.

3.2.5.2. Condensadores

A continuación aparece una lista de algunos de los problemas de refrigeración asociados con condensadores:

1. Alta presión en el cabeza
2. Carga incorrecta de refrigerante
3. Baja presión en el cabeza

Los síntomas y causas posibles de estas situaciones aparecen en la Figura 3.16. Mediante un proceso de eliminación, se utilizará esta información para llegar a la causa de un problema en particular. La información que sigue será útil para analizar algunos de los problemas más comunes.

Clase de problema general	Síntomas	Causas posibles
Presión alta en el cabezal (temperatura de condensación saturada o temperatura de descarga saturada)	➢ El compresor se conecta y se desconecta de manera intermitente debido al interruptor de alta presión aunque el sistema pida enfriamiento ➢ El compresor se conecta y se desconecta de manera intermitente debido al interruptor de protección del motor del compresor ➢ Temperatura alta de condensación saturada ➢ Sobrecalentamiento alto del gas de descarga ➢ El compresor se sobrecalienta ➢ El compresor se traba ➢ El motor del compresor se quema ➢ Alto consumo de la energía del compresor (KW) ➢ Baja capacidad del sistema ➢ Temperatura de succión saturada de normal a alta ➢ Velocidad excesiva de flujo de agua en el condensador	➢ Dispositivo de control de presión del cabezal defectuoso ➢ Serpentín del condensador sucio ➢ Motor del ventilador del condensador defectuoso ➢ Daños extensos en aletas ➢ Recirculación del aire del condensador ➢ Ventilador del condensador sucio ➢ Flujo de aire del condensador bloqueado ➢ Los vientos prevalecientes no permiten un flujo adecuado del aire a través del serpentín ➢ Rotación del ventilador del condensador invertida ➢ Resbala banda del ventilador del condensador ➢ Aspas del ventilador del condensador dobladas o rotas ➢ Tubos del condensador enfriador de agua con incrustaciones ➢ Bomba de agua del condensador defectuosa ➢ Impulsor de la bomba de agua dañada ➢ Tuberías o mallas del agua del condensador obstruidas ➢ Válvula de agua del condensador trabada cerrada ➢ Problemas en la torre de enfriamiento ➢ Vapor del condensador bloqueado por tubería de condensados de refrigerante pequeña o mal dispuesta, que impide que el refrigerante drene con libertad hacia el receptor ➢ Sistema sobrecargado ➢ Presencia de gases no condensados
Carga del refrigerante incorrecta	➢ Alta presión en el cabezal ➢ Alto subenfríamiento de líquidos ➢ Baja capacidad del sistema ➢ Alta temperatura de succión saturada ➢ Alto consumo de energía del compresor (KW)	➢ Sistema sobrecargado
	➢ Baja presión en el cabezal ➢ Baja temperatura de succión saturada	➢ Sistema no suficientemente cargado

	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Subenfriamiento de líquido bajo o no existente ➢ Gases emergentes a la entrada del dispositivo de medición	
Baja presión del cabezal	➢ Baja temperatura de condensación saturada ➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Bajo consumo de energía del compresor (KW)	➢ Dispositivo de control de presión en el cabezal defectuoso ➢ Fuga en el sistema refrigerante ➢ Sistema con baja carga ➢ Válvula de agua del condensador trabada abierta

Figura 3.16. Gráfica para la solución de problemas en Condensadores utilizados en instalaciones industriales.

Una alta presión en el cabezal a menudo puede estar originada por gases no condensables presentes en el refrigerante. El refrigerante condensado saturado tiene una presión de condensación equivalente. La lectura de una presión de condensación más elevada en el campo sería indicio de que están presentes gases no condensables. Estos gases no condensables, por lo general aire dentro del sistema, deben ser eliminados para que el sistema funcione eficientemente.

Una alta presión en el cabezal también puede ser debido a superficie sucia en el condensador. De vez en cuando, y con la finalidad de incrementar la capacidad durante un día extremadamente caluroso, algún operador rociará con agua el serpentín del condensador. Como resultado se forma un depósito sobre el serpentín que llenará los espacios entre las aletas, reduciendo la capacidad del condensador. Este sedimento es difícil de quitar y generalmente es removido utilizando un ácido y una brocha dura. También puede llegar a ser tan destructivo que todo el serpentín tenga que ser reemplazado.

Si el sistema tiene exceso de refrigérame, dependiendo del sistema, una porción demasiado importante del condensador puede llenarse de liquido, no dejando suficiente espacio para la condensación. Esto puede causar una alta presión en el cabezal. Para que el condensador opere normalmente es necesario eliminar esta sobrecarga de refrigerante.

Una baja presión en el cabezal a menudo es indicación de falta de refrigerante, debido a una fuga. De ser así, será necesario localizarla, utilizando un detector de fugas adecuado (por lo general electrónico), reparar dicha fuga, y cargar nueva mente el sistema con la cantidad correcta de refrigerante.

3.2.6. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

A continuación aparece una lista de los problemas existentes en el sistema de refrigeración asociados con los dispositivos de medición:

1. Sobrealimentación al evaporador ("inundación")
2. Subalimentación al evaporador ("privación")
3. Galope de la válvula de expansión térmica (TXV)
4. Alimentación no uniforme de las toberas de distribución

Los síntomas y sus posibles causas aparecen en la Figura 3.17. El técnico, utilizando un proceso de eliminación, utilizará esta información para llegar a la causa de un problema en particular. La información siguiente será útil para el análisis de algunos de los problemas comunes.

La inundación del evaporador puede ser causada por un ajuste de sobrecalentamiento bajo o un bulbo sensor flojo. Cuando ocurre lo anterior, es necesario revisar con cuidado la aplicación e instalación de la válvula. La mayor parte de las válvulas son ajustadas en fábrica para un sobrecalentamiento de 10ºF. El serpentín puede tener una caída de presión elevada y requerirá un ecualizador externo para operar correctamente. El bulbo sensor debe estar sujeto firmemente a la tubería de succión, y su conexión aislada si es que está absorbiendo calor parásito proveniente de otras fuentes.

Categoría general del problema	Síntomas	Causas posibles
Sobrealimentación del evaporador ("inundación")	➢ Alta temperatura de succión saturada ➢ Bajo sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Inundación hacia atrás del líquido ➢ Émbolos de Liquido al compresor ➢ Sobrecalentamiento del compresor ➢ Consumo elevado de energía del compresor (RW) ➢ Falla del compresor ➢ El compresor bombea incorrectamente ➢ Galope del TXV	➢ Sobrecarga del sistema (dispositivo medidor fijo) ➢ Dispositivo medidor sobredimensionado ➢ TXV trabado abierto ➢ Ajuste de sobrecalentamiento del TXV demasiado bajo ➢ Tipo de TXV equivocado para el refrigerante del sistema ➢ Bulbo sensor TXV no aislado en área caliente ➢ Bulbo sensor TXV suelto ➢ Bulbo sensor TXV ubicado incorrectamente ➢ Carga parcial demasiado pequeña para el dispositivo medidor ➢ Aceite excesivo en circulación en el sistema ➢ Alta presión en el cabezal (dispositivo medidor fijo)
Falta de alimentación en el evaporador ("Starvation")	➢ Baja capacidad del sistema ➢ Baja temperatura de succión saturada ➢ Alto sobrecalentamiento del gas de succión ➢ Bajo consumo de energía en el compresor (RW) ➢ Baja temperatura saturada de condensación ➢ Alto sobrecalentamiento del gas de descarga ➢ Alta temperatura del aire de suministro ➢ Evaporador con hielo o escarcha	➢ Sistema con baja carga ➢ Dispositivo medidor demasiado pequeño ➢ Dispositivo medidor obstruido ➢ Distribuidor o tobera obstruidos ➢ Distribuidor o toberas de tamaño más pequeño (instalaciones TXV) ➢ Tubo capilar doblado o aplastado ➢ TXV trabado en posición cerrada ➢ Elemento de potencia TXV de baja carga ➢ TXV equivocado para el refrigerante del sistema ➢ Tubería ecualizadora externa TXV obstruida o aplastada ➢ Ajuste de sobrecalentamiento TXV demasiado elevado ➢ Locaiización incorrecta del bulbo sensor TXV ➢ Agua libre dentro del sistema formando hielo bloqueando el flujo del refrigerante ➢ Baja presión en el cabezal (dispositivo medidor fijo) ➢ Dispositivo de control de presión en el cabezal defectuoso
Latigueo TXV	➢ La temporaliza de succión saturada oscila a alta y luego a baja de manera cíclica ➢ El sobrecalentamiento del gas de succión oscila de alto a	➢ TXV demasiado grande ➢ Operación de control a carga parcial inadecuada, carga demasiado poco al TXV ➢ Carga de enfriamiento muy

	bajo de manera cíclica ➢ El consumo de energía del compresor (KW) oscila de alta a baja de manera cíclica ➢ Inundación hacia atrás intermitente y émbolos en el compresor ➢ Temperatura inestable del aire de suministro ➢ Temperatura inestable en la superficie del evaporador	baja ➢ Cambios de la carga de enfriamiento rápidos ➢ Presión del lado de alta de cambio rápido ➢ Gasificación emergente en la tubería de líquidos ➢ Selección del circuito del evaporador incorrecta (manejadores de aire aplicados)
Toberas del distribuidor (aplicaciones TXV)	➢ Subalimentación del evaporador (véase los síntomas arriba)	➢ Tobera del distribuidor pequeña (de manera muy improbable en trabajo de confort)
	➢ Evaporador alimentado de manera no uniforme por el refrigerante (véase síntomas de la hoja del evaporador)	➢ Tobera demasiado grande ➢ Tobera no ha sido dimensionada para estabilidad en baja carga ➢ Secuencia de control de carga parcial funcionando mal para las secciones del ➢ Evaporador

Figura 3.17. Gráfica de localización de fallas en dispositivos de medición.

Un evaporador privado de refrigerante puede ser causado por un sistema con baja carga. Si se trata de esto, busque una fuga de refrigerante, particularmente si el sistema ha estado operando satisfactoriamente durante cierto tiempo.

Un TXV que galopa es por lo general señal que la válvula de expansión es demasiado grande para esta aplicación. La mayor parte de las válvulas funcionan mejor con cargas no menores al 50% de su capacidad. Una válvula demasiado grande galopará demasiado tiempo. El galope es el fenómeno en el cual la válvula continuamente está abriendo y cerrando en vez de llegar a una posición de estabilidad.

Cuando junto con el TXV se suministra la tobera del distribuidor, ésta debe estar dimensionada correctamente para ajustarse a la carga y llenar los requerimientos de la instalación. Pueden inspeccionarse los tubos del serpentín para ver si todos los circuitos se están alimentando de manera uniforme. De lo contrario, es necesario aplicar una tobera del tamaño correcto.

3.2.7. OTRAS ÁREAS PARA LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS

En las descripciones arriba indicadas, se ha sugerido la localización y reparación de fallas relativos a ciertos componentes principales del sistema. Si para localizar el problema se necesitan examinar otras áreas adicionales, a continuación se señalan algunas otras áreas donde buscar:

1. Accesorios del ciclo de refrigeración
2. Tuberías de refrigeración
3. Calidad del proceso de instalación
4. Calidad del proceso de evacuación y deshidratación

3.2.8. LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS DEL SISTEMA SELLADO

Un sistema de refrigeración herméticamente sellado es uno que está totalmente cerrado por soldadura, evitando el escape del refrigerante o la entrada del aire. Además, estos sistemas utilizan un compresor y un dispositivo de medición de tubo capilar herméticos, que no requieren ajustes externos. Estas unidades se ensamblan en condiciones controladas, se evacuan, cargan y prueban en la fábrica. El fabricante hace todo lo posible a fin de entregar unidades que den un servicio duradero, libre de problemas. Ante esta seguridad muchos fabricantes ofrecen una garantía limitada de 5 años en el sistema sellado. Una garantía de este tipo es aplicable únicamente si al equipo se le ha dado un uso normal y adecuado. La unidad debe estar instalada correctamente y se han debido efectuar algunas acciones de mantenimiento, como por ejemplo conservar limpio el condensador.

Al igual que con cualquier equipo mecánico de uso continuo, llegará el momento en que el sistema deberá abrirse para darle servicio. Los lemas siguientes corresponden a la información para la localización de fallas en estos sistemas:

1. Fugas de refrigerante
2. Restricciones en el sistema del refrigerante
3. Problemas de instalación

3.2.9. FUGAS DEL REFRIGERANTE

Las fugas de refrigerante en un sistema de refrigeración pueden ser hacia adentro o hacia afuera. Si el sistema opera por abajo de la presión atmosférica, una fuga hacia adentro hará que el aire y la humedad se introduzcan al ciclo. Esto generará un aumento de presión y temperatura de descarga, incrementando la corrosión y la operación puede terminar con bastante rapidez. Una fuga hacia adentro puede ser más seria que una fuga hacia afuera.

Con refrigerantes halogenados se pueden utilizar varios métodos de detección de fugas hacia afuera. El mejor método por lo general es el detector electrónico de fugas (Figura 3.18). El usarlo normalmente resulta en un ahorro de tiempo en comparación con otros métodos anteriores.

Figura 3.18. Detector electrónico de fugas de refrigerante

El soplete de haluros es un método rápido y confiable, que se puede utilizar con refrigerantes halogenados. El combustible que hace funcionar al soplete es el alcohol metílico o un hidrocarburo como butano o propano. La flama calienta un

elemento de cobre. A través del tubo se hace pasar aire para mantener la combustión. El extremo libre del tubo se coloca sobre cualquier área sospechosa de fuga. Cuando un vapor halogenado pasa sobre el elemento de cobre caliente, la flama cambia de color, de normal a verde o violeta brillante.

Un soplete de haluros sólo debería ser utilizado en áreas bien ventiladas. Cuando se trabaja a la luz directa del sol, a veces resulta difícil ver el cambio de color.
Otro método confiable de detección de fugas es la prueba con burbujas de jabón. Un método sería pintar el área que se sospecha tiene fugas con Jabonadura y luego, utilizando una luz brillante, esperar la aparición de burbujas.

Otro método de pruebas es presurizar el sistema con aire seco y sumergir en el agua el área que se sospecha tiene fugas en busca de burbujas. La presión del sistema deberá ser por lo menos 50 psig.

Para reparar una fuga en un sistema hermético, es necesario instalar algún tipo de válvula o válvulas de acceso. Las válvulas perforadoras, que en el MDR se aplica en el ecualizador de la válvula de expansión, son útiles para penetrar en tuberías de refrigerante que no tengan válvula de servicio. Dependiendo del tipo, la válvula se atornilla o se suelda a la tubería. Una aguja incorporada en la válvula penetra en la tubería cuando se hace bajar el vástago. Esto permite la instalación de indicadores y continuar con la recuperación del refrigerante restante, reparar, evacuar y volver a cargar el sistema.

3.2.10. RESTRICCIONES EN EL SISTEMA

A veces se desarrolla una restricción en el circuito refrigerante de un sistema herméticamente sellado. Esto puede ser causado por una tubería doblada o bloqueada, una obstrucción por humedad, o un filtro secador bloqueado. Ocasionalmente se dobla o tuerce un tubo capilar, o pudieran existir contaminantes en el sistema que obstruyan la apertura del tubo, impidiendo el flujo de refrigerante.

Si existe humedad en el sistema y el evaporador está operando a temperaturas inferiores al punto de congelación, se puede formar hielo en el dispositivo medidor, deteniendo el flujo de refrigerante. Si el filtro secador está lleno de materiales de deshecho recogidos en el sistema, se puede causar una restricción en el flujo de refrigerante.

Una restricción por lo general es fácil de diagnosticar, ya que impide el flujo normal del refrigerante. Tanto la presión de descarga como la presión de succión y los amperes, todos se reducen. El sobrecalentamiento y subenfriamiento se elevan. Normalmente, las restricciones ocurren en la tubería de líquidos. Cuando ocurren en este sitio existe una clara caída de temperatura de un lado a otro de la restricción.

Siempre que ocurra una restricción, debe localizarse su ubicación y causa. La acción para remediarla dependerá de su naturaleza. Hay disponibles juegos de herramientas para la limpieza de un tubo capilar obstruido; alternativamente, se puede instalar el reemplazo exacto. Un filtro secador obstruido puede ser reemplazado.

3.2.11. PROBLEMAS DE INSTALACIÓN

Se pueden reducir al mínimo los problemas de instalación de sistemas herméticamente sellados siguiendo las instrucciones específicas de instalación suministradas por el fabricante. Dado que hay muchos tipos y usos de sistemas herméticos, sólo se puede dar aquí información de tipo general. Por ejemplo, hay una diferencia considerable entre la instalación adecuada de un enfriador de habitación y de un refrigerador doméstico, aunque ambos contengan sistemas herméticos.

Generalmente, las instrucciones de instalación de unidades con sistemas de refrigeración herméticos incluyen los temas siguientes:

1. Localización del equipo
2. Nivelación del equipo
3. Conexiones eléctricas y de plomería
4. Adición de accesorios
5. Mantenimiento necesario

La ubicación del equipo debe incluir las holguras adecuadas para suministrar aire de ventilación a un condensador enfriado por aire, accesibilidad para su servicio, y un soporte correcto para la unidad. Una alta presión en el cabezal sería indicación que el aire exterior no está circulando adecuadamente a través del condensador enfriado por aire. Esto podría estar causado por holguras inadecuadas o un condensador sucio. De ser necesario, se debería relocalizar la unidad. Ocasionalmente el condensador se ubica fuera del edificio, donde han crecido arbustos, restringiendo el aire hacia el condensador. La vegetación deberá ser podada, alejándola de la unidad y esto anotado para mantenimiento futuro.

Las unidades deben instalarle a nivel, de manera que los condensados fluyan a la abertura de drenaje para su correcta disposición. Si la charola de drenaje se ensucia o la abertura para la eliminación de condensados se bloquea, estas áreas deberán limpiarse, a fin de permitir un flujo correcto una vez nivelada la unidad.

La unidad debe ser ubicada de forma que las conexiones eléctricas y de plomería se puedan efectuar adecuadamente. Por lo general se requiere un drenaje con trampa y debe instalarse uno. De lo contrario. Bajo ciertas condiciones, el drenaje podría fluir en dirección inversa, haciendo que se inunde la unidad. Las conexiones eléctricas deben mantenerse secas y accesibles.

Algunas veces puede mejorarse una unidad agregando ciertos accesorios. En algunos casos el fabricante tiene disponible un deflector de aire para dirigir el aire en movimiento por encima del condensador. Sin el accesorio, los vientos prevalecientes pueden pasar a través del condensador en dirección incorrecta, impidiendo el enfriamiento de la unidad y generando una presión alta en el cabezal.

Muy a menudo, las instrucciones de instalación indicarán que para que el equipo funcione correctamente debe llevarse a cabo cierto tipo de mantenimiento. Por ejemplo, un serpentín de condensador enfriado por aire debe limpiarse de manera periódica. Deberán examinarse los registros de mantenimiento para verificar si se ha hecho, el historial que pueda tener el problema y qué acciones fueron tomadas anteriormente.

En el Capitulo 4 se procederá a resumir los detalles más relevantes para obtener un Manual de Usuario, en que se exprese de forma simple cómo utilizar el Módulo Didáctico de Refrigeración.

CAPÍTULO 4.
MANUAL DE USUARIO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR)

4.1. PARTES DEL MDR

La Figura 4.1 presenta la distribución de las diferentes partes del Módulo Didáctico de Refrigeración.

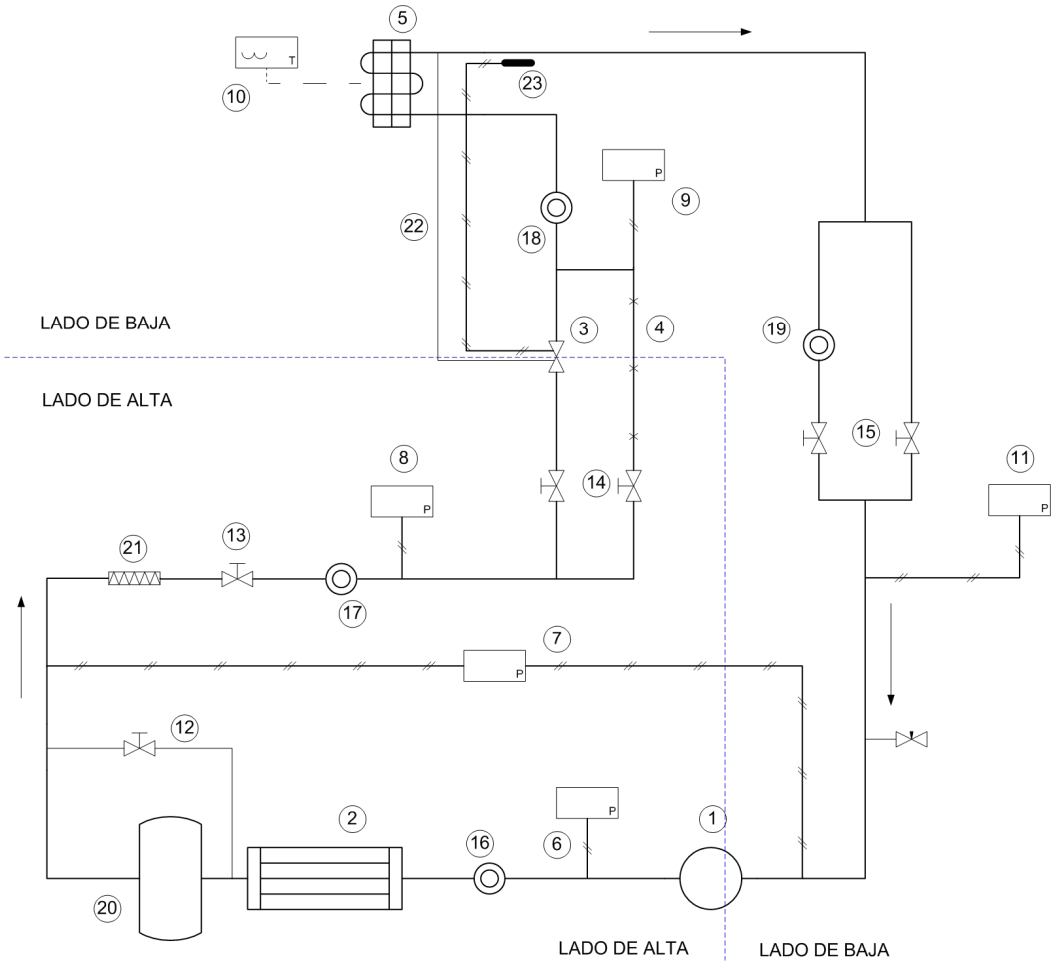


Figura 4.1. Componentes del Módulo Didáctico de Refrigeración.

4.1.1. ELEMENTOS BÁSICOS

1. Compresor
2. Condensador
3. Válvula de expansión (dosificador de refrigerante)
4. Tubo capilar (dosificador de refrigerante)
5. Evaporador

4.1.2. ELEMENTOS DE CONTROL

6. Manómetro de lado de alta 1
7. Presostato
8. Manómetro de lado de alta 2
9. Manómetro de lado de baja 1
10. Termostato
11. Manómetro de lado de baja 1

4.1.3. ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE MANIOBRA

12. Válvula de by pass de tanque de líquidos
13. Válvula de paso (lado de alta)
14. Válvulas selectoras de dosificador
15. Válvulas de paso de visor
16. Visor de lado de alta 1
17. Visor de lado de alta 2
18. Visor de lado de baja 1
19. Visor de lado de baja 2

4.1.4. ACCESORIOS DE COMÚN UTILIZACIÓN

20. Tanque de líquidos
21. Filtro
22. Ecualizador de válvula de expansión

23. Bulbo sensor de válvula de expansión
24. Válvula de Carga

4.2. ANTES DE EMPEZAR:

Se debe arrancar al módulo en Modo de Funcionamiento Normal. Los pasos se describen a continuación:

1. Despejar el área circundante.
2. Encender el Módulo mediante la Perilla “Encendido” en el panel de control.
3. Verificar la apertura y cierre adecuados de las diferentes válvulas como se indican a continuación:
    - Cerrar la Válvula de By pass.
    - Abrir Válvula de Paso de Alta.
    - Escoger el método de dosificación mediante las Válvulas de Dosificadores: válvula de expansión o tubo capilar. NO las dos.
    - Habilitar al visor de baja 2 mediante las válvulas asociadas a él.
4. Encender el Compresor mediante su respectiva perilla en el Panel de Control.

4.3. FUNCIONAMIENTO NORMAL

El MDR tendrá un funcionamiento normal y estable cuando ya no se experimente variaciones en la temperatura y presente los siguientes síntomas en su funcionamiento:

1. Lecturas estables en el manómetro de alta 2 y de baja 2. El manómetro de alta 1 y de baja 1 no son estables pues reciben el golpe del pistón del compresor y la inestabilidad del Gas Flash respectivamente.
2. El visor de alta 1 está parcialmente utilizado por refrigerante líquido y gaseoso.
3. El visor de alta 2 debe estar saturado de refrigerante líquido, sin presencia de burbujas.

4. El visor de baja 1 lleva una mezcla turbulenta de refrigerante líquido y gaseoso (Gas Flash).
5. El visor de alta 2 debe presentar un goteo continuo de aceite, NO debe presentar espuma ni ausencia de aceite.

Una vez cumplidas estas características el módulo está en un funcionamiento estable.

Se puede sacar al Tanque de líquidos del ciclo, mediante la apertura de la válvula de By Pass, esto no agrede al comportamiento del MDR.

4.4. SIMULACIÓN DE FALLAS

Cabe señalar que antes de simular cualquier falla se debe asegurar que el módulo se encuentre en un funcionamiento normal estable (aproximadamente 10 minutos después de haber encendido el MDR).

Falla	Procedimiento	Consecuencias
Evaporador 2	Activar “Evaporador Falla 2” en el Panel de Control	➢ Apaga uno de los tres ventiladores del Evaporador. ➢ Baja la temperatura en el Evaporador ➢ Se reducen las presiones del lado de baja y de alta.
Evaporador 1	Activar “Evaporador Falla 1” en el Panel de Control	➢ Apaga dos de los tres ventiladores del Evaporador. ➢ Baja la Temperatura en el Evaporador (Posible escarchamiento) ➢ Se reducen las presiones del lado de baja y de alta.
Falla Total del Evaporador	Activar “Evaporador Falla 1” y “Evaporador Falla 2” en el Panel de Control	➢ Apaga inmediatamente al Compresor.
Alta Presión	Cerrar rápidamente la válvula de paso del lado de alta	➢ Sube presión en manómetro de alta 1 (salida del Compresor). ➢ Baja presión en manómetro de alta 2 ➢ Baja presiones del lado de baja. ➢ Finalmente el presóstato desconecta al compresor y activa la alarma por de alta presión.
Baja Presión	Cerrar las dos válvulas de visor (lado de baja).	➢ Baja la presión en el manómetro de baja 2 (entrada al

		Compresor). ➢ Sube presión en el manómetro de baja 1. ➢ Baja presión en el lado de alta. ➢ Finalmente el presostato desconecta al compresor y activa la alarma por de baja presión.

Después de de cualquier falla provocada que apague el compresor, las presiones tienden a igualarse, el valor depende de la temperatura ambiente y sube la temperatura en el evaporador.

En el Anexo 16 se presenta el modelo sugerido para proceder en la practica a realizarse en el Laboratorio de Instrumentación.

4.5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN

4.5.1. SIEMPRE QUE SE LO PONGA EN FUNCIONAMIENTO O DIARIAMENTE.

- Verificar las obstrucciones del condensador y evaporador.
- Verificar la existencia de ruido o vibraciones
- Verificar la limpieza del equipo

Adicionalmente, antes de entrar en funcionamiento, es importante despejar el área circundante, pues esto es necesario para el correcto flujo de aire tanto en el condensador como el evaporador.

4.5.2. MENSUALMENTE

- Hacer la inspección general del equipo
- Verificar la instalación eléctrica
- Medir la tensión y la corriente
- Verificar la apertura de las terminales eléctricas

- Mida la presión y la temperatura de alta o baja del compresor
- Realizar la limpieza en el condensador y evaporador

4.5.3. TRIMESTRALMENTE

Verificar el funcionamiento de los accesorios

4.5.4. SEMESTRALMENTE.

Asegurarse de que las condiciones del aceite no han variado, éste debe circular junto al refrigerante y mantener su estado.

4.5.5. ANUALMENTE

Se debe verificar la ausencia de fugas, mantener las presiones estables, un correcto funcionamiento del Panel de Control, etc.

CAPÍTULO 5.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Es preferible la utilización de gas oxiacetilénico para la soldadura de la tubería y accesorios de cobre. Pues la utilización de combustibles que generan una llama de menor temperatura, como por ejemplo el gas MAPP, producen óxidos en la soldadura e impiden un trabajo fácil en la aplicación de la soldadura.

- En ocasiones las válvulas pueden presentar defectos de fábrica que permitan fugas en cuanto entran en funcionamiento, por lo que se debe probar su operación tanto en condición de apertura como de cierre pues la válvula puede disimular su avería en uno de estos dos estados así como durante la transición entre ellos.

- La temperatura elevada del refrigerante imposibilita el uso de algunos tipos de mangueras en el lado de alta, pues, al calentarse aumentan su flexibilidad, permitiendo que sedan ante la presión, además después de un tiempo de uso tienden a presentar fugas en las junturas.

- Nunca el Evaporador y el Condensador pueden compartir el mismo espacio físico, en el caso del Módulo Didáctico de Refrigeración pasa esto pues la finalidad es de mostrar el comportamiento del refrigerante dentro de su ciclo y no de enfriar un ambiente, por lo que no se trata de una aplicación real.

- La calibración de los equipos a utilizar se debe realizar en el sitio en el que va a funcionar el sistema pues al variar la ubicación geográfica se puede producir errores debido al cambio de las condiciones ambientales como temperatura, presión atmosférica, humedad, etc.

- Se debe eliminar las rebabas y asperezas producidas en los cortes de las tuberías, éstas pueden desprenderse posteriormente y taponar las tuberías delgadas, realizar cortes internos o hasta causar deficiencias en el compresor al causar daños en los pistones.

- La carga de refrigerante se debe realizar por el lado de baja, pues al tener presiones más bajas se puede realizar una mejor transferencia del refrigerante desde la bombona que contiene el refrigerante hacia el sistema.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Para facilitar el trabajo de la suelda se recomienda el uso de soldadura con un porcentaje del 5% de plata, esto evita la utilización de materiales fundentes.

- En sistemas industriales se recomienda el uso de la Válvula de expansión en lugar del Tubo Capilar como método de dosificación de refrigerante, puesto que ésta protege más al sistema y modula el paso de refrigerante en función de la salida del evaporador, por ende, de la entrada del compresor, protegiendo así la parte activa y más delicada del sistema.

- El trabajo más exigente para un compresor es al momento del arranque, pues quizás tenga que movilizar émbolos de aceite y/o refrigerante por lo que se recomienda procurar un funcionamiento estable o escoger un compresor apropiado para un funcionamiento intermitente.

- Al momento de doblar las tuberías se debe procurar mantener un radio amplio de curvatura, caso contrario se puede reducir la resistencia del material ante la presión que debe soportar, además de la posibilidad de crear estrangulamientos innecesarios en la tubería.

- Es muy importante que antes de introducir refrigerarte al ciclo de refrigeración, se consiga Vacío dentro de todas las tuberías, pues el permitir que queden pequeñas cantidades de aire adentro, puede crear: óxidos internos, corrosión o taponamiento en los tubos capilares por causa de la condensación del agua presente en el aire.

- Para evitar fugas en tuberías delgadas por causa de una excesiva vibración mecánica se recomienda realizar espirales en dichas tuberías, denominadas vulgarmente “rabos de chancho”, esto minimiza el impacto, por lo tanto el desgaste en los contactos de las tuberías.

- Se recomienda la recuperación y el reciclaje de los refrigerantes durante las operaciones de instalación y mantenimiento, para ayudar a reducir las emisiones de CFCs a ala atmósfera. Existe una gran variedad en cuanto a tecnología y capacidades en unidades de recuperación y reciclado hasta la fecha, por lo que se debe seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante a la hora de utilizar estos equipos. Adicionalmente aunque resulte más caro se recomienda la utilización de refrigerantes menos agresivos al ambiente.

- Al realizar el abocinado de la tubería de cobre en acoples con tuercas, se debe tomar en cuenta el tamaño apropiado pues una bocina muy pequeña no logra hacer un buen contacto entre los acoples, mientras que una bocina muy grande debilita a la tubería y al momento de apretar la tuerca se puede producir fisuras que a su vez mostrarían fugas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTHOUSE, Andrew**; TURNQUIST,** Carl**; BRACCIANO,** Alfred. Modern Refrigeration and Conditioning. Sexta Edición. The Goodheart-Willcox Company, Inc. Estados Unidos. 1992.

WITHMAN, William**; JOHNSON,** William**.** Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado. Paraninfo Thomson Learning. España. 2000.

SÁNCHEZ, Gabriel; **TORRE,** Juan. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tercera Edición. Prentice Hall. México. 1999. Tomos 1, 2, y 3.

DANFOSS. Manual de instalación, operación y mantenimiento. Danfoss Industries. México.

DANFOSS. Manual de instrucciones EKC101. Danfoss Industries. México. 2005.

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS

ºF	Temperatura que hay que convertir	℃
-76,0	-60	-51.1
-74,2	-59	-50,6
-72,4	-58	-50,0
-70,6	-57	-49,4
-68,8	-56	-48,9
-67,0	-55	-48,3
-65,2	-54	-47,8
-63,4	-53	^7.2
-61,6	-52	-46,7
-59,8	-51	-46,1
-58,0	-50	-45,6
-56,2	-49	-45,0
-54,4	-48	-44,4
-52,6	-47	-43,9
-50,8	-46	-43,3
^9,0	-45	-42,8
-47,2	-44	-42,2
-45,4	-43	-41,7
-43,6	-^2	-41,1
-41,8 .	-41	-40.6
-40,0	-40	-40,0
-38,2	-39	-39,4
-36,4	-38	-38,9
-34,6	-37	-38.3
-32,8	-36	-37.8
-1,0	-35	-37.2
-29,2	-34	-36.7
-27,4	-33	-36,1
-25,6	-32	-35,6
-23,8	-31	-35,0
-22,0	-30	-34.4
-20,2	-29	-33.9
-18,4	-28	-33.3
-16,6	-27	-32.8
-14,8	-26	-31,2
-13,0	-25	-31.7
-11,2	-24	-31.1
- 9,4	-23	-30.6
- 7,6	-22	-30.0
- 5,8	-21	-29,4
- 4,0	-20	-28,9
-2.2	-19	-28.3
- 0,4	-18	-27,8
1.4	-17	-27.2
3,2	-16	-26,7
5,0	-15	-26,1
6,8	-14	-25,6
8,6	-13	-25.0
10,4	-12	-24,4
12,2	-11	-23,9
14,0	-10	-23,3
15,8	- 9	-22.8
17,6	- 8	-22,2
19,4	- 7	-21.7
21,2	- 6	-21,1
23,0	- 5	-20.6
24,8	- 4	-20,0
26,6	- 3	-19,4
28,4	- 2	-18,9

ºF	Temperatura que hay que convertir	℃
30,2	-1	-18.3
32,0	0	-17,8
33,8	1	-17,2
35,6	2	-16,7
37,4	3	-16,1
39,2	4	-15,6
41,0	5	-15,0
42,8	6	-14,4
44,6	7	-13,9
46,4	8	-13.3
48,2	9	-12,8
50,0	10	- 12,2
51,8	11	-11,7
53,6	12	-11,1
55,4	13	-10,6
57.2	14	-10,0
59,0	15	- 9,4
60,8	16	- 8,9
62,6	17	- 8,3
64,4	18	- 7,8
66,2	19	- 7,2
68,0	20	- 6.7
69,8	21 .	- 6,1
71.6	22	- 5,6
73.4	23 ,	- 5,0
75.2	24 '	- 4,4 -
77.0	25 ;	- 3,9 <
78,8	26	- 3,3
80,6	27	- 2,8
82.4	28	- 2,2 ,
84,2	29	- 1,7
86,0	30	- 1.1
87,8	31	- 0,6
89,6	32 .	0,0
91.4	33	0.6
93.2	34	1.1
95.0	35	1,7
96,8	36	2.2
98,6	37	2,8
100,4	38	3,3
102.2	39	3,9
104.0	40	4,4
105,8	41	5,0 ,
107,6	42	5,6
109,4	43	6,1
111,2	44	6,7
113,0	45	7,2
114,8	46	7.8
116,6	47	8.3
118,4	48	8.9
120,2	49	9,4
122,0	50	10.0
123.8	51	10.6
125,6	52	11.1
127,4	53	11.7
129,2	54	12,2
131,0	55	12,8
132,8	56	13.3
134,6	57	13,9

ºF	Temperatura que hay que convertir	ºC
136,4	58	14,4
138,2	59	15.0
140,0	60	15,6
141.8	61	16,1
143,6	62	16,7
145.4	63	17.2
147.2	64	17,8
149,0	65	18.3
150,8	66	18,9
152,6	67	19,4
154.4	68	20,0
156,2	69	20,6
158,0	70	21,1
159,8	71	21.7
161,8	72	22,2
163,4	73	22,8
165,2	74	23.3
167,0	75	23.9
168,8	76	24,4
170,6	77	25.0
172,4	78	25,6
174,2	79	26,1
176,0	80	26,7
177,8	81	27,2
179,6	82	27,8
181,4	83	28,3
183,2	84	28,9
185,0	85	29,4
186,8	86	30,0
188,6	87	30,6
190,4,	,88	31,1
192.2	89	31.7
194.0	90	32,2
195.8	91	32,8
197.6	92	33,3
199.4	93	33,9
201,2	94	34,4
203,0	95	35,0
204.8	96	35.6
206,6	97	36,1
208,4	98	36,7
210,2	99	37.2
212.0	100	37,8
213.8	101	38,3

ºF	Temperatura que hay que convertir	ºC
215,6	102	38,9
217,4	103	39,4
219,2	104	40,0
221,0	105	40,6
222,8	106	41.1
224,6	107	41,7
226,4	108	42,2
228,2	109	42,8
230,0	110	43.3
231,8	111	43.9
233.6	112	44,4
235.4	113	45,0
237,2	114	45,6
239,0	115	46,1
240,8	116	46,6
242,6	117	47.2
244,4	118	. 47,7
246,2	119	48.3
248,0	120	48,8
257,0	125	51,7
266,0	130	54,4
275,0	135	57,2
284,0	140	60,0
293,0	145	62,8
302,0	150	65,6
311,0	155	68,3
320,0	160	71,1
329,0	165	73,9
338,0	170	76,7
347,0	175	79,4
356,0	180	82,2
365,0	185	85,0
374,0	190	87,8
383,0	195	90,6
392,0	200	93,3
401,0	205	96,1
410.0	210	98,9
413,6	212	100,0
428,0	220	104,4
446,0	230	110,0
464,0	240	115,6
482,0	250	121,1
500,0	260	126,7

Ejemplo 1. Para encontrar el equivalente en grados Celsius de 37 ℉, busque 37 en la columna Temperatura que hay que convertir y lea el valor correspondiente en la columna ℃, que resulta ser 2,8 ℃.

Ejemplo 2. Para encontrar el equivalente en grados Fahrenheit de 75 ℃, busque 75 en la columna Temperatura que hay que convertir y lea el valor correspondiente en la columna ℉, que resulta ser 1 67,0 ℉.

ANEXO 2

TABLA DE CALORES ESPECÍFICOS

Sustancia	Calor Específico Kcal/Kg/º C	Sustancia	Calor Específico Kcal/Kg/º C
Aluminio	0,224	**Remolacha**	0,90
Ladrillo	0,22	**Pepino**	0,97
Hormigón	0,156	**Espinacas**	0,94
Cobre	0,092	**Carne fresca de vaca**	0,77
Hielo	0,504	**Pescado**	0,76
Hierro	0,129	**Carne de cerdo resca**	0,68
Mármol	0,21	**Gambas**	0,83
Acero	0,116	**Huevos**	0,76
Agua	1,00	**Harina**	0,38
Agua del mar	0,94		
Aire	0,24		

ANEXO 3

PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA: TABLA DE RELACIÓN PRESIÓN TEMPERATURA

TEMPERATURA DEL AGUA		PRESIÓN ABSOLUTA		
℉	℃	KPa	InHg	MmHg
10	-12,2	0,21	0,063	1,6
20	-6,7	0,34	0,103	2,6
30	-1,1	0,56	0,165	4,2
32	0	0,61	0,180	4,6
34	1,1	0,66	0,195	5
36	2,2	0.72	0,212	5,4
38	3,3	0,77	0,229	5,8
40	4,4	0,84	0,248	6,3
42	5,6	0,90	0,268	6,8
44	6,7	0,98	0,289	7,3
46	7,8	1,05	0,312	7,9
48	8,9	1,14	0,336	8,5
50	10	1,23	0,362	9,2
60	15,6	1,76	0,522	13,3
70	21,1	2,50	0,739	18,8
80	26,7	3,49	1,032	26,2
90	32,2	4,81	1,422	36,1
100	37,8	6,55	1,933	49,1
110	43,3	8,79	2,597	66
120	48.9	11,67	3,448	87,6
130	54,4	15,32	4,527	115,0
140	60,0	19,91	5,881	149,4
150	65,6	25,62	7,573	192,4
160	71,1	32,67	9,656	245,3
170	76,7	41,30	12,203	310
180	82,2	51,76	15,295	388,5
190	87,8	64,35	19,017	483
200	93,3	79,42	23,468	596,1
210	98,9	97,31	28,754	730,4
212	100	101,26	29,921	760

ANEXO 4

TABLA DE RELACIÓN PRESIÓN/TEMPERATURA DE REFRIGERANTES EN MM HG DE VACIO KPA (CON RESPECTO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA).

TEMP.		REFRIGERANTE			
ºF	ºC	12	22	134ª	502
-60	-51,1	482,6	304,8		182,8
-55	-8,3	439,4	233,6		96,5
-50	-45,6	391,1	167,4		5,1
-45	-42,8	337,8	68,5		13,09
-40	-40	279,4	3,45	373,3	28,25
-35	-37,2	213,3	17,91	314,9	44,79
-30	-34,4	139,7	33,76	246,3	63,39
-25	-31,7	58,4	50,99	172,7	83,37
-20	-28,9	4,13	69,59	91,4	105,42
-18	-27,8	8,96	77,86	56,8	115,07
-16	-26,7	13,78	86,13	17,7	124,71
-14	-25,6	19,29	95,08	2,07	134,36
-12	-24,4	24,80	104,04	8,27	144,69
-10	-23,3	31,01	113,69	13,78	155,72
-8	-22,2	37,21	123,33	19,29	166,74
-6	-21,1	43,41	132,98	25,49	177,77
-4	-20	49,61	143,32	31,69	189,48
-2	-18,9	56,50	154,34	37,90	201,88
0	-17,8	63,39	165,36	44,79	214,29
1	-17,2	66,83	170,88	48,23	220,49
2	-16,7	70,28	176,39	51,68	226,69
3	-16,1	73,73	181,90	55,12	233,58
4	-15,6	77,17	188,10	59,26	240,47
5	-15	8130	194,30	62,70	246,67
6	-14,4	84,75	200,50	66,83	253,56
7	-13,9	88,88	206,71	70,28	261,14
8	-13,3	93,02	212,91	74,41	268,03
9	-12,8	96,46	219,11	78,55	274,92
10	-12,2	100,60	226,00	81,99	282,50
11	-11,7	104,73	232,20	86,13	290,08
12	-11,1	108,87	239,09	90,95	297,66
13	-10,6	113,00	245,98	95,08	305,24
14	-10	117,82	252,87	99,22	312,82
15	-9,4	121,96	259,76	104,04	320,39
16	-8,9	126,78	266,65	108,18	328,66
17	-8,3	130,91	274,23	113,00	336,24
18	-7,8	135,74	281,12	117,82	344,51
19	-7,2	140,56	288,70	121,96	352,78
20	-6,7	144,69	296,28	126,78	361,05
21	-6,1	149,52	303,86	132,29	370,00
22	-5,6	154,34	312,13	137,11	378,27
23	-5	159,85	319,71	141,94	387,23
24	-4,4	164,68	327,97	147,45	396,19
25	-3,9	169,50	336,24	151,58	405,14
26	-3,3	175,01	343,82	157,79	414,10

TEMP.		REFRIGERANTE			
27	-2,8	179,83	352,78	163,30	423,75
28	-2,2	185,35	361,05	168,81	432,70
29	-1,7	190,86	369,31	174,32	442,35
30	-1,1	195,68	378,27	179,83	452,00
31	-0,6	201,19	387,23	185,35	461,64
32	0	207,40	396,19	191,55	471,29
33	0,6	212,91	405,14	197,75	481,62
34	1,1	218,42	414,10	203,26	491,27
35	1,7	224,62	423,75	209,46	501,61
36	2,2	230,13	432,70	215,66	511,94
37	2,8	236,33	442,35	221,86	522,28
38	3,3	242,54	452,00	228,75	533,30
39	3,9	248,74	462,33	234,96	544,33
40	4,4	254,94	471,98	241,85	554,66
41	5	261,14	482,31	248,05	565,69
42	5,6	267,4	491,96	254,94	577,40
43	6,1	274,23	502,98	261,83	588,42
44	6,7	280,43	51332	268,72	599,45
45	7,2	287,2	523,66	276,30	611,16
46	7,8	293,52	534,68	283,19	622,87
47	8,3	300,41	545,70	290,77	63439
48	8,9	307,30	556,73	29835	646,99
49	9,4	314,88	567,75	305,92	658,70
50	10	321,77	578,78	313,50	671,11
55	12,8	358,29	638,03	353,47	734,50
60	15,6	397,56	700,04	394,81	802,02
65	18,3	439^9	766,19	441,66	872,99
70	21,1	483,69	836,47	490,58	948,09
75	23,9	53035	910,88	542,26	1027,33
80	26,7	580,15	989,43	598,07	1110,70
85	29,4	632,52	1072,80	656,64	1198,89
90	32,2	687,64	1160,31	719,34	1291,22
95	35	745,52	1252,64	785,48	1387,69
100	37,8	807,53	1349,79	855,76	1489,66
105	40,6	87230	1452,45	930,18	1596,46
110	43,3	939,82	1559,94	1008,73	1708,08
115	46,1	1011,48	1672,25	1092,10	1825,21
120	48,9	1085,90	1790,76	1179,60	1947,86
125	51,7	1165,13	1914,79	1271,93	2076,71
130	54,4	1247,13	2045,01	1369,08	2210,38
135	57,2	1333,25	2181,44	1471,06	2350,94
140	60	1423,52	2323,38	1578,54	2498,39
145	62,8	1517,91	2472,89	1691,54	2652,73
150	65,6	1616,44	2628,61	1810,06	2813,96
155	68,3	1719,10	2791,22	1934,08	2982,77

Vacío: Número en Rojo

Presión Manométrica: Números en negrita

ANEXO 5

LISTA PARCIAL DE PROPIEDADES DE UNA TABLA PARA R-22.

TEMP. ℉	PRESIÓN		VOLUMEN ft-Vlb		DENSIDAD ft^b		ENTALPÍA Btu/lb			ENTROPÍA Btu/(lb)(℉)	
	Psia	Psig	Líquido Vf	Vapor	Líquido 1/V,	Vapor 1/V,	Líquido h,	Latente	Vapor	Líquido sf	Vapor
10	47.464	32.768	0.012088	1.1290	82.724	0.88571	13.104	92.338	105.442	0.02932	0.22592
11	48.423	33.727	0.012105	1.1077	82.612	0.90275	13.376	92.162	105.538	0.02990	0.22570
12	49.396	34.700	0.012121	1.0869	82.501	0.92005	13.648	91.986	105.633	0.03047	0.22548
13	50.384	35.688	0.012138	1.0665	82.389	0.93761	13.920	91.808	105.728	0.03104	0.22527
14	51.387	36.691	0.012154	1.0466	82.276	0.95544	14.193	91.630	105.823	0.03161	0.22505
15	52.405	37.709	0.012171	1.0272	82.164	0.97352	14.466	91.451	105.917	0.03218	0.22484
16	53.438	38.742	0.012188	1.0082	82.051	0.99188	14.739	91.272	106.011	0.03275	0.22463
17	54.487	39.791	0.012204	0.98961	81.938	1.0105	15.013	91.091	106.105	0.03332	0.22442
18	55.551	40.855	0.012221	0.97144	81.825	1.0294	15.288	90.910	106.198	0.03389	0.22421
19	56.631	41.935	0.012238	0.95368	81.711	1.0486	15.562	90.728	106.290	0.03446	0.22400
20	57.727	43.031	0.012255	0.93631	81.597	1.0680	15.837	90.545	106.383	0.03503	0.22379
21	58.839	44.143	0.012273	0.91932	81.483	1.0878	16.113	90.362	106.475	0.03560	0.22358
22	59.967	45.271	0.012290	0.90270	81.368	1.1078	16.389	90.178	106.566	0.03617	0.22338
23	61.111	46.415	0.012307	0.88645	81.253	1.1281	16.665	89.993	106.657	0.03674	0.22318
24	62.272	47.576	0.012325	0.87055	81.138	1.1487	16.942	89.807	106.748	0.03730	0.22297
25	63.450	48.754	0.012342	0.85500	81.023	1.1696	17.219	89.620	106.839	0.03787	0.22277
26	64.644	49.948	0.012360	0.83978	80.907	1.1908	17.496	89.433	106.928	0.03844	0.22257
27	65.855	51.159	0.012378	0.82488	80.791	1.2123	17.774	89.244	107.018	0.03900	0.22237
28	67.083	52.387	0.012395	0.81031	80.675	1.2341	• 18.052	89.055	107.107	0.03958	0.22217
29	68.328	53.632	0.012413	0.79604	80.558	1.2562	18.330	88.865	107.196	0.04013	0.22198
30	69.591	54.895	0.012431	0.78208	80.441	1.2786	18.609	88.674	107.284	0.04070	0.22178
31	70.871	56.175	0.012450	0.76842	80.324	1.3014	18.889	88.483	107.372	0.04126	0.22158
32	72.169	57.473	0.012468	0.75503	80.207	1.3244	19.169	88.290	107.459	0.04182	0.22139
33	73.485	58.789	0.012486	0.74194	80.089	1.3478	19.449	88.097	107.546	0.04239	0.22119
34	74.818	60.122	0.012505	0.72911	79.971	1.3715	19.729	87.903	107.632	0.04295	0.22100
35	76.170	61.474	0.012523	0.71655	79.852	1.3956	20.010	' 87.708	107.719	0.04351	0.22081
36	77.540	62..844	0.012542	0.70425	79.733	1.4199	20.292	87.512	107.804	0.04407	0.22062
37	78.929	64.233	0.012561	0.69221	79.614	1.4447	20.574	87.316	107.889	0.04464	0.22043
38	80.336	65.640	0.012579	0.68041	79.495	1.4697	20.856	87.118	107.974	0.04520	0.22024
39	81.761	67.065	0.012598	0.66885	79.375	1.4951	21.138	86.920	108.058	0.04576	0.22005
40	83.206	68.510	0.012618	0.65753	79.255	1.5208	21.422	86.720	108.142	0.04632	0.21986
41	84.670	69.974	0.012637	0.64643	79.134	1.5469	21.705	86,520	108.225	0.04688	0.21968
42	86.153	71.457	0.012656	0.63557	79.013	1.5734	21.989	86.319	108.308	0.04744	0.21949
43	87.655	72.959	0.012676	0.62492	78.892	1.6002	22.273	86.117	108.390	0.04800	0.21931
44	89.177	74.481	0.012695	0.61448	78.770	1.6274	22.558	85.914	108.472	0.04855	0.21912
45	90.719	76.023	0.012715	0.60425	78.648	1.6549	22.843	85.710	108.553	0.04911	0.21894
46	92.280	77.584	0.012735	0.59422	78.526	1.6829	23.129	85.506	108.634	0.04967	0.21876
47	93.861	79.165	0.012755	0.58440	78.403	1.7112	23.415	85.300	108.715	0.05023	0.21858
48	95.463	80.767	0.012775	0.57476	78.280	1.7398	23.701	85.094	108.795	0.05079	0.21839
49	97.085	82.389	0.012795	0.56532	78.157	1.7689	23.988	84.886	108.874	0.05134	0.21821
50	98.727	84.031	0.012815	0.55606	78.033	1.7984	24.275	84.678	108.953	0.05190	0.21803
51	100.39	85.69	0.012836	0.54698	77.909	1.8282	24.563	84.468	109.031	0.05245	0.21785
52	102.07	87.38	0.012856	0.53808	77.784	1.8585	24.851	84.258	109.109	0.05301	0.21768
53	103.78	89.08	0.012877	0.52934	77.659	1.8891	25.139	84.047	109.186	0.05357	0.21750
54	105.50	90.81	0.012898	0.52078	77.534	1.9202	25.429	83.834	109.263	0.05412	0.21732
55	107.25	92.56	0.012919	0.51238	77.408	1.9517	25.718	83.621	109.339	0.05468	0.21714
56	109.02	94.32	0.012940	0.50414	77.282	1.9836	26.008	83.407	109.415	0.05523	0.21697
57	110.81	96.11	0.012961	0.49606	77.155	2.0159	26.298	83.191	109.490	0.05579	0.21679
58	112.62	97.93	0.012982	0.48813	77.028	2.0486	26.589	82.975	109.564	0.05634	0.21662
59	114.46	99.76	0.013004	0.48035	76.900	2.0818	26.880	82.758	109.638	0.05689	0.21644
60	116.31	101.62	0.013025	0.47272	76.773	2.1154	27.172	82.540	109.712	0.05745	0.21627
61	118.19	103.49	0.013047	0.46523	76.644	2.1495	27.464	82.320	109.785	0.05800	0.21610
62	120.09	105.39	0.013069	0.45788	76.515	2.1840	27.757	82.100	109.857	0.05855	0.21592
63	122.01	107.32	0.013091	0.45066	76.386	2.2190	28.050	81.878	109.929	0.05910	0.21575
64	123.96	109.26	0.013114	0.44358	76.257	2.2544	28.344	81.656	110.000	0.05966	0.21558

ANEXO 6

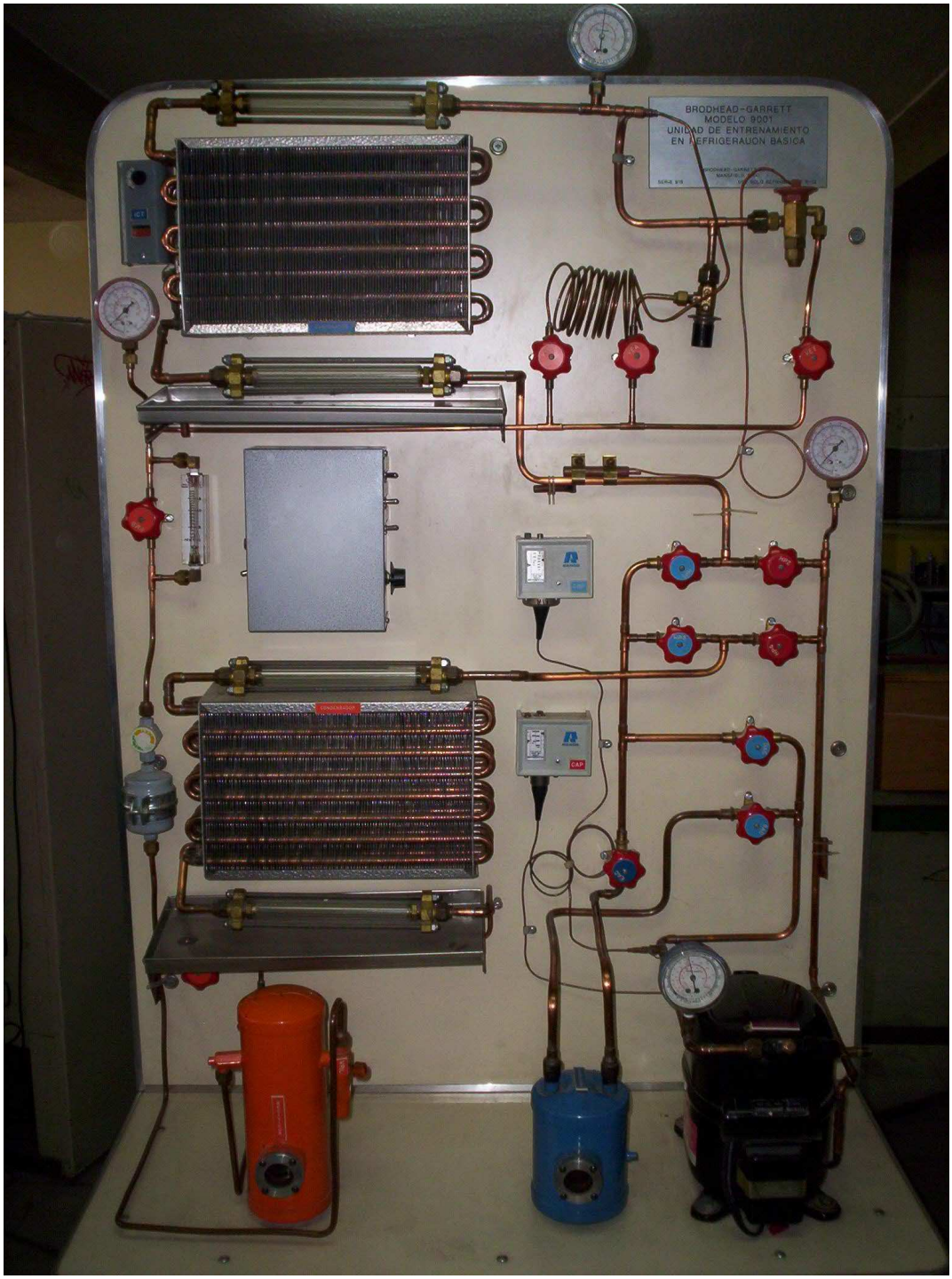
LISTA DÉ REFRIGERANTES CON INDICACIÓN DE ALGUNAS DE SUS CARACTERÍSTICAS.

Designación estándar del refrigerante	Nombre químico	Punto de ebullición ℃	Fórmula Química	Peso Molecular
11	Triclorofluorometano	23,8	CC_3F	137,4
12	Diclorodifluorometano	-29,8	CCl_2F_2	120,9
13	Clorotrifkiorometano	-81,4	$CClF_3$	104,5
22	Clorodifluorometano	-40,8	$CHClF_2$	86,5
30	Cloruro de metileno	40.7	CH_2Cl_2	84,9
40	Cloruro de metilo	-23,8	CH_3Cl	.50,5
50	Metano	-161,7	CH_4	16,0
113	Triclorotrifiuoroetano	47,6	CCl_2FCClF_2	187,4
114	Diclorotetrafluoroetano	3,6	$CClF_2CClF_2$	170,9
,123	Diclorotrifluoroetano	27,9	CCl_2HCF_3	152,93
134ª	Tetrafluoroetano	-26,2	CF_3CFH_2	102,03
170	Etano	-88,6	CH_3CH_3	30,0
290	Propano	-42,2	$CH_3CH_2CH_3$	44,0
500*	Refrigerantes 12/152a; 73,8/26,2% (Wt)	-33,3	CCl_2F_2/CH_3CHF_2	99,3
502*	Refrigerantes 22/115; 48,8/51,2% (Wt)	-5,6	$CHClF_2/CClF_2CF_3$	112,0
601	Isobutano	-10.0	$CH(CH_3)_3$	58,1
717	Amoníaco	-33,3	NH_3	17,0
718	Agua	100,0	H_20	18,0

* Indica mezcla azeotrópica.

ANEXO 7

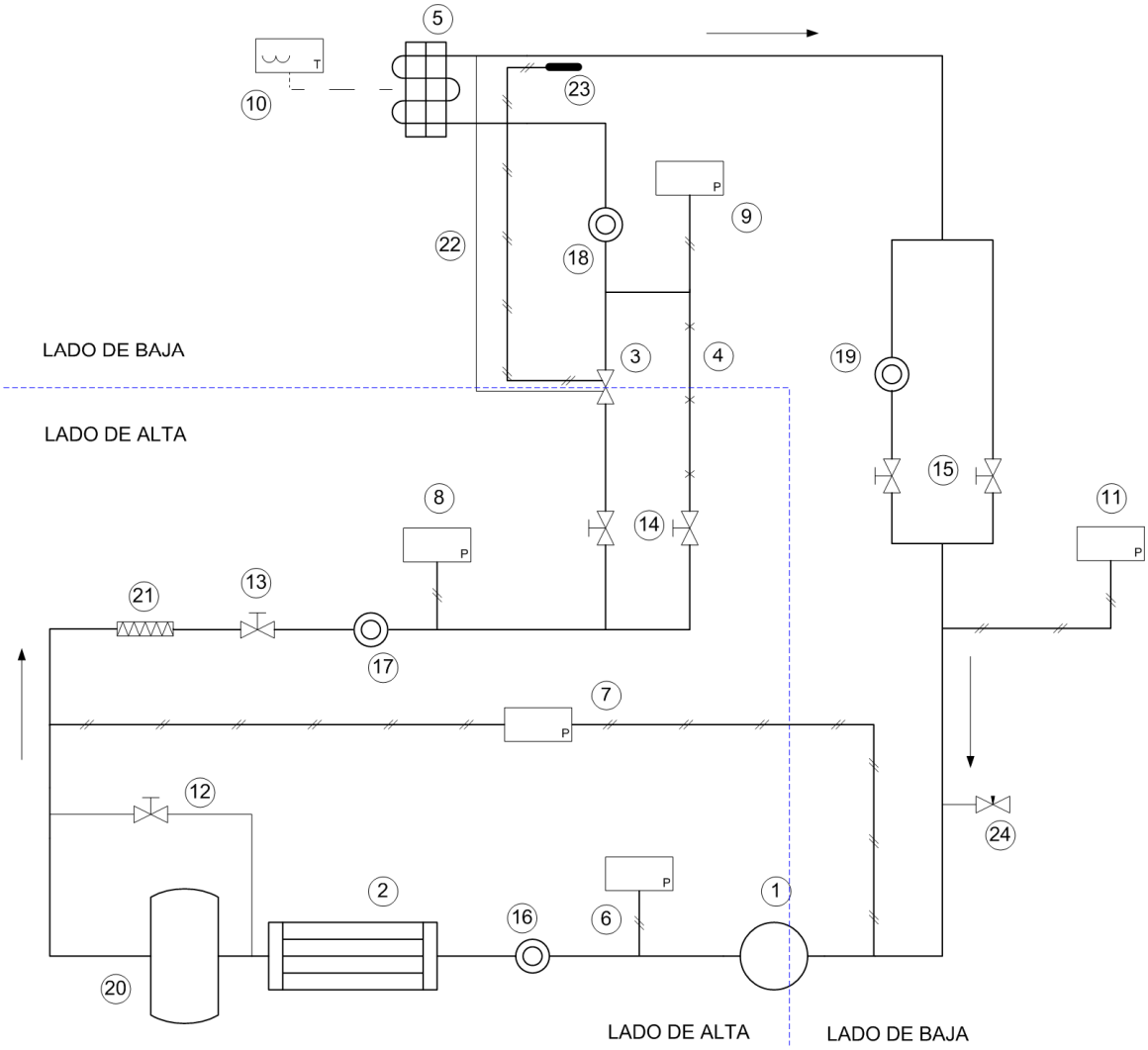
MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN DEL COLEGIO CENTRAL TÉCNICO.



Anexo 7. Módulo Didáctico de Refrigeración del colegio Central Técnico

ANEXO 8

MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR)



Elementos básicos

1. Compresor
2. Condensador
3. Válvula de expansión (dosificador de refrigerante)
4. Tubo capilar (dosificador de refrigerante)
5. Evaporador

Elementos de control

6. Manómetro de lado de alta 1
7. Presostato
8. Manómetro de lado de alta 2
9. Manómetro de lado de baja 1
10. Termostato
11. Manómetro de lado de baja 1

Accesorios y elementos de maniobra

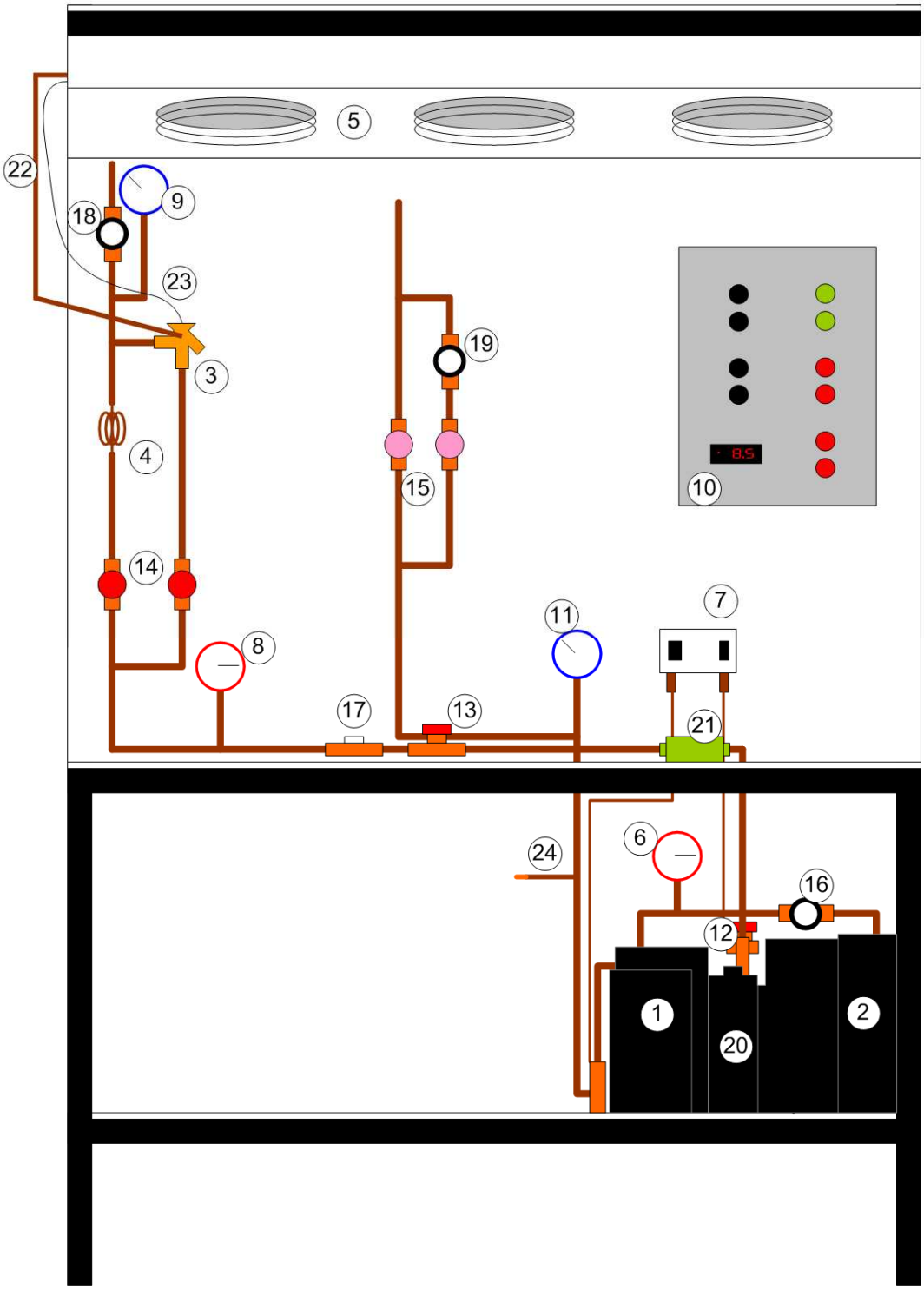
12. Válvula de by pass de tanque de líquidos
13. Válvula de paso (lado de alta)
14. Válvulas selectoras de dosificador
15. Válvulas de paso de visor
16. Visor de lado de alta 1
17. Visor de lado de alta 2
18. Visor de lado de baja 1
19. Visor de lado de alta 2

Accesorios de común utilización

20. Tanque de líquidos
21. Filtro
22. Ecualizador de válvula de expansión
23. Bulbo sensor de válvula de expansión
24. Válvula de Carga

ANEXO 9

DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN (MDR)



Nota: La designación de las diferentes partes del MDR son correspondientes al Anexo 8.

EVAPORADOR
VISOR DE BAJA 1
MANOMETRO DE BAJA 1
VALVULA DE EXPANSION
VISOR DE BAJA 2
VALVULAS DE VISOR
TUBO CAPILAR
VALVULAS DE DOSIFICADORES
ENCENDIDO
COMPRESOR
EVAPORADOR FALLA 1
EVAPORADOR FALLA 2
TERMOSTATO
FALLA ALTA PRESION
FALLA BAJA PRESION
PRESOSTATO
VALVULA DE CARGA
TANQUE DE LIQUIDOS

ANEXO 10

DATOS DE RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR ANTES DE CONGELACIÓN

Modelo del enfriador unitario Wall Jet	Capacidad de la unidad BTU/HR		Ventilador		HP del motor 120/1/60†	Amp. totales del motor del ventilador 120V
	@ 10ºF DT	@ 15ºF DT	CFM	Tamaño en pulg		
WJ35*	3,500	5,250	625	10	1/20	0.82
WJ45*	4,500	6,750	725	10	1/20	0.82
WJ65	6,500	9,750	1050	12	1/10	1.70
WJ85	8,500	12,750	1300	12	1/10	1.70
WJ105	10,500	15,750	1600	14	1/6	1.70
WJ120	12,000	18,000	1800	14	1/6	1.70
WJ150	15,000	22,500	2375	16	1/6	1.70
WJ180	18,000	27,000	2900	16	1/6	1.70
WJ240	24,000	36,000	4000	16	1/2	3.00

Modelo del enfriador unitario Wall Jet	Intercambiador de calor opcional recomendado	Entrada del serpentín	Conexiones** Diám. exter. De la sección	Diám. exter. del drenaje	Peso aprox. de embarque en libras
WJ35*	B 25XS	1/2 FL	1/2	1 1/8	40
WJ45*	B 25XS	1/2 FL	1/2	1 1/8	46
WJ65	B 50XS	1/2 FL	1/2	1 1/8	52
WJ85	B 75XS	1/2 FL	3/4	1 1/8	60
WJ105	B 75XS	1/2 FL	3/4	1 1/8	66
WJ120	B 75XS	1/2 FL	3/4	1 1/8	72
WJ150	B 120XS	1/2 FL	7/8	1 1/8	82
WJ180	B 120XS	1/2 FL	7/8	1 1/8	88
WJ240	B 200XS	1/2 FL	1 1/8	1 1/8	108

ANEXO 11.

DATOS DEL RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR POR DEBAJO DEL PUNTO DE CONGELACIÓN

Modelo	Capacidad (Btu/h)			Datos del ventilador			Datos de motores				Conexiones		
							Watts*	Estándar 208-240/1/60		Amperes opcionales 115/1/60 @ 115 V			
	@ 10ºF TD	@ 12ºF TD	@ 15ºF TD	pie^3/m	Cantidad	Tamaño		Amperes @ 240 V	Amperes @ 208 V		Líquidos Fl† (pulg)	Succión diám. ext. (pulg)	Drenaje diám. ext. (pulg)
NDE 45	**4,500**	**5,400**	**6,750**	**740**	**1**	**10"**	**105**	**0.82**	**0.76**	**1.5**	**1/2**	**½**	**1 1/8**
NDE 65	**6,500**	**7,800**	**9,750**	**880**	**1**	**10"**	**105**	**0.82**	**0.76**	**1.5**	**1/2**	**½**	**1 1/8**
NDE 85	**8,500**	**10,200**	**12,750**	**1,180**	**2**	**10"**	**210**	**1.64**	**1.52**	**3.0**	**1/2**	**5/8**	**1 1/8**
NDE 105	**10,500**	**12,600**	**15,750**	**1,420**	**2**	**10"**	**210**	**1.64**	**1.52**	**3.0**	**1/2**	**5/8**	**1 1/8**
NDE 120	**12,000**	**14,400**	**18,000**	**1,620**	**2**	**10"**	**210**	**1.64**	**1.52**	**3.0**	**1/2**	**5/8**	**1 1/8**
NDE 150	**15,000**	**18,000**	**22,500**	**2,080**	**3**	**10"**	**315**	**2.46**	**2.28**	**4.5**	**1/2**	**5/8**	**1 1/8**
NDE 180	**18,000**	**21,600**	**27,000**	**2,340**	**3**	**10"**	**315**	**2.46**	**2.28**	**4.5**	**5/8**	**7/8**	**1 1/8**
NDE 280	**28,000**	**33,600**	**42,000**	**3,580**	**4**	**10"**	**420**	**3.24**	**3.04**	**6.0**	**5/8**	**1 1/8**	**1 1/8**

† **Vávulas de expansión de cualización externa deben utilizarse en todos los modelos.**

* **Los watts o los amperes son totales para todos los motores del ventilador**

Modelo	Carga de refrig. Aprox. en libras	Intercambiador de calor opcional recomendado	Peso al embarque aprox. en libras	Datos electrónicos de descongelación							
				Estándar† 240/1/60		Opcional 220/3/60		Opcional 480/1/60		Opcional 440/3/60	
				Amperes	Watts	Amperes	Watts	Amperes	Watts	Amperes	Watts
NDE 45	**1.53**	**B 50 XS**	**80**	**6.6**	**1580**	**5.25**	**1450**	**3.30**	**1580**	**2.61**	**1450**
NDE 65	**2.24**	**B 75 XS**	**95**	**9.1**	**2180**	**7.15**	**2000**	**4.50**	**2180**	**3.41**	**2000**
NDE 85	**2.75**	**B 75 XS**	**110**	**11.6**	**2780**	**9.25**	**2540**	**5.80**	**2780**	**4.36**	**2540**
NDE 105	**3.56**	**B 120 XS**	**125**	**14.1**	**3380**	**11.30**	**3100**	**7.10**	**3380**	**5.30**	**3100**
NDE 120	**4.08**	**B 120 XS**	**140**	**16.6**	**3980**	**13.20**	**3640**	**8.30**	**3980**	**6.23**	**3640**
NDE 150	**5.10**	**B 200 XS**	**160**	**20.0**	**4780**	**15.90**	**4380**	**10.00**	**4780**	**7.50**	**4380**
NDE 180	**5.60**	**B 200 XS**	**175**	**21.5**	**5160**	**17.20**	**4720**	**10.80**	**5160**	**8.60**	**4720**
NDE 280	**8.60**	**B 500 XS**	**200**	**24.8**	**5960**	**19.70**	**5460**	**12.40**	**5960**	**9.85**	**5460**

† **Unidades estándares de almacén.**

Descongelaciópn eléctrica

Descongelación monofásica			Descongelación trifásica		
Unidades NDE	Número de unidades	Conjunto número	Unidades NDE	Número de unidades	Conjunto número
45 hasta 280	**1**	**1D**	**45 hasta 280**	**1**	**4D**
45 hasta 105	**2***	**1D**	**45 hasta 120**	**2***	**4D**
120 hasta 280	**2***	**22D**	**150 hasta 280**	**2***	**23D**

*** Se puede utilizar cualquier combinación de unidades.**

ANEXO 12.

DATOS DE RENDIMIENTO TÍPICOS DE UNA UNIDAD DE CONDENSACIÓN

HP	60 Hz AH/AWH	50 Hz AH/AWH	Temp. de aire ambiente ºF	Baja temperatura				Temperatura comercial				Alta temperatura		
				Temperatura de succión saturada ºF										
				-40ºF	-30ºF	-20ºF	-10ºF	0ºF	10ºF	20ºF	25ºF	30ºF	40ºF	50ºF
				Presión de succión - Psig o pulg de mercurio vacío										
				10.9*	5.5*	0.6	4.5	9.2	14.64	21.04	24.61	28.45	36.97	46.70
				Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h
1/2	Δ5HCL		90	–	1,370	1,900	2,600	3,350	4,150	5,000	5,400	6,000	6,900	7,800
			100	–	1,250	1,750	2,350	3,050	3,800	4,650	5,100	5,800	6,700	7,600
3/4	Δ8HCL		90	–	1,550	2,200	3,000	3,800	4,700	5,700	6,250	6,700	7,900	9,500
			100	–	1,400	2,000	2,700	3,500	4,400	5,400	5,950	6,500	7,700	9,000
	Δ9HCL		90	–	1,950	2,750	3,700	4,700	5,800	7,050	7,800	8,400	9,700	11,100
			100	–	1,750	2,500	3,400	4,350	5,400	6,500	7,200	7,700	8,900	10,200
1	Δ10HCL		90	–	2,250	3,200	4,350	5,550	6,900	8,300	9,150	9,800	11,400	13,000
			100	–	2,050	2,850	3,900	5,100	6,450	7,850	8,700	9,400	11,000	12,600
	Δ11HCL**		90	2,070	2,900	4,150	5,600	7,100	8,800	10,600	11,700	12,500	14,6	16,600
			100	1,850	2,650	3,800	5,100	6,600	8,400	10,000	11,100	12,000	14,100	16,100
11/2	15H	15H5	90	–	–	–	–	–	11,800	12,200	13,400	14,600	16,800	18,900
			100	–	–	–	–	–	9,700	11,600	12,600	13,600	15,900	18,000
	15C	15C5	90	–	–	–	7,100	9,300	11,500	14,500	16,000	–	–	–
			100	–	–	–	6,500	8,700	10,900	13,600	15,300	–	–	–
	15L	15L5	90	2,800	4,200	5,800	7,600	9,600	–	–	–	–	–	–
			100	2,500	3,700	5,400	7,000	8,900	–	–	–	–	–	–
2	20H	20H5	90	–	–	–	–	–	14,500	16,500	17,500	19,000	22,000	26,000
			100	–	–	–	–	–	12,000	14,500	15,500	17,000	20,000	23,000
	20C	20C5	90	–	–	–	8,600	11,300	15,400	17,500	19,400	–	–	–
			100	–	–	–	8,100	10,600	14,000	16,200	18,000	–	–	–
	20L	22L5	90	3,600	5,500	7,500	9,800	12,200	–	–	–	–	–	–
			100	3,400	5,000	7,000	9,100	11,400	–	–	–	–	–	–
3	30H	32H5	90	–	–	–	–	–	18,000	23,000	25,500	28,000	32,500	38,000
			100	–	–	–	–	–	17,000	21,500	24,000	26,000	30,500	35,400
	30C	30C5	90	–	–	–	–	18,600	23,000	28,700	32,000	–	–	–
			100	–	–	–	–	17,300	21,500	27,000	30,000	–	–	–
	32C		90	–	–	–	12,500	16,200	19,900	25,400	28,200	–	–	–
			100	–	–	–	11,500	15,000	18,500	24,000	26,400	–	–	–
	30L	30L5	90	6,000	8,500	12,000	16,000	20,500	–	–	–	–	–	–
			100	5,400	8,000	11,000	15,000	19,000	–	–	–	–	–	–
		41PL5	90	6,560	9,700	13,900	18,900	24,100	–	–	–	–	–	–
			100	6,070	9,000	12,400	17,500	22,500	–	–	–	–	–	–

HP	60 Hz	50 Hz	Temp. de aire ambiente ºF	Baja temperatura				Temperatura comercial				Alta temperatura		
				Temperatura de succión saturada ºF										
				-40ºF	-30ºF	-20ºF	-10ºF	0ºF	10ºF	20ºF	25ºF	30ºF	40ºF	50ºF
				Presión de succión - Psig o pulg de mercurio vacío										
	AH/AWH	AH/AWH		10.9*	5.5*	0.6	4.5	9.2	14.64	21.04	24.61	28.45	36.97	46.70
				Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h
5	50H	50H5	90	–	–	–	–	–	30,000	37,500	41,000	45,000	52,500	61,500
			100	–	–	–	–	–	29,300	36,000	39,000	42,700	50,000	58,500
	50C	51PC5	90	–	–	–	21,300	27,400	33,500	41,800	46,300	–	–	–
			100	–	–	–	18,600	24,600	30,600	38,300	43,000	–	–	–
	51PL		90	8,000	11,800	17,000	23,000	29,400	–	–	–	–	–	–
			100	7,400	11,000	15,100	21,300	27,400	–	–	–	–	–	–
		51PH5	90	–	–	–	–	–	37,200	46,500	50,800	55,800	65,100	76,300
			100	–	–	–	–	–	36,300	44,600	48,400	53,000	62,000	72,500
		62PC5	90	–	–	–	26,200	3,700	41,200	51,400	57,000	–	–	–
			100	–	–	–	22,900	30,200	37,600	47,100	52,900	–	–	–
		61PL5	90	9,800	14,500	20,900	28,300	36,200	–	–	–	–	–	–
			100	9,100	13,500	18,600	26,200	3,700	–	–	–	–	–	–
71/2	76PH/C		90	–	–	–	26,500	34,000	41,500	54,000	60,000	67,000	84,500	105,000
			100	–	–	–	23,900	32,400	38,000	50,500	56,000	62,500	78,500	96,000
	77PC	77PC5	90	–	–	–	32,000	41,000	54,000	67,000	75,000	–	–	–
			100	–	–	–	30,000	39,000	50,000	63,500	70,000	–	–	–
	76PL	75PL5	90	10,700	16,600	25,400	35,400	47,100	–	–	–	–	–	–
			100	9,700	15,500	23,300	32,600	43,500	–	–	–	–	–	–
		77PH5	90	–	–	–	–	–	50,400	66,400	73,800	82,400	104,000	129,000
			100	–	–	–	–	–	46,700	62,100	68,900	76,900	96,600	118,000
10	101PH	101PH5	90	–	–	–	–	–	68,900	90,600	100,700	112,300	141,700	176,100
			100	–	–	–	–	–	64,600	84,700	93,900	104,800	131,700	161,000
	101PC	101PC5	90	–	–	–	40,000	51,300	67,500	83,800	93,800	–	–	–
			100	–	–	–	37,500	48,800	62,500	79,400	87,500	–	–	–
	104PC		90	12,500	20,000	30,000	46,000	61,000	–	–	–	–	–	–
			100	11,750	18,800	28,200	43,300	57,400	–	–	–	–	–	–
7	D154PH		90	–	–	–	–	–	74,800	101,200	106,400	119,000	147,600	182,000
			100	–	–	–	–	–	70,600	92,700	99,300	111,000	137,000	166,200
	154PC†		90	–	–	–	42,700	56,800	71,200	95,900	–	–	–	–
			100	–	–	–	39,400	52,500	67,200	89,600	–	–	–	–

† Esta unidad no operará en temperaturas de succión superiores a 20ºF. Δ Unidades AH únicamente.
** No está disponible para aplicaciones de +30 a +50ºF SST 208V/1 fase

* Pulgadas de mercurio por debajo de una atmósfera

ANEXO 13.

MANUAL DEL TERMOSTATO EKC 101

Controlador electrónico
EKC 101

REFRIGERATION AND
AIR CONDITIONING

Especificación técnica

Introducción

La EKC 101 para montaje en panel han sido especialmente desarrollados para tareas de control en instalaciones de refrigeración y calefacción, para que las operaciones de ajuste y programación se optimicen y simplifiquen tanto como sea posible.

El controlador está diseñado para controlar la temperatura de cámaras el desescarche en instalaciones de parada por baja presión o por parada directa del compresor.

EKC 101 se utilizan para

- *Control de temperatura en plantas de refrigeración y calefacción*
- *Control de desescarche natural en plantas de refrigeración.*

Con solo dos pulsadores, se puede ajustar y programar todas las funciones

- El controlador se puede programar rapidamente por medio de un interface serie (equipo especial de programación para OEMs)

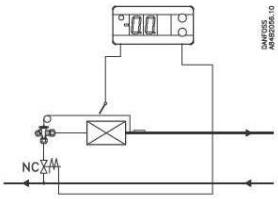
El display muestra la temperatura ambiente actual

- El controlador de dos dígitos, mostrará la temperatura en grados C.
- El controlador con tres dígitos, mostrará la temperatura en grados C con un decimal.

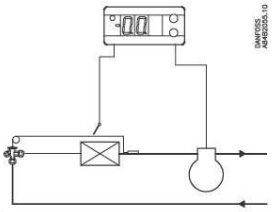
Características

- Un controlador electrónico, puede sustituir a un termostato tradicional y a un reloj de desescarche.
- Se puede regular tanto para instalaciones de frio como de calor.
- La lectura del display indica; temperaturas, códigos de parámetros así como códigos de alarma y error.
- Un LED indica si la planta está en funcionamiento.
- Rearme sencillo a ajuste de fábrica
- Cuando hay algun error, aparece en pantalla el mensaje „Er“.

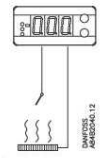
Ejemplo de aplicación



Control de temperatura ambiente y parada por baja presión
Desescarche natural



Control de temperatura ambiente por arranque/ parada de compresor. Desescarche natural a la parada del compresor



Características técnicas

Alimentación de tensión
230 V c.a. +10/–15 %
50/60 Hz

Consumo de potencia 2.5 VA

Sensor
Tipo EKS 111
PTC (R_{25} = 1000 ohm)
Longitud del cable max. 10 m

Sistema controlador-sensor
Rango de medida –60 → +50ºC
0 → +99ºC
Precisión ±1ºC
para temperaturas de sensor de 0 → +10ºC;
±2ºC
para temperaturas de sensor de –60 → 0ºC y +10 → +50ºC

Display (Pantalla)
Pantalla de lectura de 2 digitos (sin decimal)
Precisión de medida: 1°C

Pantalla de lectura de 3 digitos (con decimal)
Precisión de medida: 0,1°C

Cableado de conexión
Cable de varios hilos de 1,5 mm^2 max

Relés
Relé de controlador, SPDT, 250 V c.a., 16 A
$I_{max.}$ = 10 A Ohmico/6 A AC-8 inductivo

Temperatura ambiente
Funcionamiento –0 → +55ºC
Transporte –40 → +70ºC

20-80% HR sin condensaciones
Sin influencia de vibrationes ni golpes

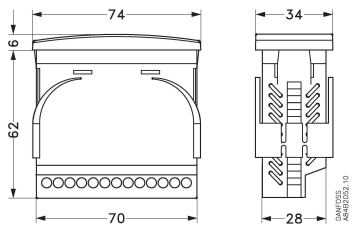
Protección
IP 54

Homologaciones:
Cumple con directivas U.E. de baja tensión y estipulaciones EMC para marcado CE.
Pruebas LVD, según EN 60730-1 y EN 60730-2-9
Pruebas EMC, según EN 50081-1 y EN 50082-1. EN 60730-2-9, A1, A2

Códigos

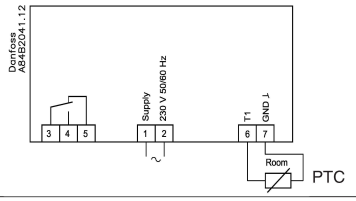
Tipo	Número de dígitos	Aplicación	Sensor	Código
EKC 101	2	Refrigeración / calefacción	Sensor tipo EKS 111 con 1,5 m cable	**084B7620**
	3			**084B7621**

Dimensiones y pesos



EKC 101 para montaje en panel *Peso: 150 g*

Conexionado eléctrico



ANEXO 14

DIÁMETRO DE LA LÍNEA DE SUCCIÓN - R22

Diámetro de la Línea de Succión - R22								
			Temperatura de succión					
			5℃					
Capacidad Frigorífica			Longitud Equivalente (m)					
Btu/h	Kcal/h	W	8m	15m	23m	30m	45m	61m
1000	252	293	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
3000	756	879	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2
4000	1008	1172	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
6000	1512	1758	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2
9000	2268	2637	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8
12000	3024	3516	5/8	8/8	7/8	7/8	7/8	7/8
15000	3780	4395	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8
18000	4536	5274	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8
24000	6048	7032	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8
30000	7560	8790	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
36000	9072	10548	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
42000	10584	12306	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
48000	12096	14064	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
54000	15120	17580	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
60000	15120	17580	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
66000	16632	19338	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8
72000	18144	21096	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8
78000	19656	22854	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
84000	21168	24612	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
90000	22680	26370	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
120000	30240	35160	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8
150000	37800	439500	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
180000	45360	52740	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
210000	52920	61530	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
240000	60480	70320	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8
300000	75600	87900	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
360000	90720	105480	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
480000	120960	140640	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8
600000	151200	175800	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8

ANEXO 15

DIÁMETRO DE LA LÍNEA DE LÍQUIDO - R22

Diámetro de la línea de líquido - R22								
Tanque de líquido para válvula de expansión								
Capacidad Frigorífica			Longitud Equivalente (m)					
Btu/h	Kcal/h	W	8m	15m	23 m	30 m	45 m	61 m
1000	252	293	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
3000	756	879	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
4000	1008	1172	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
6000	1512	1758	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
9000	2268	2637	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
12000	3024	3516	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
15000	3780	4395	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2
18000	4536	5274	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2
24000	6048	7032	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
30000	7560	8790	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
36000	9072	10548	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
42000	10584	12306	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
48000	12096	14064	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
54000	13608	15822	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8
60000	15120	17580	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8
66000	16632	19338	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8
72000	18144	21096	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8
78000	19656	22854	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8
84000	21168	24612	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8
90000	22680	26370	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8
120000	30240	35160	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8
150000	37800	439500	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8
180000	45360	52740	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8
210000	52920	61530	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8
240000	60480	70320	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
300000	75600	87900	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
360000	90720	105480	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
480000	120960	140640	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
600000	151200	175800	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8

ANEXO 16.

MODELO DE UNA PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

PRÁCTICA No.

TEMA: Ciclo de Refrigeración.

OBJETIVOS:

Analizar el ciclo de refrigeración y los Principios de operación de los sistemas de refrigeración

TEORIA:

En un sistema de refrigeración se necesitan controles sobre el nivel de líquido del refrigerante y sobre la temperatura del espacio refrigerado. El control del líquido regula el flujo de refrigerante hacia el evaporador y también sirve como barrera de presión entre la alta presión de operación del condensador y la presión más baja de operación del evaporador. En este punto, el tubo capilar y la válvula de expansión, entre otros dispositivos de expansión, adquieren importancia llegándose a considerar estrictamente necesarios en toda instalación automática de refrigeración. Estos dispositivos constituyen principalmente una restricción colocada en el sistema, la cual hace posible que el compresor por medio de su efecto de bombeo mantenga cierta diferencia de presión. Además, controlan la velocidad de flujo del refrigerante desde el lado de alta presión hacia el de baja. Dada la importancia que revisten, será objeto de la presente práctica la descripción y conocimiento del principio de funcionamiento de los dispositivos de expansión más ampliamente usados como lo son el tubo capilar y la válvula de expansión. Cabe en este punto señalar que el control del líquido por tubo capilar está restringido en gran parte a las unidades relativamente pequeñas, armadas y cargadas en la fábrica y en particular para los sistemas sellados en forma hermética. La válvula de expansión a presión constante que mantiene una presión constante en el evaporador y la válvula de expansión térmica que mantiene un sobrecalentamiento constante al salir del evaporador, son controles estándar del líquido para la mayor parte de las aplicaciones comerciales.

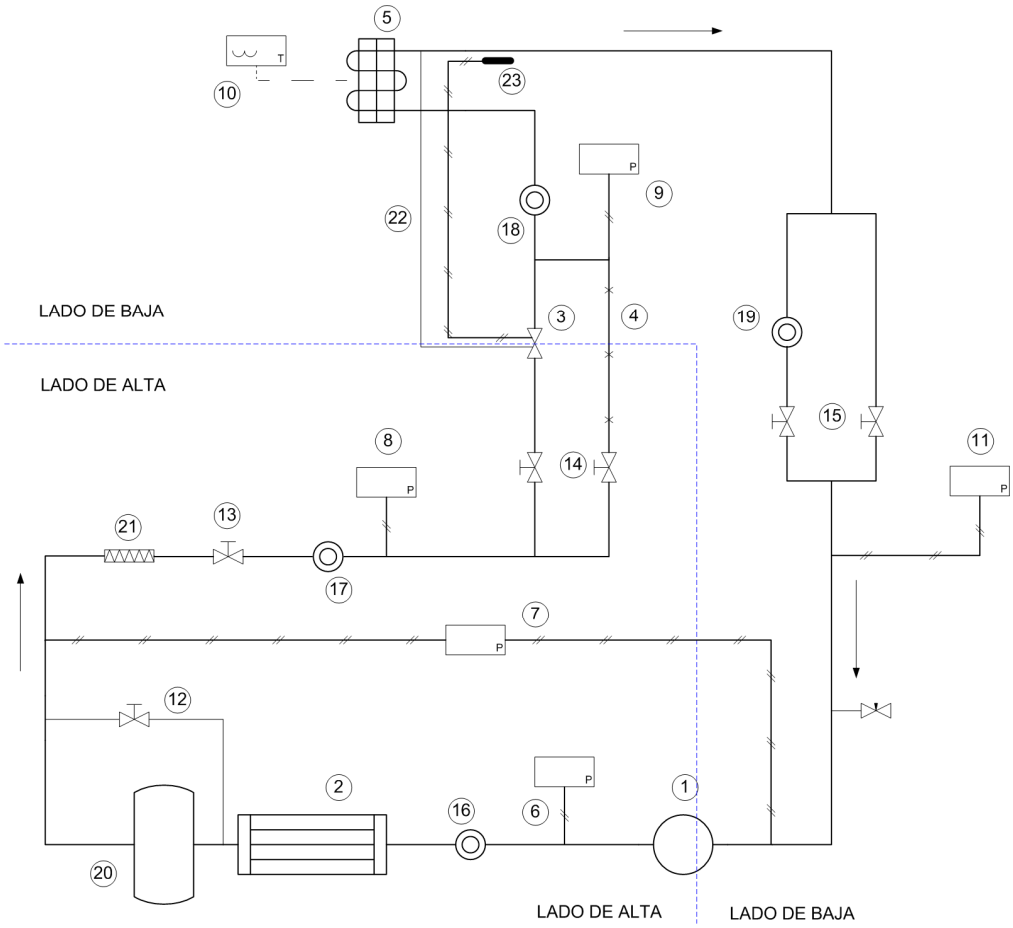
TRABAJO PREPARATORIO

Revisar y hacer un resumen sobre la Teoría acerca del ciclo de refrigeración y sus principales componentes.

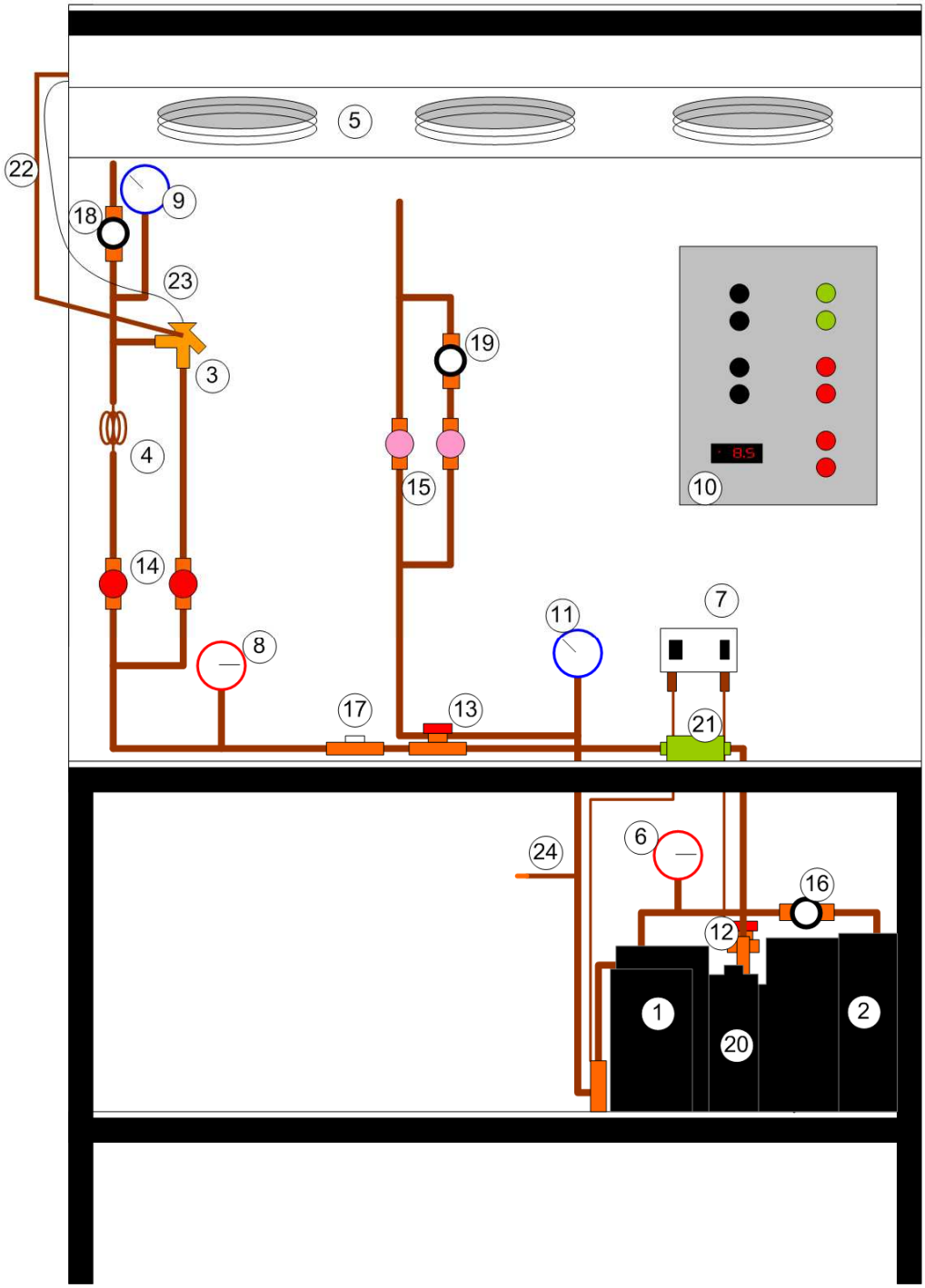
- Evaporador,

- Condensador,
- Compresor
- y dispositivos de dosificación (tubo capilar y válvula de expansión).

Revisar los diagramas del módulo didáctico de refrigeración:



Ciclo de Refrigeración



Modulo Didáctico de Refrigeración

ELEMENTOS BÁSICOS

1. Compresor
2. Condensador
3. Válvula de expansión (dosificador de refrigerante)
4. Tubo capilar (dosificador de refrigerante)
5. Evaporador

ELEMENTOS DE CONTROL

6. Manómetro de lado de alta 1
7. Presostato
8. Manómetro de lado de alta 2
9. Manómetro de lado de baja 1
10. Termostato
11. Manómetro de lado de baja 1

ACCESORIOS Y ELEMENTOS DE MANIOBRA

12. Válvula de by pass de tanque de líquidos
13. Válvula de paso (lado de alta)
14. Válvulas selectoras de dosificador
15. Válvulas de paso de visor
16. Visor de lado de alta 1
17. Visor de lado de alta 2
18. Visor de lado de baja 1
19. Visor de lado de baja 2

ACCESORIOS DE COMÚN UTILIZACIÓN

20. Tanque de líquidos
21. Filtro
22. Ecualizador de válvula de expansión
23. Bulbo sensor de válvula de expansión
24. Válvula de Carga

PROCEDIMIENTOS

Encender el Módulo mediante la Perilla “Encendido” en el panel de control.
Verificar la apertura y cierre adecuados de las diferentes válvulas como se indican a continuación:

- Cerrar la Válvula de By pass.
- Abrir Válvula de Paso de Alta.
- Escoger el método de dosificación mediante las Válvulas de Dosificadores: válvula de expansión o tubo capilar. NO las dos.
- Habilitar al visor de baja 2 mediante las válvulas asociadas a él.
- Encender el Compresor mediante su respectiva perilla en el Panel de Control.

FUNCIONAMIENTO NORMAL

El MDR tendrá un funcionamiento normal y estable cuando ya no se experimente variaciones en la temperatura y presente los siguientes síntomas en su funcionamiento:

1. Lecturas estables en el manómetro de alta 2 y de baja 2. El manómetro de alta 1 y de baja 1 no son estables pues reciben el golpe del pistón del compresor y la inestabilidad del Gas Flash respectivamente.
2. El visor de alta 1 está parcialmente utilizado por refrigerante líquido y gaseoso.
3. El visor de alta 2 debe estar saturado de refrigerante líquido, sin presencia de burbujas que se las puede observar al encender el módulo.
4. El visor de baja 1 lleva una mezcla turbulenta de refrigerante líquido y gaseoso (Gas Flash).
5. El visor de alta 2 debe presentar un goteo continuo de aceite, NO debe presentar espuma ni ausencia de aceite.

Una vez cumplidas estas características el módulo está en un funcionamiento estable.

Tomar los datos de presiones, temperatura y visualizar los estados del refrigerante en los distintos visores.

Se puede sacar al Tanque de líquidos del ciclo, mediante la apertura de la válvula de By Pass, esto no agrede al comportamiento del MDR.

SIMULACIÓN DE FALLAS

Antes de simular cualquier falla se debe asegurar que el módulo se encuentre en un funcionamiento normal estable (aproximadamente 10 minutos después de haber encendido el MDR o de simular una falla anteriormente).

Falla	Procedimiento	Consecuencias
Evaporador 2	Activar “Evaporador Falla 2” en el Panel de Control. Tomar datos de Presiones y temperatura	➢ Apaga uno de los tres ventiladores del Evaporador. ➢ Baja la temperatura en el Evaporador ➢ Se reducen las presiones del lado de baja y de alta.
Evaporador 1	Activar “Evaporador Falla 1” en el Panel de Control Tomar datos de Presiones y temperatura	➢ Apaga dos de los tres ventiladores del Evaporador. ➢ Baja la Temperatura en el Evaporador (Posible escarchamiento) ➢ Se reducen las presiones del lado de baja y de alta.
Falla Total del Evaporador	Activar “Evaporador Falla 1” y “Evaporador Falla 2” en el Panel de Control	➢ Apaga inmediatamente al Compresor.
Alta Presión	Cerrar rápidamente la válvula de paso del lado de alta.	➢ Sube presión en manómetro de alta 1

	Observar cambios en los visores del lado de alta. Tomar nota de la presión a la cual se desconecta el sistema en el manómetro de alta 1	(salida del Compresor). ➢ Baja presión en manómetro de alta 2 ➢ Baja presiones del lado de baja. ➢ Finalmente el presóstato desconecta al compresor y activa la alarma por de alta presión.
Baja Presión	Cerrar las dos válvulas de visor de baja 2. Tomar nota de la presión a la cual se desconecta el sistema en el manómetro de baja 2	➢ Baja la presión en el manómetro de baja 2 (entrada al Compresor). ➢ Sube presión en el manómetro de baja 1. ➢ Baja presión en el lado de alta. ➢ Finalmente el presostato desconecta al compresor y activa la alarma por de baja presión.

Después de de cualquier falla provocada que apague el compresor, las presiones tienden a igualarse, el valor depende de la temperatura ambiente y sube la temperatura en el evaporador.

INFORME

1. Presentar los datos obtenidos en la práctica, tanto en funcionamiento normal como en la simulación de fallas.

2. Explicar los comportamientos del sistema durante la simulación de las distintas fallas.

3. Conclusiones y Recomendaciones.