

Manual Técnico

Refrigeración Comercial

REFRIGERACIÓN COMERCIAL • MOTORES ELÉCTRICOS • ILUMINACIÓN
ACONDICIONADORES DE AIRE • POLÍTICA REGIONAL • FINANCIAMIENTO



PEER Programa de Eficiencia Energética Regional
en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica

Manual Técnico

Refrigeración Comercial

REFRIGERACIÓN COMERCIAL • MOTORES ELÉCTRICOS • ILUMINACIÓN
ACONDICIONADORES DE AIRE • POLÍTICA REGIONAL • FINANCIAMIENTO



PEER Programa de Eficiencia Energética Regional
en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica

333.7932

F9812m Fundación Red de Energía - BUN-CA

Manual técnico: Refrigeración comercial [en línea] / Fundación Red de Energía BUN-CA.

– 1 ed. – San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2011.

46 p. ; 27 X 21 cm. (Colección Refrigeración Comercial : Serie Manuales Técnicos)

ISBN: 978-9968-904-39-1

1. Eficiencia Energética. 2. Refrigeración. 3. Uso Racional de la Energía. 4. Recursos Energéticos. I. Título.

Reservados todos los derechos.

©Copyright 2007, BUN-CA.
1ª edición, Marzo, 2009
San José, Costa Rica

Este documento fue elaborado por BUN-CA en el marco de su Estrategia Regional de Eficiencia Energética y puede ser utilizado libremente para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la ejecución del Programa PEER (Programa de Eficiencia Energética en los Sectores Industrial y Comercial en América Central), implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por el Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) en el marco del Programa Operacional No. 5 del Área Temática de Cambio Climático, bajo los términos del Contrato No. 50949. Las opiniones expresadas en este documento son de BUN-CA y no necesariamente reflejan el parecer de las agencias cooperantes.

Nota: Se agradece a los diferentes consultores los aportes técnicos a esta publicación.

Diagramación:

Diseño Editorial S. A. | www.kikeytetey.com

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
TABLA DE SIMBOLOGÍA.....	vii
PREFACIO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
I. FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN.....	3
1.1 Historia y aplicación de la refrigeración.....	3
1.2 Definiciones.....	3
1.2.1 Propiedades físicas de las sustancias.....	3
1.2.2 Presión y vacío.....	4
1.2.3 Trabajo, potencia y energía.....	4
1.2.4 Temperatura.....	4
1.2.5 Calor.....	5
1.2.6 Estados de la materia.....	5
1.2.7 Medida del calor y energía.....	5
II. EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	7
2.1 Termómetro.....	7
2.2 Amperímetro y voltímetro.....	7
2.3 Manómetro de refrigeración.....	8
2.4 Analizador de redes.....	8
2.5 Otras herramientas.....	8
III. APLICACIONES DE LA REFRIGERACIÓN.....	9
IV. FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	11
4.1 Principio termodinámico de refrigeración.....	11
4.2 Los refrigerantes.....	11
V. COMPONENTES BÁSICOS.....	14
5.1 Compresor.....	14
5.2 Condensador.....	15
5.3 Dispositivo de expansión o válvula de expansión.....	15
5.4 Evaporador.....	15
5.5 Tubería.....	16
VI. EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS.....	18
6.1 La eficiencia electromecánica.....	18
6.2 La eficiencia termodinámica.....	20
6.3 ¿Por qué se afecta la eficiencia termodinámica de los equipos?.....	21
6.4 Los índices EER y SEER.....	22

VII.	TIPOS DE COMPRESORES	25
7.1	Compresores recíprocos	25
7.2	Compresores rotativos	26
7.2.1	Scroll o espiral.....	26
7.2.2	Rotativo de paleta o pistón rodante.....	26
7.2.3	Tornillo.....	26
7.2.4	Centrífugo	27
VIII.	OTROS COMPONENTES	28
8.1	Termostato o control de temperatura	28
8.2	Controles de presión o presostatos.....	29
8.3	Relojes de deshielo.....	29
8.4	Ventiladores y bombas	29
8.5	Válvulas reguladoras de presión.....	30
8.6	Filtros, desecantes y visores.....	30
8.7	Válvulas de paso.....	30
8.8	Aislantes	30
IX.	CICLOS DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN	31
9.1	Ciclo de enfriamiento.....	31
9.2	Ciclo de deshielo	31
X.	LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN.....	33
10.1	Fuentes de calor externas	33
10.2	Otras fuentes de calor externas: la infiltración y /o ventilación	34
10.3	Fuentes de calor internas	34
10.4	Ejemplo de utilización de las guías de cálculo rápido de cuarto frío.....	36
10.5	Ejemplo de cálculo de diámetro de tubería para equipos de refrigeración.....	36
XI.	LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	38
11.1	Tipos de equipos	38
11.1.1	Refrigerador	38
11.1.2	Vitrina refrigerada.....	39
11.1.3	Mostrador refrigerado	39
11.1.4	Máquina de hacer hielo.....	40
11.1.5	Cuarto frío (walking cooler)	40
11.1.6	Túneles de enfriamiento.....	40
11.1.7	Enfriadores de ráfaga (blast freezer)	41
11.1.8	Enfriadores de líquido (chiller).....	41
11.1.9	Transporte refrigerado.....	41
XII.	AHORROS ENERGÉTICOS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	42
12.1	Prácticas que inciden en los costos de operación.....	42
12.2	Buenas prácticas en eficiencia energética	43
12.2.1	Buenas prácticas en la instalación	43
12.2.2	Buenas prácticas en la operación.....	44
12.2.3	Buenas prácticas en el mantenimiento.....	45
12.2.4	Buenas prácticas en la sustitución de equipos	46
12.2.5	Otras prácticas adecuadas	47

XIII.	OTRAS TECNOLOGÍAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA.....	48
13.1	Enfriamiento por absorción.....	48
13.2	Intercambiadores de calor para subenfriamiento	49
13.3	Compresores de doble etapa	50
13.4	Compresores de válvula tipo disco	50
13.5	Sistemas en cascada.....	51
13.6	Sistemas en paralelo (racks).....	51
13.7	Sistemas de amoníaco	52
13.8	Enfriamiento solar	52
	BIBLIOGRAFÍA	53
	ANEXOS	54
	Anexo 1a. Datos de temperatura y presión saturada (PSI) para refrigerantes	54
	Anexo 1b. Datos de temperatura y presión saturada (PSI) para refrigerantes	56
	Anexo 2. Diagrama de Presión-Entalpia del Refrigerante R-22	58
	Anexo 3. Diagrama de Presión-Entalpia del refrigerante HFC-134a.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.	Termómetro	7
Fig 2.	Termómetro electrónico	7
Fig 3.	Amperímetros	7
Fig 4.	Manómetro	8
Fig 5.	Analizador de redes	8
Fig 6.	Cilindros de refrigerante.....	11
Fig 7.	Componentes principales en el ciclo de refrigeración y A/A.....	14
Fig 8.	Evaporador de placas usado en refrigeradores.....	16
Fig 9.	Tuberías en sistemas de refrigeración.	17
Fig 10.	Ejemplo de etiqueta de consumo energético	22
Fig 11.	Compresores abiertos.	25
Fig 12.	Compresores herméticos.....	25
Fig 13.	Compresores semi-herméticos.....	25
Fig 14.	Compresores scroll.....	26
Fig 15.	Compresores de paleta	26
Fig 16.	Compresores de tornillo	26
Fig 17.	Compresor centrífugo	27
Fig 18.	Dispositivos en sistemas de refrigeración.	28
Fig 19.	Tipos de controles en los sistemas de refrigeración	29

Fig 20.	Aislamiento en los cuartos fríos.....	30
Fig 21.	Ejemplo de escarchado en evaporadores	31
Fig 22.	Cargas de calor en sistemas de refrigeración	34
Fig 23.	Refrigeradores Domésticos	38
Fig 24.	Mostrador refrigerado	39
Fig 25.	Máquinas de Hielo	40
Fig 26.	Cuarto frío	40
Fig 27.	Túnel de enfriamiento	41
Fig 28.	Enfriadores de ráfaga.....	41
Fig 29.	Enfriadores de líquido	41
Fig 30.	Transporte refrigerado	42
Fig 31.	Equipos de enfriamiento por absorción.....	48
Fig 32.	Intercambiadores de calor Compresor de dos etapas	50
Fig 33.	Compresores Copeland.....	50
Fig 34.	Paralela o RACK de refrigeración	51
Fig 35.	Compresor abierto para compresión de amoníaco.....	52
Fig 36.	Panel solar para calentar agua.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Temperaturas recomendadas en refrigeración de uso general	9
Tabla 2.	Medidas generales de eficiencia electromecánica	18
Tabla 3.	Guía Heatcraf de cálculo rápido de tuberías de refrigeración	37
Tabla 4.	Guía Heatcraft de cálculo rápido de cuartos fríos a media temperatura.....	37

TABLA DE SIMBOLOGÍA

°C	Grados Celsius o centígrados
°F	Grados Fahrenheit
B.T.U.	British Termal Unit: Unidad Térmica Británica
BTU/h o BTUH	Potencia térmica. BTU en una hora
BUN-CA	Fundación Red de Energía
Cal	Caloría
Cal/h	Calorías en una hora
CCl ₂ F ₂	Diclorodifluorometano
CCl ₃ F	Triclorofluorometano
CFC	Clorofluorocarbonos
CHClF ₂	Clorodifluorometano
CH ₂ FCF ₃	Tetrafluoroetano
CHF ₂ CF ₃	Pentafluoroetano
Cl	Cloros
COP (o CDR)	Coeficiente de operación ó Coeficiente de rendimiento
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
HCFC	Hydroclorofluorocarbonos
HFC	Hydrofluorocarbonos
HP	Caballos de Fuerza
kg	Kilogramo = 1.000 gramos
kPa	KiloPascal = 1000 Pascales
kW	Kilovatio = 1.000 vatios
kWh	Kilovatio por hora
lb	Libra
lbf	libras fuerza
lbm	libras masa
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
m/seg	Metros por segundo
Mpa	MegaPascal (= 1000 KPa)

MBH	Millar BTUH = 1.000 BTUH
N	Newton
Pa	Pascal
PEER	Programa Regional en Eficiencia Energética para los Sectores Industrial y Comercial en América Central
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
psig	Presión medida en libras sobre pulgada cuadrada sin tomar en cuenta la presión del aire exterior
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
REE (o EER)	Relación de eficiencia de energía
SEER	Relación de eficiencia de energía en una temporada de uso de los equipos de sistema de refrigeración
TCS	Temperatura de condensación saturada
TSS	Temperatura de succión saturada
TR o Ton	Tonelada de refrigeración = 12.000 BTU/h = 12 MBH
W	Vatio
Wt/We	Vatio térmico sobre Vatio eléctrico

PREFACIO

Uno de los mayores retos de la sociedad moderna es procurar la explotación suficiente y sostenible de recursos energéticos para sustentar las actividades económicas y el desarrollo de sus pueblos. En los últimos años hemos experimentado a nivel mundial una problemática de magnitudes titánicas en cuanto a los altos costos y la escasez de la energía. El problema tiene connotaciones aún más marcadas en regiones como la nuestra, que se encuentran en pleno desarrollo social y económico. Este crecimiento ha procurado un incremento acelerado en la demanda energética de la región centroamericana, y exige que identifiquemos maneras de hacerle frente a esta problemática.

La eficiencia energética ha sido identificada como una herramienta valiosa en la mitigación del crecimiento de la demanda energética. Tiene un valor económico muy alto, ya que las inversiones requeridas para adecuar tecnología, reorganizar el comportamiento organizacional asociado al uso de la energía y realizar los mantenimientos y otros cambios conducentes a la mejora de la eficiencia energética, son mucho más económicos que la expansión de la matriz energética. Esto es especialmente cierto para nuestra región donde un gran porcentaje de la energía proviene de la explotación de los recursos energéticos fósiles, los cuales son importados a un alto costo.

La Universidad Tecnológica de Panamá tiene como parte de su misión promover e impulsar el desarrollo tecnológico, económico, social y cultural. Y dentro de esta misión presenta a la comunidad estos manuales técnicos de iluminación, motores eléctricos, refrigeración comercial y acondicionadores de aire los cuales muestran no sólo una descripción detallada del estado de la tecnología de cada área, sino que además incluyen un conjunto de buenas prácticas conducentes a un incremento en la eficiencia energética de estos sistemas en el contexto centroamericano.

Estos manuales han sido desarrollados por la Fundación BUN-CA como parte de sus planes de trabajo, en los cuales la Universidad Tecnológica de Panamá es un socio estratégico importante. La información presentada en estos manuales ha sido recabada por especialistas del más alto nivel en la región, y son una fuente confiable tanto para los ingenieros practicantes, como para los no especialistas que deseen tener una visión general sobre el tema.

Si bien la intención de estos manuales no es preparar especialistas en los temas tratados, tienen el propósito de concientizar a la comunidad en estos temas, y son un excelente medio de actualización para los profesionales. Esperamos que esta co-edición sea de su agrado y que se conviertan en una herramienta más del desarrollo social, comercial y energético en Centroamérica.

Ing. Marcela Paredes de Vásquez
Rectora
Universidad Tecnológica de Panamá, 2011

INTRODUCCIÓN

La capacidad instalada de generación eléctrica en Centroamérica depende cada vez más de los hidrocarburos importados, lo cual aumenta la vulnerabilidad energética de la región y provoca un aumento en las emisiones de gases efecto invernadero.

Conforme aumentan los costos de generación de electricidad y la demanda promedio continúa creciendo a un 6% anual, de cara a un entorno regional de mayor competitividad y mayor desarrollo socio-económico, las necesidades de la nueva capacidad instalada aumentan exponencialmente.

El equipamiento eléctrico utilizado en la mayoría de los procesos industriales y en la infraestructura comercial presenta bajos niveles de rendimiento; ello, aunado a que el equipo ha sobrepasado su período de vida útil o se acerca a ese límite, provocando considerables desperdicios energéticos. Esto se traduce en un incremento en los costos de producción y costos operativos.

Para emprender el desarrollo de mercados sostenibles en torno al uso final eficiente de la electricidad, se requiere eliminar una serie de barreras de tipo político, financiero, técnico y de información.

BUN-CA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), desarrollan el “Programa Regional en Eficiencia Energética para los Sectores Industrial y Comercial en América Central” (PEER), iniciativa que contribuye, entre otros objetivos, a remover las barreras de la falta de conocimiento e información técnica para desarrollar los mercados de eficiencia energética en Centro América.

El presente Manual tiene el objetivo específico de fortalecer la plataforma de conocimiento en el nivel centroamericano y brindar las bases para el desarrollo técnico necesario, a fin de realizar una adecuada selección y uso de los sistemas de iluminación. Este texto brinda información técnica sobre los conceptos de estos sistemas, así como de las buenas prácticas que deben ser implementadas para lograr un uso eficiente del equipo.

Este Manual también es un medio para acercar el conocimiento general del ahorro de energía en iluminación eficiente a quienes se encuentren interesados en el tema, en él encontrarán prioridad en el tema de eficiencia energética, por tanto aspectos como diseño, manufactura, y otros semejantes no son abordados a profundidad.

I. FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN

1.1 Historia y aplicación de la refrigeración

La refrigeración consiste en reducir y mantener la temperatura de un espacio determinado por debajo de la temperatura ambiente, básicamente para la conservación de alimentos. Otras aplicaciones permiten licuado de gases, enfriamiento de procesos industriales, aire acondicionado, etc.

La conservación de alimentos por medio de refrigeración tiene muchas ventajas sobre el enlatado, el secado o el curado, debido a que permite al producto conservar su frescura y todo su valor nutritivo y vitaminas. La refrigeración retarda el proceso de descomposición natural realizada por bacterias, enzimas y hongos, aletargando a los microorganismos, pero no eliminándolos, por lo que el almacenamiento no debe ser indefinido.

Los primeros “refrigeradores” del siglo XIX usaban hielo para enfriar su interior; luego en 1856 surgió el primer refrigerador por compresión de vapor y se utilizó para enfriar cerveza. Sucesivamente se fueron desarrollando nuevos y más pequeños motores y compresores, hasta llegar a los sistemas actuales.

Los equipos de refrigeración más empleados por las empresas son los cuartos fríos, las refrigeradoras comerciales, las máquinas de fabricación de hielo y el transporte refrigerado.

La refrigeración también constituye una necesidad moderna para el hogar, de forma que el refrigerador doméstico constituye entre el 25% y el 50% del consumo energético en el sector residencial, ya que permanece encendido y operando continuamente las 24 horas del día, por lo que la eficiencia de estos equipos es de mucha importancia en el diseño de políticas públicas en el sector energético.

1.2 Definiciones

Para evaluar y reconocer el funcionamiento de los equipos de refrigeración es necesario entender los siguientes conceptos:

1.2.1 Propiedades físicas de las sustancias

Masa. La masa de un cuerpo es la cantidad de materia, moléculas y átomos que posee. Se mide en libras masa (lbm) o en kilogramos (kg).

Fuerza. Es la atracción o empuje de un cuerpo sobre otro, capaz de alterar la velocidad o deformar al objeto. Se mide en libras fuerza (lbf) o Newton (N).

Peso. Es la fuerza con que el planeta tierra atrae a los cuerpos, por lo que se mide en libras fuerza. Sin embargo, es común que las personas se refieran al peso simplemente como libras.

Densidad y volumen específico. La densidad de una sustancia es la masa que posee por cada unidad de peso, es decir, cuántas libras de masa se encuentran en un volumen determinado. Se mide al dividir la masa entre el volumen en unidades de lbm/pe³ o Kg/m³. El volumen específico es lo opuesto a la densidad, es decir, mide la masa en un volumen dado y sus unidades son volumen entre masa (pe³/lbm o m³/Kg).

1.2.2 Presión y vacío

La presión es la fuerza ejercida por una sustancia sobre una superficie o área. Se mide en libra fuerza sobre pie cuadrado, pero es más conveniente utilizar la libra fuerza sobre pulgada cuadrada (lbf/in² o psi¹). También se utiliza el Pascal (Pa) que se obtiene de dividir la fuerza en Newton (N) entre la superficie en m².

Cuando no existe ningún tipo de presión, se dice que existe un vacío absoluto. Toda presión sobre este valor se conoce como **presión absoluta** y se mide en psia. La presión ejercida por la presión de la atmósfera sobre los objetos se conoce como **presión barométrica** y es igual a 14,7 psia³ en el nivel del mar y se reduce a medida de que aumenta la altura. Presiones por debajo de la atmosférica se conocen como **presiones de vacío** parcial o simplemente de vacío.

Los instrumentos para medir la presión son los manómetros y generalmente están calibrados a fin de marcar cero a la presión atmosférica, por lo que el valor medido se conoce como **presión manométrica** (psig⁴). El manómetro es una herramienta indispensable para los técnicos de mantenimiento de refrigeración.

1.2.3 Trabajo, potencia y energía

Se realiza un trabajo al desplazar un objeto, cuerpo o sustancia, de un punto a otro, al aplicar una fuerza.

La potencia es qué tan rápido puede realizarse un trabajo, por lo que se mide en unidades de trabajo entre tiempo. Las unidades más conocidas de trabajo son los *Vatios* (W) y los caballos de fuerza (del inglés “*Horse Power*” o HP), donde 1HP es igual a 746 W.

A la capacidad de realizar un trabajo se le llama **energía**, la cual no se crea ni se destruye, únicamente se transforma.

1.2.4 Temperatura

La temperatura es una propiedad de las sustancias y depende de la velocidad del movimiento de las moléculas del cuerpo, de tal manera que a mayor velocidad, mayor temperatura.

Cuando no se pueda medir en forma práctica la velocidad de las moléculas y los átomos, la medición se hace subjetivamente y se definen los términos de caliente y frío al comparar en forma subjetiva a través del tacto, pero para evaluar objetivamente la temperatura, se definen escalas que utilizan unidades llamadas grados. El instrumento para realizar estas mediciones es el “termómetro”.

Esta herramienta es importante para evaluar los sistemas de refrigeración y permite, inclusive, diagnosticar si existen fallas en el sistema. Los termómetros actualmente pueden ser mecánicos o electrónicos y encontrarse en todo tipo de formas y tamaños para las aplicaciones de refrigeración.

Las escalas más utilizadas son los grados centígrados o Celsius (°C) y los Fahrenheit (° F). Existen otras escalas, pero en la práctica de refrigeración éstas son las más utilizadas.

1 Del ingles pound square inch (psi).

2 La “a” al final de psi indica que es presión absoluta.

3 14.7 psia = 1 atmósfera.

4 La “g” al final de psi indica que es presión manométrica y proviene del inglés “gauge” que significa manómetro.

1.2.5 Calor

Es una forma de energía relacionada con la temperatura de los cuerpos, la cual se transfiere de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor. La refrigeración es un uso práctico del calor, al reducir la temperatura de los cuerpos y extraer su calor utilizando sustancias o cuerpos de menor temperatura. El calor nunca se desplaza de un cuerpo frío a otro caliente.

1.2.6 Estados de la materia

La temperatura y/o calor de un cuerpo más la presión definen también el estado de agregación de la materia en que se encuentra determinada sustancia sólida, líquida o gaseosa. Un gas posee moléculas con alto nivel de energía y moviéndose a gran velocidad. Al remover calor de un gas, sus moléculas perderán energía y velocidad y su temperatura se reducirá hasta llegar a un punto en que se moverán lentamente y la sustancia se volverá un líquido. A este punto se le conoce como **licuefacción** o **condensación**.

Si se continúa enfriando, las moléculas llegarán a un nivel de energía bajo y se solidificarán. A esto se le llama punto de congelamiento o **solidificación**.

Si, por el contrario, al líquido se le agrega más calor, sus moléculas aumentarán su velocidad hasta vaporizarse. A esto se le llama punto de **ebullición**.

De tal forma, mientras la sustancia cambia de estado, su temperatura se mantiene constante, a pesar de ceder o ganar calor, y se le conoce como condición de saturación. Esto es así hasta que cambia su estado totalmente.

Cuando se agrega calor bajo estas condiciones se dice que es **calor latente**; en cambio, al agregar o retirar calor a la sustancia cuando está por encima o debajo de sus puntos de cambio de estado, la temperatura aumentará o se reducirá respectivamente; entonces, se dice que se transfiere **calor sensible**.

El valor de temperatura que define el punto de congelamiento y ebullición de las sustancias también depende de la presión. Si un líquido se encuentra a baja presión, podrá ebullicir a una temperatura menor que cuando se encuentra a presión alta y viceversa. Este es el principio de las ollas a presión, que permiten cocinar más rápido los alimentos al mantener el agua hervida a una presión mayor y, por ende, a una mayor temperatura.

Cuando el líquido se encuentra a temperaturas por debajo del punto de condensación, se dice que está **subenfriado**.

1.2.7 Medida del calor y energía

Para medir la cantidad de calor, se define el concepto de la caloría y el BTU⁵. Ambas medidas representan el calor necesario para elevar en un grado de temperatura una masa determinada de agua. La diferencia es que la primera considera °C y kilogramos, mientras que el BTU utiliza °F y libras.

5 BTU o British Thermal Unit: Unidad Térmica Británica. Equivale al calor necesario para calentar en 1°F una libra de agua.

Como lo que interesa es saber cuánto calor se remueve en un tiempo dado, las unidades de sistema de refrigeración se catalogan en Cal/h o BTU/h. Existen otras unidades equivalentes para este mismo fin, pero en el contexto centroamericano, una muy usada es la tonelada de refrigeración (Ton Refrigeración o TR), que equivale a 12.000 BTU/h. Otras nomenclaturas utilizan el MBH, que significa 1000 BTU/h; por ejemplo, un equipo de 5 TR equivale a 60.000 BTU/h⁶ o 60 MBH.

Por otra parte, la energía eléctrica se mide en potencia que son *Vatios o Watts (W)* o *Kilovatios (kW = 1.000 W)* y el consumo en kW por hora (kWh).



6 1kW=3415.18 BTU/h

II. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para realizar mediciones y evaluar los equipos de refrigeración en una empresa, industria o comercio, es necesario contar con los equipos adecuados a fin de obtener datos puntuales y confiables que luego permitan realizar análisis y recomendaciones que pueden ser medidas y comparadas en la práctica.

2.1 Termómetro

De todos los equipos necesarios, el termómetro es el más básico (Fig 1 y 2). Sin una medida confiable de temperatura no se puede evaluar si el equipo no logra enfriar lo suficiente ni determinar cuáles son sus condiciones ambientales y las del condensador.

De tal manera, el termómetro ayuda a racionalizar el uso de los aparatos y a determinar si el termostato está o no bien ajustado. Los hay de muchas formas y costos en el mercado. El más barato es el análogo de aguja, pero puede tener un bulbo o sensor o de bolsillo, aunque existen versiones digitales.

Los más costosos son los de láser-infrarrojos, pues tienen la ventaja de tomar la temperatura a distancia, basados en las emisiones de luz infrarroja. Sin embargo, pueden tener poca exactitud sobre superficies reflectivas y en las bajas temperaturas, por lo que hay que verificar el manual del fabricante para confirmar sus limitaciones técnicas.

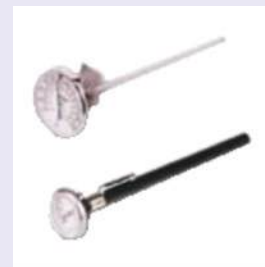
Un tipo especial es el higrómetro, utilizado principalmente para tomar datos de temperaturas ambientes y con capacidad para medir la humedad relativa del aire.

En algunos casos, lo importante no es tener medidas puntuales, sino definir tendencias para evaluar si el producto no se calienta por períodos o determinar qué temperaturas se alcanzan a lo largo del día. No será práctico disponer de personal que tome las temperaturas cada 15 minutos, por lo que en el mercado existen los termómetros recolectores de datos (tipo *data logger*), que se dejan en el lugar para que midan y luego se baja la información en computadoras a fin de evaluar sus tendencias.

2.2 Amperímetro y voltímetro

Estos instrumentos son de costo relativamente alto y se utilizan más para operaciones de mantenimiento y diagnóstico de fallas; sin embargo, permiten medir corriente y voltaje para calcular la potencia real de los equipos y comparar con los datos de placa del fabricante, así como determinar si el consumo de los equipos de una instalación es eficiente (Fig 3).

Fig 1. Termómetro



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 2. Termómetro electrónico



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 3. Amperímetros



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

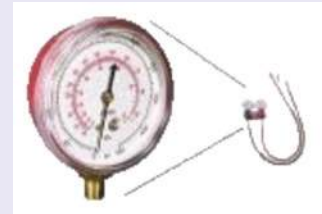
En una empresa de alto consumo eléctrico con personal a cargo del mantenimiento electro-mecánico debería existir este instrumento. En el caso de un diagnóstico energético, un consultor o auditor energético no necesariamente tiene que contar con ella.

2.3 Manómetro de refrigeración

Al igual que el amperímetro y voltímetro, es una herramienta básica de mantenimiento y de diagnóstico en los sistemas de refrigeración. Por su costo no es necesario que el auditor energético disponga de él, siendo preferible contar con el apoyo del personal de mantenimiento en el sitio (Fig 4).

Estos manómetros poseen, además de la escala de presión, una escala de temperaturas con base en el tipo de refrigerante que puede medir. Esto se debe a la característica física de la mezcla de vapor y líquido en el evaporador (condición saturada del refrigerante), en la cual la presión y la temperatura dependen una de la otra: para una presión, una temperatura de saturación definida.

Fig 4. Manómetro



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

2.4 Analizador de redes

El analizador de redes es el equipo de la auditoría energética de mayor costo. Pueden ofrecer los mejores datos de análisis, pues permiten medir simultáneamente el voltaje y amperaje de conexiones eléctricas del equipo de refrigeración; además, algunos modelos incluyen termómetros y recolección electrónica de datos (Fig 5).

La información puede tabularse o graficarse para ver tendencias y determinar los puntos críticos de consumo energético, no sólo en refrigeración, sino en toda la gama de auditorías energéticas de cualquier tipo de instalación.

Fig 5. Analizador de redes



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

2.5 Otras herramientas

Es conveniente contar con una cinta métrica para medir las dimensiones de puertas, paredes, ventanas, etc.; en especial cuando se trata de cuartos fríos.

Una cámara digital permite tomar fotos de situaciones puntuales para hacer énfasis en los reportes de la situación o constatar que se han realizado los cambios.

Son necesarias libretas de apuntes y notas para tomar los datos y un “*check list*” puntual de criterios básicos para identificar rápidamente los puntos por evaluar en forma objetiva.

III. APLICACIONES DE LA REFRIGERACIÓN

La refrigeración tiene como finalidad mantener un espacio cerrado a una temperatura conveniente para realizar procesos o conservar la frescura de los productos por un determinado período.

Las temperaturas requeridas dependerán exclusivamente del producto por refrigerar, por lo que es importante obtener esta información antes de realizar diseños o evaluar la operación de los equipos. Generalmente las temperaturas de refrigeración son las indicadas en la Tabla 1 y pueden utilizarse como una guía básica para determinar si se está utilizando el equipo correcta y eficientemente.

Es importante hacer notar que en algunos productos pueden estar expuestos a diferentes temperaturas recomendadas -según la aplicación y la duración del almacenamiento- por lo que en casos específicos es preferible identificar los rangos recomendados para cada producto, en vez de un valor específico.

Tabla 1. Temperaturas recomendadas en refrigeración de uso general

Temperatura		Aplicación
-18° C	0°F	Baja temperatura (Freezer o congelador). Productos que se almacenan y mantienen congelados por períodos largos.
0° C	32°F	Media temperatura. Carnes frescas sin congelar.
4° C	40°F	Media temperatura (Refrigerador). Lácteos, frutas y productos perecederos, etc. que tienen una rotación corta de refrigeración.
10° C	50°F	Media temperatura. Vegetales. La humedad es importante para que “respiren” o reciban aire exterior, ya que son productos vivos.
15 a 26° C	60 a 78°F	Alta temperatura. Flores y aplicaciones de aire acondicionado.

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Las condiciones de operación pueden incluir temperaturas máximas y mínimas tolerables, así como la humedad relativa en el espacio de refrigeración requerido, para evitar deshidratación y pérdida de peso del producto.

En realidad, es más económico operar el equipo de refrigeración a la temperatura más alta del rango, ya que cuanto más frío se requiera el ambiente, más trabajará el aparato consumiendo una mayor cantidad de energía.

Los rangos de temperatura dependen del producto por almacenar, pero el principio anterior de mantener la máxima temperatura posible se debe aplicar. Por ejemplo, el pollo congelado puede almacenarse entre los -22 y -18° C (-8° y 0° F), por lo que el ajuste se hace en -18° C. Cuando se desea proteger el producto congelado en caso de falla del sistema, se tolera un rango menor que permita un mayor tiempo de respuesta por parte de los responsables del mantenimiento de la instalación.

Hay otros productos que son más sensibles, como la leche, las verduras y las carnes, donde el rango de temperaturas es menor y se vuelve más importante la seguridad del producto para ahorrar energía. Pero, ¿qué sucede cuando se tienen varios productos perecederos con diferentes rangos recomendables de temperatura? Lo ideal es disponer de un refrigerador o cuarto frío para cada tipo de producto

o grupo que acepte las mismas condiciones de temperatura. Si no es posible, se elige la temperatura de los más sensibles, como los lácteos. Sin embargo, el producto no podrá almacenarse por períodos largos y, en ocasiones, no se deben exceder de una semana en esas condiciones.

Otra variable importante en refrigeración es también la rapidez para enfriar el producto a la temperatura deseada. El enfriamiento se da usualmente en el transcurso del primer día de almacenamiento y se utiliza el concepto de BTU/24h, es decir, cuántos BTU el equipo de refrigeración deberá extraer como mínimo en un día de operación para llevar el producto a su temperatura final de almacenamiento, por lo que, la rapidez de enfriamiento de un equipo se calcula desde el momento que ingresó la mercadería al refrigerador y llegó a la temperatura deseada.

Al dividir esa cantidad de calor con el tiempo que funcionará la unidad refrigerante, se obtiene la potencia del equipo en BTU/h.

La temperatura inicial del producto no será necesariamente la ambiente. Se debe tomar en cuenta este dato para identificar oportunidades de ahorro energético al evaluar posibles formas de pre-enfriar el producto antes de ingresar al cuarto frío, sin arriesgar su calidad. Por ejemplo, la carne de bobino recién destazada se encontrará a la temperatura corporal del animal, alrededor de 40° C.

IV. FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

4.1 Principio termodinámico de refrigeración

Para refrigerar, se requiere que una sustancia llamada refrigerante, a menor temperatura que el cuerpo u objeto que se desea enfriar, se ponga en contacto con éste, adquiera parte de su calor y así este refrigerante eleve su temperatura.

El principio termodinámico para enfriar al refrigerante a la temperatura necesaria para tomar el calor del producto por refrigerar, es bastante sencillo: cuando un líquido se evapora, absorbe calor de sus alrededores, produciendo un enfriamiento. Esto puede apreciarse al salir de una piscina y recibir una brisa suave; el cuerpo sentirá que el aire es mucho más frío, pero en realidad es la evaporación del agua en la piel lo que nos hace sentir así. Otro ejemplo es chupar un dulce mentolado y luego tomar agua, la sensación será que ésta es mucho más fría.

La evaporación del refrigerante se logra al reducir la presión hasta que empieza a ebullición a una temperatura menor a la ambiente y a la del producto. Al absorber el calor, se calienta hasta convertirse totalmente en vapor.

Para completar el ciclo es necesario llevar el refrigerante a su estado líquido y a una presión alta, a fin de repetir el proceso.

4.2 Los refrigerantes

Son sustancias que absorben el calor de un medio dado, produciendo un efecto de enfriamiento al reducir la temperatura del medio. Pueden ser de dos tipos: primarios, que son las sustancias que cambian de estado después de absorber el calor (de líquido a vapor) y secundarios, los que no cambian su estado (por lo general son líquidos), es decir, absorben calor latente (Fig 6).

Refrigerantes primarios

Los refrigerantes primarios son por lo general sustancias que se evaporan a temperaturas muy por debajo de la temperatura ambiente. Por ello, no todos son adecuados para la variedad de aplicaciones y su disponibilidad en el mercado ya está definida por los rangos de temperatura donde son química, ambiental, y energéticamente eficientes para enfriar.

Estos gases pueden clasificarse de muchas formas, pero generalmente se les conoce por su composición química, según se describen a continuación:

Clorofluorocarbonos (CFC)

Son muy buenos y estables químicamente, de manera que fueron muy utilizados durante casi todo el Siglo XX. Están compuestos por una molécula de un hidrocarburo, como el metano, a la que se le han quitado los hidrógenos (H) y se han reemplazado por cloros (Cl).

Fig 6. Cilindros de refrigerante



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

En 1974 se descubrió el agujero en la capa de ozono en la estratosfera y estudios posteriores determinaron la causa: los CFCs arrojados por los procesos industriales y empleados en los equipos de refrigeración, por ello, en 1987, con la ratificación del Tratado de Montreal, los países acordaron eliminar el uso de estos refrigerantes. En respuesta a este compromiso, y dado que en Centroamérica aún utiliza sistemas de refrigeración con CFC, se procede a reemplazarlos de manera gradual, a fin de eliminar su uso para el 2010.

Algunos de estos refrigerantes son el R11 (Triclorofluorometano CCl_3F), y el R12 (Diclorodifluorometano CCl_2F_2). El R11 se utilizaba ampliamente en sistemas de aire acondicionado, en procesos industriales y como propelente de las latas de pintura y desodorantes. El R12 se aplicaba a sistemas de media y baja temperatura, así como en el aire acondicionado de vehículos.

Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

Estos gases también dañan la capa de ozono, pero debido a que poseen una o más moléculas de hidrógeno, su potencial se reduce drásticamente y aún no están legalmente restringidos para el 2010. Entre ellos está el R22 (Clorodifluorometano CHClF_2), muy utilizado en sistemas de aire acondicionado y refrigeración de media temperatura.

Hidrofluorocarbonos (HFC)

Son los gases menos dañinos a la capa de ozono ya que no poseen cloros en su composición química. Sin embargo, no todos son tan buenos al compararse con los clorofluorocarbonos y sus costos son aún elevados.

Los más utilizados son el R134a (Tetrafluoroetano CH_2FCF_3) y el R125, (Pentafluoroetano CHF_2CF_3), los cuales se utilizan como sustitutos del R11, R12 y R22. El aceite para estos sistemas es especial, ya que en contacto con el agua, éste reacciona y se convierte en ácido; por lo que se requiere mucho cuidado al hacer pruebas que requieran abrir las tuberías o retirar el aceite.

Hidrocarburos (HC)

Son sustancias inflamables, por lo que pueden ser explosivas. Los HC no dañan la capa de ozono y suelen encontrarse en la naturaleza, como es el caso del metano. Otros hidrocarburos son el etano y el propano. Éstos no son empleados por las empresas para procesos de refrigeración, debido a su peligrosidad, de forma que se utilizan como una fuente de energía primaria, por ejemplo, para generar calor en cocinas de gas.

Mezclas azeotrópicas y zeotrópicas

Son mezclas de refrigerantes en proporciones definidas para obtener mejores propiedades de refrigeración, las cuales han tenido mucha aceptación en el mercado. Las azeotrópicas mantienen su composición o proporciones de mezcla al ebullición y condensarse, mientras que las zeótropas no. Estas últimas son muy sensibles a las fugas y a las malas operaciones de carga y evacuación, por parte del personal de mantenimiento.

El azeótropo tipo R502 es una mezcla de R12 y R115 que se utilizaba mucho en operaciones de baja temperatura pero debido a que contiene R12, también se limita su uso y se ha detenido su fabricación. Como reemplazo se utilizan otras mezclas como el R401, R404a, R507 y el R402b.

Compuestos inorgánicos y otros

Otros refrigerantes incluyen el amoníaco (R-717) y el agua. El primero tiene grandes ventajas sobre el resto de refrigerantes por sus excelentes propiedades termodinámicas y su costo. Debido a que es un producto natural, no daña el ozono, pero su toxicidad para el ser humano es alta y requiere de gran cuidado en su manejo, de forma tal que las evaluaciones de sistemas de refrigeración con amoníaco deben realizarse con extremo cuidado para no sufrir quemaduras, intoxicaciones e incluso la muerte.

El agua puede utilizarse como un refrigerante primario si se reduce su presión por debajo de la atmosférica (vacío parcial), por lo que no se usa, por lo general, en sistemas de expansión.

Refrigerantes secundarios

Los refrigerantes secundarios son el agua y las soluciones de agua con sales (conocidas como salmueras), las cuales mejoran sus propiedades para absorber calor o para prevenir que se congelen a ciertas temperaturas y no oxiden las tuberías o los equipos. Las sales utilizadas son, por lo general, el etilene glicol o el propilene glicol y se utilizan mucho en cervecerías y fábricas de helados.

Tablas de refrigerantes

El mantenimiento efectivo de cualquier sistema de refrigeración mecánica, depende grandemente de la comprensión que se tenga de las propiedades del refrigerante.

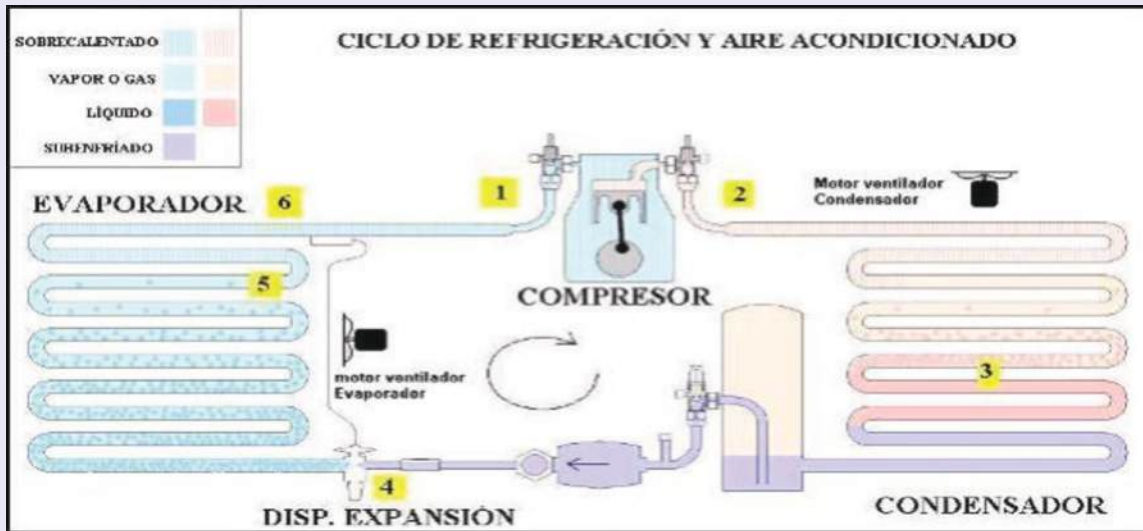
La dificultad para resolver un problema, se torna más fácil, cuando se sabe cómo reacciona el refrigerante a los cambios de temperatura y de presión. El comportamiento del refrigerante frecuentemente es la clave para detectar el origen del problema.

Estas Tablas usualmente poseen datos de la temperatura de saturación correspondiente a una presión dada. De esta manera, se puede evaluar si la presión de los componentes del sistema (compresor, evaporador y condensador) no se encuentra en los rangos de trabajo. En el Anexo 1 se muestran las tablas saturadas de los refrigerantes más utilizados en el mercado. Estas Tablas se utilizan para el diseño y reparación de los equipos de refrigeración, para obtener la mayor eficiencia en su funcionamiento, es decir, temperaturas más bajas con menor consumo de energía eléctrica. Adicionalmente, se muestran los diagramas presión-entalpía del R-22 y HFC-134a en los anexos 2 y 3.

V. COMPONENTES BÁSICOS

Los equipos de refrigeración poseen las partes que se aprecian en la Figura 7. A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

Fig 7. Componentes principales en el ciclo de refrigeración y A/A



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

5.1 Compresor

Este elemento es generalmente impulsado por un motor eléctrico. Es el componente más costoso y el que consume más del 80% de la energía eléctrica del equipo; se encarga de presurizar el gas en el sistema y actúa como una bomba que aspira el refrigerante (Fig 7, No.1) y lo empuja (Fig 7, No.2), dentro de las tuberías.

En las PYMEs, por ejemplo, se utilizan comúnmente equipos entre 1/8 HP a 5 HP. En los sistemas de refrigeración más grandes, los compresores pueden disponer de dispositivos adicionales para operar con cargas parciales o sistemas de varias etapas para cuartos congeladores que operan a muy bajas temperaturas.

Dependiendo de las temperaturas de operación, el compresor puede requerir resistencias que mantengan caliente el aceite durante los tiempos de paro y prevenir fallas de lubricación.

La capacidad de los compresores se mide en condiciones específicas de succión y descarga, por lo que se definen los conceptos de Temperatura de Succión Saturada (TSS) y Temperatura de Condensación Saturada (TCS). Estos parámetros relacionan la presión que se puede medir en la entrada o salida del compresor y la comparan con la temperatura que tendría el evaporador o condensador, respectivamente, con esa presión, según las tablas de refrigerante o el manómetro.

5.2 Condensador

Este componente consiste en un serpentín con aletas metálicas y uno o más ventiladores que impulsan aire ambiente para enfriar el vapor refrigerante caliente y condensarlo a su estado líquido (Fig 7, No.3), a una temperatura igual o ligeramente mayor que la temperatura ambiente; bajo estas condiciones al refrigerante se le llama líquido subenfriado.

El consumo eléctrico del motor del ventilador del condensador no es muy grande, pero cuando éste se obstruye con polvo o suciedad, absorbe menos calor del refrigerante y la presión de trabajo del compresor será mayor y demandará más potencia y energía.

Existen condensadores que son enfriados por agua en lugar de aire y bombas en lugar de ventiladores. Éstos son mucho más eficientes en el consumo de energía, pero de mayor costo y requieren adicionalmente de un tratamiento químico para prevenir oxidación o lodos.

El condensador del tipo evaporativo para sistemas de refrigeración opera mediante la extracción de agua de un depósito, por medio de una bomba, y se rocía en los tubos condensadores por los que fluye aire a contra-flujo, a una velocidad aproximada de 3 a 4 m/seg, realizándose el enfriamiento por la evaporación del agua. Así, se ha intensificado su utilización debido a la reducción en el consumo del agua, en casi un 95%, con respecto a los condensadores de agua fría.

En equipos como refrigeradoras domésticas o enfriadores comerciales puede que no sea necesario instalar un ventilador en el condensador, por lo que éste puede ir en la parte posterior del equipo como una parrilla o en el revestimiento metálico del gabinete. Este último se usa en los congeladores de alimentos y de helados, ya que se mantiene caliente el metal y se evita la condensación del aire, es decir, las paredes no “sudan”.

El refrigerante en el condensador se encontrará normalmente con una temperatura de 5,5 a 8° C (10 a 15° F), más alta que el ambiente y valores muy por encima significan problemas en el equipo. Por ejemplo, si la temperatura ambiente es de 30° C en el día, la presión será la que corresponda a la TCS de 48° C aproximadamente para el tipo de refrigerante que el sistema utiliza. Al salir como líquido, tendrá una temperatura igual a la ambiente o unos 2° C por encima.

5.3 Dispositivo de expansión o válvula de expansión

Este dispositivo se encarga de limitar el paso del refrigerante lo suficiente como para que ocurra una gran caída de presión. Cuando esto sucede, el líquido se expande (Fig 7, No.4) y una parte se evapora, bajando su temperatura. Cuanto más “subenfriado” llegue el líquido refrigerante a la válvula, menos cantidad tendrá que evaporarse para alcanzar la temperatura adecuada de enfriamiento, una razón más que confirma la importancia del condensador.

5.4 Evaporador

Usualmente, éste es un serpentín con aletas similar al condensador, pero de menor tamaño. La mezcla vapor + líquido (Fig 7, No.5), que sale del dispositivo de expansión, recorre todo el serpentín y absorbe el calor de los alrededores, enfriando cualquier fluido que pase sobre él (agua o aire).

La eficiencia del evaporador radica en lo bien que el calor se intercambia entre el aire o agua con el refrigerante, lo cual evapora el líquido que no lo hizo durante la expansión y qué tanto se sobrecalentó al salir del evaporador (Fig 7, No.6).

Esto implica que la limpieza del serpentín es importante por tres razones:

1. La suciedad reduce la transferencia de calor,
2. La suciedad obstruye el paso del aire, obligando al motor ventilador a consumir mayor potencia, y
3. La presión con que el compresor aspira deberá ser menor para contrarrestar la menor eficiencia del evaporador y lo obliga a demandar mayor potencia.

El refrigerante en el evaporador tendrá aproximadamente de 5 a 6° C (10° F) menos de temperatura que el interior del refrigerador o cuarto frío, por ejemplo, si la temperatura deseada para mantener un pollo congelado es -18° C, el refrigerante deberá estar a -23° C, aproximadamente, y la presión corresponderá a la TSS del refrigerante.

Debido a que algunos sistemas operan a temperaturas cercanas o por debajo del punto de congelamiento del agua, los evaporadores pueden requerir de formas para descongelar el serpentín de la escarcha que se forma por la humedad.

Fig 8. Evaporador de placas usado en refrigeradores



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Otros tipos de evaporadores son los de placas, muy usados en las refrigeradoras residenciales (Ver Fig 8).

Durante una auditoría energética, lo primero por observar en el evaporador es si está escarchado o lleno de hielo y su limpieza. Cuando se encuentra congelado, el motor realiza mayor trabajo y consume más energía, el aire no alcanza las velocidades adecuadas y, en casos extremos, el refrigerante no se evapora y regresa como líquido al compresor, ocasionando problemas de lubricación o daños mecánicos.

También hay que medir la temperatura del aire entrando al evaporador para definir la temperatura del lugar; además, se puede tomar la temperatura entre los productos. Esta deberá ser al menos el rango mayor recomendado.

Una prueba sencilla en los congeladores es verificar la dureza del producto con las manos; por ejemplo, la manteca y las carnes se vuelven tan duras que no puede dejarse marca al presionar con los dedos.

5.5 Tubería

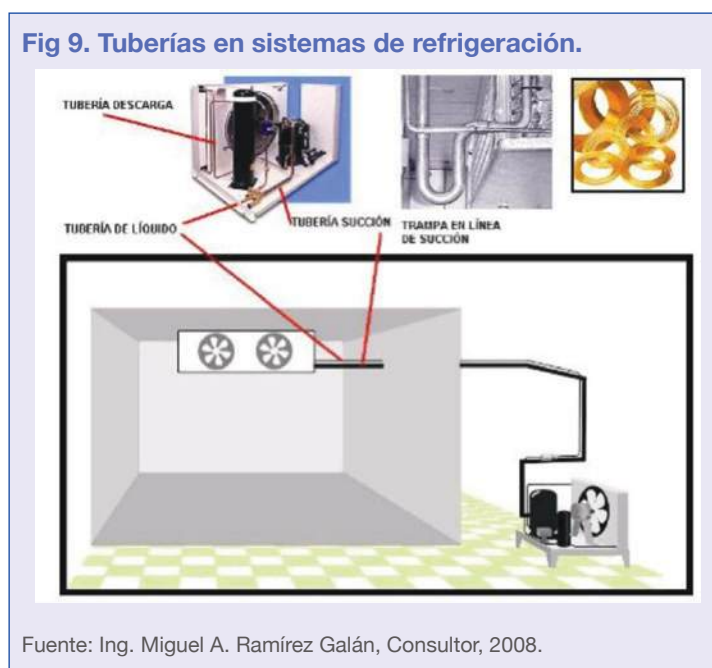
La tubería de refrigeración no es un equipo en sí mismo, ya que su función es interconectar a los otros componentes. Sin embargo, un mal diseño o instalación de las tuberías hará al equipo no sólo menos eficiente, sino que también dañará, en el corto o mediano plazo, la operación del compresor y el enfriamiento alcanzado.

La tubería es generalmente de cobre y se clasifica en tres tipos (Fig 9):

- a. **De succión**, la cual conecta el evaporador con el compresor. Por lo general puede incluir una trampa en forma de “S” acostada. Como el refrigerante sobrecalentado que sale del evaporador tendrá una baja temperatura, esta tubería debe estar forrada con un material aislante; es la más gruesa de ellas.

- b. **De descarga**, la cual conecta el compresor con el condensador. Por lo general es muy corta y alcanza más de 40°C .
- c. **Línea de líquido**, la que conecta el condensador con el dispositivo de expansión y transporta el líquido subenfriado. No se forra para que pierda calor en el recorrido y de preferencia no debe exponerse al sol directo. Es la más delgada de las tuberías.

Normalmente, los equipos son instalados por personal calificado y será un caso excepcional encontrar tubería de menor tamaño a la requerida, por lo que en un diagnóstico energético, hay que enfocarse más en observar si la tubería está aplastada, si pasa en zonas muy calientes, si el aislamiento de la succión está roto o ya no lo tiene, si se aprecian manchas de aceite (puede significar una fuga de refrigerante) y al medir la temperatura de la línea de líquido, se puede determinar qué tanto subenfriamiento tiene el refrigerante al salir del condensador.



VI. EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS

Al convertir un tipo de energía en otra, por ejemplo, electricidad en movimiento de un compresor o ventilador, una parte se pierde en otra forma no deseada, como calor. En términos energéticos, la eficiencia es la medida de la cantidad de energía útil después de una conversión. Un equipo eficiente es el que genera un mínimo de pérdida de energía.

Los equipos electro-mecánicos de un sistema de refrigeración poseen dos tipos de eficiencias: la electromecánica y la termodinámica.

6.1 La eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica se refiere a la eficiencia de convertir energía eléctrica en trabajo mecánico, la cual depende de las características electromecánicas o de fabricación de las partes del equipo y se ve afectada por los tipos de motores y piezas mecánicas asociadas como: acoples, baleros y chumaceras, fajas, poleas, etc.

Generalmente ésta es tomada en cuenta por el fabricante al indicar los consumos de sus equipos; un mantenimiento preventivo permite mantener estas eficiencias en un nivel adecuado. La vibración excesiva y el calentamiento de las partes mecánicas es un indicador de cuánta energía se pierde por la fricción de las piezas, por lo que es conveniente llevar un registro de las temperaturas de los componentes mecánicos para determinar su deterioro o la necesidad de lubricación.

La mano de obra debe ser también calificada; una faja puede ser de excelente calidad, pero de nada servirá si se coloca floja, mal alineada o no es del tamaño requerido. Ello no sólo hará menos eficiente el equipo, sino que también existe un alto riesgo de desgaste y daños prematuros de sus componentes.

Para medir la eficiencia electromecánica hay que disponer de instrumentación especial adecuada como termómetros, amperímetros, medidores de vibraciones, calibradores, manómetros etc., y tener un historial de cómo trabajaba el equipo cuando estaba nuevo. Por lo tanto, no es una medición que se pueda obtener en una sola visita de diagnóstico energético. Por lo general se evalúa más la calidad del mantenimiento y la eficiencia termodinámica.

A continuación, en la Tabla 3 se enuncian algunas medidas, a fin de conocer deficiencias en la eficiencia electromecánica del equipo observado:

Tabla 2. Medidas generales de eficiencia electromecánica

Elemento	Medida de observación	Causas y medidas
Motores y compresores	<ul style="list-style-type: none"> Llevar mensualmente registro de voltaje, amperaje y temperaturas de trabajo del equipo. Controlar las presiones trimestral o semestral. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: Si el consumo de energía aumenta en condiciones de operación similares, se observará un amperaje mayor a las lecturas previas. Si el valor es mayor al especificado por el fabricante, el equipo podrá dañarse, por lo que se requiere llevar a cabo una medición inmediata de presiones de succión y descarga, carga de refrigerante, limpieza de serpentín del condensador y revisión de serpentín de evaporador y probable programación de cambio. Medida: Requiere mano de obra calificada para la reparación.

Elemento	Medida de observación	Causas y medidas
Motores y compresores	<ul style="list-style-type: none"> Identificar vibraciones que produzcan chillidos o ruidos excesivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa; ruidos excesivos son producto del desgaste de las piezas en movimiento. Medida: Habrá que lubricar, engrasar o alinear las piezas. Medida: Si el ruido persiste o aumenta, se requiere de mantenimiento correctivo con personal calificado.
	<ul style="list-style-type: none"> El equipo arranca y para en periodos cortos de tiempo (ciclado). 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: El equipo puede tener una válvula que no selle bien o le falte refrigerante. Causa: El problema también puede ser causado por falla mecánica en el compresor o en los componentes eléctricos de control. Medida: Requiere mano de obra calificada para la reparación.
	<ul style="list-style-type: none"> La temperatura del condensador es mayor a 8° C con respecto al ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: La suciedad en el serpentín reduce el paso del aire y la transferencia de calor al medio ambiente. Medida: Se debe limpiar mensualmente. Causa: El equipo trabaja con presiones más altas (será menos eficiente), lo cual es causado por obstrucción o suciedad en el condensador, falla en el motor ventilador o aire mezclado con refrigerante dentro del sistema. Medida: Requiere mano de obra calificada para la reparación.
Válvulas y accesorios	<ul style="list-style-type: none"> Manchas de aceite en los acoples de la válvula. Baja presión / temperatura de la descarga o succión del compresor. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: Posible fuga de refrigerante, lo que hará que las presiones disminuyan y el compresor no podrá mover el refrigerante suficiente, el equipo no enfriará adecuadamente y se estará consumiendo energía. Medida: Requiere mano de obra calificada para la reparación ó atención profesional para reparar.
	<ul style="list-style-type: none"> Tubos aplastados o con taponamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: el paso del refrigerante se restringe o no puede pasar. Medida: Requiere mano de obra calificada para la reparación.
Evaporador	<ul style="list-style-type: none"> Serpentín o tubería del aparato se congela o escarcha. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: poco refrigerante en el sistema o ventilador evaporador dañado o con fallas en el sistema de deshielo o el drenaje se ha tapado. Medida: El evaporador requiere limpieza y de un programa de mantenimiento preventivo.
	<ul style="list-style-type: none"> Evaporador vibra o hace ruido metálico por roce de alguna pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> Causa: Vibración excesiva se debe a desgaste de los motores, carcasa mal armada después de un mantenimiento o aspas rotas o golpeadas. Medida: En todos los casos hay que solicitar asistencia técnica calificada.

6.2 La eficiencia termodinámica

La eficiencia termodinámica depende de las condiciones de operación del sistema: la temperatura ambiente a la que está el condensador, la temperatura de enfriamiento del evaporador y qué tipo de refrigerante fluye por el equipo. Factores como el sub-enfriamiento y el sobre-calentamiento afectan mucho este tipo de eficiencia.

El valor que mide esta propiedad se conoce como el Coeficiente Operacional (COP), aunque en otros países se le llama Coeficiente de Rendimiento (CDR). Este relaciona la capacidad de enfriar con el consumo de potencia del equipo, es decir, la cantidad de calor que absorbe con respecto a la energía que requiere el compresor, ambos datos en iguales unidades.

El CDR varía con las condiciones de operación, lo que implica que un mismo equipo tendrá distinta eficiencia a medida de que varíen las condiciones de trabajo. También puede medirse con instrumentos adecuados: termómetro, medidor de flujo de aire (o agua si aplica) y medidores de potencia eléctrica (amperímetro/voltímetro). En breves palabras, es lo que realmente enfría el equipo entre la energía que consume, todo medido en las mismas unidades.

Este concepto es el equivalente a decir cuántos galones o litros de combustible consume un carro por kilómetros recorridos.

Las premisas básicas son:

- A mayor temperatura ambiente, mayor presión de condensación, menor será el CDR y se consume más energía.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, aumenta la capacidad de refrigeración, ya que el refrigerante requiere menos enfriamiento, debido a la baja temperatura de condensación,
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye el flujo másico por tonelada de capacidad de refrigeración, debido a que aumenta el efecto refrigerante.
- Cuanta menor sea la presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuirá el calor de compresión y, por ende, el amperaje, debido a que se requiere menos trabajo para comprimir, dentro de un intervalo de presión más reducido.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor rechazado en el condensador, al disminuir el flujo másico.
- Al haber menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuirá la potencia requerida por tonelada por la reducción, tanto en el trabajo de compresión, como en el flujo de refrigerante en el sistema.
- A menor temperatura de evaporación, menor será el CDR y se consume más energía.
- Cuanta más temperatura de evaporación se logra por un mantenimiento adecuado, se produce un incremento en el efecto refrigerante, ya que se requerirá menos gas de vaporización súbita para enfriar el refrigerante, dejando una mayor proporción de líquido para realizar refrigeración útil en el evaporador.
- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, se lleva a cabo una disminución del flujo másico por tonelada de refrigeración, al aumentar el efecto refrigerante.

- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor de compresión y, por ende, el amperaje, debido a que se requiere menos trabajo para comprimir el gas, en un intervalo de presión más reducido.
- Cuanta mayor sea la temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, disminuirá el calor rechazado por tonelada en el condensador.
- Si la temperatura de evaporación es mayor, por un mantenimiento adecuado, se reducirá la potencia requerida por tonelada de refrigeración, ya que existirá una disminución el trabajo de compresión y en el flujo de refrigerante en el sistema.
- A mayor sobrecalentamiento, menor será el CDR y se consume más energía.
- A mayor subenfriamiento, mucho mejor será el CDR y se ahorrará energía.

6.3 ¿Por qué se afecta la eficiencia termodinámica de los equipos?

En climas cálidos, los equipos se vuelven menos eficientes porque el condensador debe enfriar el refrigerante con aire más caliente, lo que produce un incremento en la presión del sistema y en la potencia del compresor y el subenfriamiento se reduce⁷. Es decir, un mismo sistema de refrigeración será más eficiente en la montaña que en la costa, por el simple hecho de operar en climas diferentes.

Por otro lado, la presión en el condensador se ve afectada por las propiedades del gas refrigerante, de acuerdo con la relación de compresión de diseño. Bajo las mismas condiciones, un equipo de sistema de refrigeración con gas refrigerante tipo R-22 tendrá presiones de 250 psig, mientras que otro con R134a alcanzará alrededor de 175 psig, pero ambos tendrán de 5,5 a 8° C sobre el ambiente.

De tal manera, cuanto más baja sea la temperatura deseada, el equipo realizará más trabajo y el evaporador tendrá menos líquido después de la expansión dentro de sus serpentines, lo cual reduce la capacidad para enfriamiento.

En otras palabras, cuanto menos temperatura se desee en el evaporador, menos calor podrá remover el equipo. Además, el compresor succionará a menores presiones y por más tiempo para llegar a temperaturas más bajas, gastando más energía (kWh) y a mayor potencia (kW).

Por ello, la producción de frío, que garantiza una temperatura adecuada para la conservación de productos, tiene un costo económico superior a medida de que la temperatura de conservación del producto sea más baja.

El sobrecalentamiento implica más calor para remover en el condensador, lo cual le resta espacio al equipo para subenfriar. Al salir del evaporador, un poco de sobrecalentamiento previene que ingrese líquido al compresor y lo dañe, pero si las tuberías no están debidamente aisladas, se calientan al pasar por el cielo falso de los edificios o en el exterior y eso no contribuye a reducir la potencia del sistema.

Subenfriar permite expandir el refrigerante eficientemente en el evaporador, permitiendo más líquido en el serpentín y, por ende, más capacidad de enfriamiento.

⁷ Subenfriamiento: se da cuando el condensador logra enfriar al refrigerante con respecto a la temperatura ambiente.

Como no siempre queda clara la información que el COP proporciona al determinar cuánto se gastará en energía o cuánto va a costar operar un equipo, se han desarrollado variaciones de este índice y algunos fabricantes las incluyen en sus equipos.

6.4 Los índices EER y SEER

El consumo de electricidad de un sistema de refrigeración depende de manera directa de su Relación de Eficiencia Energética (REE).

Los fabricantes y el personal que norma las especificaciones de eficiencia de los equipos han definido dos tipos de relación de eficiencia. La empleada comúnmente es la denominada “Relación de Eficiencia Energética Estacional” (SEER, del inglés *Seasonal Energy Efficiency Rating*) y representa la cantidad de calor retirado por el equipo y el consumo de electricidad a lo largo de un periodo establecido de tiempo (la época de verano definida por el fabricante). Corresponde, cercanamente, a la relación de eficiencia obtenida a 85°F de temperatura exterior.

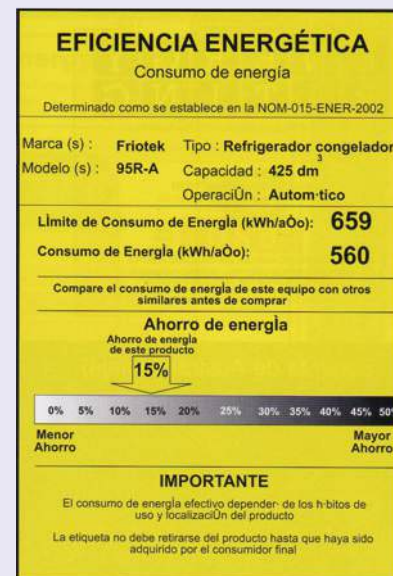
Sin embargo, en algunas ocasiones, los fabricantes no indican la eficiencia estacional SEER, sino un valor de eficiencia llamado REE (EER por sus siglas en inglés: *Energy Efficiency Rating*), que se define como la relación entre la cantidad de calor retirado por el equipo de aire acondicionado y el consumo de electricidad, cuando la temperatura de aire exterior que entra al condensador es de 95°F, expresándose ambas, tanto SEER como REE, en kbtu/kWh, en los Estados Unidos, México, Centro y Sudamérica, o en w/w en los países europeos.

Para sistemas de refrigeración doméstica y comercial, éstos no representan únicamente la eficiencia energética del compresor, sino que también involucran la operación de todos los componentes de la unidad, es decir, los motores de los ventiladores, la transferencia de calor de los serpentines del evaporador y condensador, la operación de expansión, el tipo de refrigerante y los materiales utilizados. Así, el REE indica que cuanto mayor sea el valor de la relación de la eficiencia energética de un equipo de refrigeración, la tecnología empleada será mejor y más moderna, siendo el principal objetivo la utilización del mínimo de energía eléctrica para realizar el trabajo de refrigerar un espacio.

Por ejemplo, en México los equipos de refrigeración doméstica generalmente son del tipo convencional y con deshielo manual y utilizan espuma de poliuretano como material aislante con espesores de 1,25 a 1,75 pulgadas, con compresores de relación de eficiencia energética (REE) de 2,73 a 3,88. La tendencia de disminución de consumo en éstos está dirigida a la utilización de paredes rígidas de poliuretano, 25% más gruesas, así como compresores recíprocos (ya que no existen del tipo espiral para estas capacidades), con un REE de entre 4 kbtu/kWh y 6 kbtu/kWh., presentan mejoras en sellos y diseños de evaporadores y condensadores y nuevos sistemas de control de temperatura por zonas, con sistemas de distribución de aire interior de volumen variable.

En lo que respecta a los equipos de refrigeración comerciales, se utilizan compresores scroll del tipo espiral, que se

Fig 10. Ejemplo de etiqueta de consumo energético



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

fabrican en capacidades de 1 a 60 HP y cuyo proceso se basa en una espiral que orbita en un trayecto definido por un *scroll* fijo coincidente que está adosado al cuerpo del compresor.

El *scroll* orbitante, por su parte, se acopla al cigüeñal y orbita, más que rota. El movimiento orbitante crea una serie de bolsillos de gas que viajan entre los dos *scrolls*.

En la parte más externa de los *scrolls*, los bolsillos atraen gas, que luego va al centro de los primeros, donde se descarga el gas. A medida de que el gas va entrando a los pequeños bolsillos, la temperatura y presión aumentan hasta el límite deseado, modulando su capacidad de compresión de un 10 a un 100% y suministrando un control de temperatura dentro de rangos de 0.5 °F, de esta manera, para coincidir exactamente con la carga de refrigeración real.

Con esto se incrementa hasta en un 30% su eficiencia energética, además de brindar ventajas adicionales, como un 70% menos de partes móviles con respecto a los compresores recíprocos, la capacidad de arranque bajo cualquier carga del sistema, tamaño compacto y ligero y diseño simple. Esto hace que su mantenimiento sea económico y sencillo, con un diseño simple que no usa válvulas de succión o de descarga internas.

Por ello, los equipos de compresión antes de 1985 tenían EER alrededor de 4. Desde 1985, Estados Unidos fijó por ley un mínimo de 8,5 EER. En el 2000 se incrementó a 10 EER y el 22 de febrero del 2006 el nuevo valor fue 13, lo que se ha logrado y superado en las instalaciones de refrigeración comercial con la utilización de los compresores tipo espiral. Esto indica qué tan eficientes son los equipos según su año de fabricación y es un dato que se debe preguntar durante los diagnósticos energéticos. Así mismo, se debe consultar la etiqueta de eficiencia energética del equipo para conocer los índices de consumo de energía eléctrica del equipo (ver Fig 10).

Sin embargo, el consumo de los equipos no sólo dependerá de sus eficiencias, sino también del tiempo que necesiten para enfriar las cargas de productos, versus aquellos que pasan sólo manteniendo la temperatura. Esto significa que un refrigerador o cuarto frío con un alto tráfico de producto que entra y sale continuamente consumirá más energía que uno que permanece cerrado o con tráfico limitado. También importa mucho si el producto entra muy caliente, ya que será mayor el tiempo requerido para alcanzar el valor deseado.

Los refrigeradores se utilizan en casi todos los hogares, restaurantes e incluso en algunas oficinas. Pueden consistir en equipos de uno o más compartimentos a diferente temperatura. Su capacidad se mide en litros o pies cúbicos.

Las refrigeradoras pueden traer su etiqueta energética, pero los equipos de cuarto frío no suelen traer esa información, ya que su capacidad y eficiencia dependen de la temperatura a la que serán ajustados.

Las cargas térmicas para los equipos de refrigeración son idénticas a las del sistema de refrigeración, con la salvedad que no se suelen instalar ventanas en cuartos fríos de almacenaje y solo se colocan en sistemas que exhiben el producto.

El aislamiento se convierte en algo muy importante, ya que permite reducir considerablemente la carga térmica y comprar los equipos más pequeños que se puedan.

La infiltración en estos equipos se vuelve aún más crítica, por lo que en aplicaciones grandes o de baja temperatura, se aconseja el uso de cortinas de plásticas, de aire o antecámaras acondicionadas o refrigeradas.

Los tipos de refrigerantes también importan para la aplicación y la temperatura, ya que algunos son excelentes a media temperatura, pero ineficientes o peligrosos en baja. Algunos de ellos son: R-22 y R134a, a media temperatura; amoníaco, R502, 507, 404a, 402b, a baja temperatura.

A menor temperatura, menor CDR y REE, por lo que un mismo equipo usado, por ejemplo, para verduras, tendrá menos eficiencia si se usa para carnes. Normalmente un equipo de media temperatura no puede usarse para congelar y viceversa.

Las tecnologías más avanzadas de refrigeración utilizan sistemas de múltiples compresores, equipos de carga variable, deshielos con gas y resistencias y diseños especiales de las válvulas del compresor para aumentar sus eficiencias volumétricas. El control automático y las válvulas que regulan y limitan las presiones del refrigerante tienen aplicaciones en pequeña y gran escala.

VII. TIPOS DE COMPRESORES

Debido a la importancia en el consumo de energía del compresor, es necesario distinguir los diferentes tipos de compresores que se utilizan en los equipos que se encuentran en el mercado.

7.1 Compresores reciprocantes

Los equipos de refrigeración utilizan principalmente compresores reciprocantes debido a las altas compresiones que se requieren para las aplicaciones de baja y media temperatura. Así, existen versiones estándares y de alta eficiencia de este tipo de compresores.

Estos compresores son los menos eficientes, pero tienen un costo relativamente menor comparados con otros, aunque son muy ruidosos. Operan al reducir el volumen de un espacio sellado llamado cilindro, por medio de un pistón en movimiento. Debe existir un espacio entre la cabeza del pistón y las válvulas para evitar que choquen las piezas entre sí, por lo que hay una pequeña cantidad de refrigerante que se re-expande y le resta espacio al cilindro durante la aspiración de nuevo refrigerante. A esto se le conoce como **eficiencia volumétrica** del compresor y depende de la diferencia entre la presión de descarga y la de succión.

Para medir estas variables se establece la **“relación de compresión”**, la cual consiste en dividir la presión a la salida del compresor con la de la succión, ambas en unidades de presión absoluta. Cuanto mayor sea el número, menor será la eficiencia volumétrica de un compresor dado.

Los compresores reciprocantes pueden ser:

- a. **Abiertos:** el motor y el compresor son dos partes separadas entre sí y se conectan con polea y fajas o directamente. Pueden desarmarse para repararse y, por lo general, no son prácticos en aplicaciones pequeñas, de 5 TR o menos 3. (Fig 11)
- b. **Herméticos:** el motor y el compresor están dentro de una misma carcasa sellada; son mucho más baratos que cualquier otro tipo, pero son los menos eficientes del mercado en aplicaciones de sistema de refrigeración. (Fig 12).

Son prácticamente desechables al no poder ser desarmados para reparación. Se usan en todo tipo de aplicación, pero no son los preferidos en grandes dimensiones, arriba de las 10 TR, debido a que no se pueden reparar fácilmente. Son los compresores más populares en el mercado por su bajo costo, pero están siendo desplazados por tecnologías más eficientes y a un costo competitivo.

- c. **Semi-herméticos:** el motor y el compresor están dentro de una misma carcasa, pero poseen compuertas o piezas de acceso para realizar mantenimientos y reparaciones internas. Son mucho más costosos que los herméticos, pero con la ventaja de ser reparables y son especialmente buenos en el campo de la refrigeración industrial, (Fig 13).

Fig 11. Compresores abiertos.



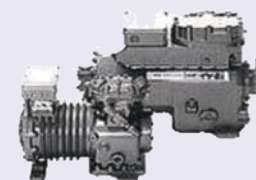
Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 12. Compresores herméticos.



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 13. Compresores semi-herméticos.



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

7.2 Compresores rotativos

Debido a las presiones requeridas para alcanzar las bajas temperaturas en los sistemas de refrigeración comercial -hasta 20HP- se utilizan casi exclusivamente compresores reciprocantes y rara vez se encuentra un tipo diferente, como compresores rotativos. Los rotativos tienen eficiencias volumétricas muy elevadas y son muy eficientes. Los compresores rotativos pueden ser como los que se exponen a continuación:

7.2.1 Scroll o espiral

A diferencia del reciprocante, el compresor tipo espiral o *scroll* comprime el refrigerante entre dos espirales: una fija y otra móvil, en un movimiento circular. De esta forma, el flujo es continuo, sin golpeteo y muy silencioso (Fig 14).

La eficiencia volumétrica es prácticamente del 100%, por lo que la eficiencia total es mayor que con los reciprocantes. Los nuevos diseños *scroll* son de tecnología muy avanzada y su uso en el mercado aún evoluciona hacia nuevas aplicaciones.

Se obtienen en capacidades de 1 a 60 HP y están reemplazando a los compresores reciprocantes herméticos en aplicaciones para PYMEs, en rangos desde los -40°C hasta aire acondicionado.

Se pueden diferenciar a simple vista de los reciprocantes por ser más delgados y altos, sin embargo, vienen en carcasas herméticas, sin acceso a mantenimiento, por lo que no pueden ser reparados en caso de falla; sin embargo, poseen 80% menos piezas que los reciprocantes y eso los vuelve muy confiables y con menor riesgo a presentar fallas mecánicas.

7.2.2 Rotativo de paleta o pistón rodante

Este compresor utiliza un pistón cilíndrico que gira excéntricamente, de tal manera que por momentos se aleja del cilindro y en otros se aproxima. Este cambio de volumen entre el pistón y la superficie del cilindro succiona y descarga el compresor. Para lograr el sello, puede contar con una paleta con un resorte. Su eficiencia volumétrica es muy alta, pero su aplicación es principalmente en aire acondicionado (Fig 15).

7.2.3 Tornillo

El compresor de tornillo en refrigeración se encuentra en rangos de 20 HP a 300 HP, temperaturas mínimas de succión de -30°C y rangos de capacidad de 40 a 230 TR. Es de costo elevado y muy compacto. Una PYME, por lo general, no contará con compresores de este tipo.

Su diseño incluye variación de capacidad para trabajar eficientemente cuando la carga sea menor a la de diseño (etapas llegan hasta un 25% de capacidad respecto al valor nominal) (Fig 16).

Fig 14. Compresores scroll



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 15. Compresores de paleta



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 16. Compresores de tornillo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

7.2.4 Centrífugo

Los compresores centrífugos son muy similares, a simple vista, a las bombas de agua centrífugas y operan bajo el mismo principio. Dentro de la carcasa se hace girar una rueda (estator) con paletas o alabes inclinados. El movimiento de la rueda acelera al refrigerante y aumenta su velocidad y presión, comprimiéndolo al ingresar a la tubería.

Estos compresores son muy eficientes, pero su aplicación es limitada por su alto costo y su gran escala de capacidad. Se usan primordialmente en aire acondicionado o para comprimir grandes volúmenes de gases como oxígeno, nitrógeno e hidrocarburos. Como poseen muy pocas piezas móviles y el estator no toca la superficie de la carcasa, sufren poco desgaste y requieren menos mantenimiento (Fig 17).

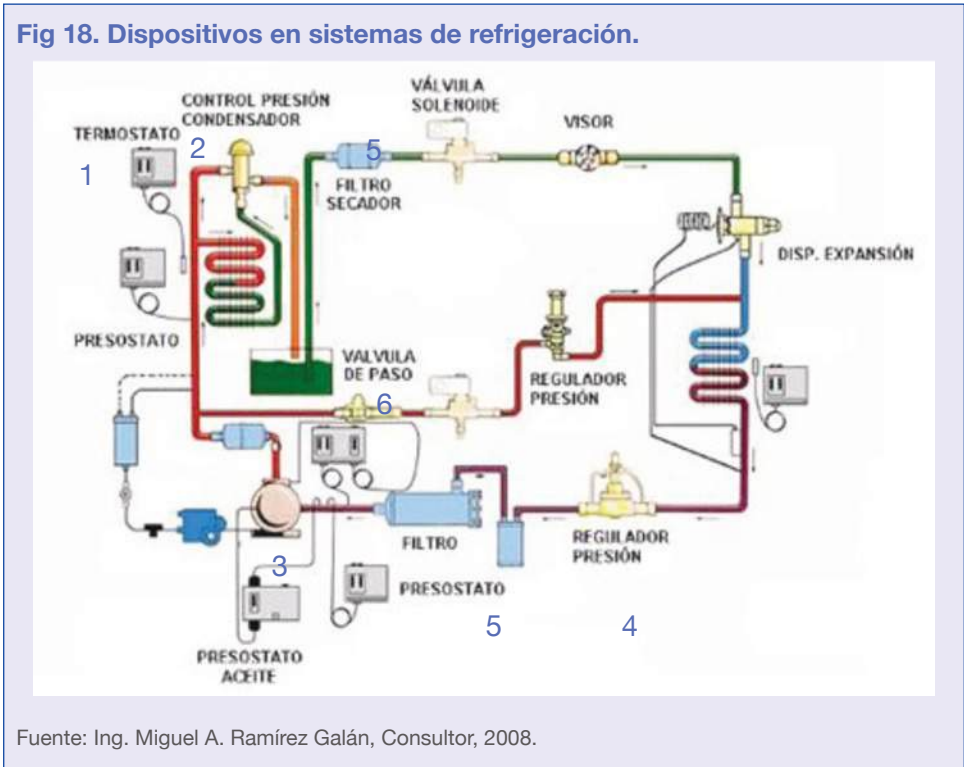
Fig 17. Compresor centrífugo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

VIII. OTROS COMPONENTES

Adicionalmente a los componentes principales, existen otros que ayudan a controlar el sistema completo. No todos los dispositivos indicados son necesarios, como en equipos pequeños o en ciertas aplicaciones (Fig18).



8.1 Termostato o control de temperatura

Es el dispositivo basado en un interruptor que cierra y abre el punto de contacto eléctrico sensible a los cambios de temperatura. Su función es apagar o encender automáticamente el compresor o algunos ventiladores del sistema de refrigeración, a fin de mantener el área refrigerada en un rango de temperatura, (Fig 18, No.1). Existen desde el más sencillo, de tipo mecánico, hasta termostatos digitales electrónicos programables.

Lo más importante para un buen uso del termostato es su ubicación, pues si está en un lugar donde da el sol o existen equipos que generan calor, como cafeteras o computadoras, el termostato no desconectará el equipo, ya que no se dará cuenta de la verdadera temperatura del cuarto.

Esta última temperatura oscilará entre un valor mínimo y uno máximo, mientras el compresor está apagado, por lo que es importante constatar que no se sobrepase el máximo requerido por el producto. La diferencia entre estos dos valores de temperaturas se llama diferencial y normalmente es de 1° C. Para ello, hay que procurar obtener la condición máxima de temperatura posible del producto para ahorrar energía, pero sin arriesgar que se deteriore o dañe.

8.2 Controles de presión o presostatos

Los controles de presión son dispositivos con doble función: apagar o encender compresores y/o ventiladores por medio de una señal activada por la presión existente en las tuberías o en el compresor; u operar como protecciones en caso de fuga, exceso de presión o presión muy baja (Fig 18, No.2).

El control de baja presión puede, incluso, reemplazar al termostato en aplicaciones donde se desea limitar la temperatura mínima que alcanza el evaporador. Para ello se utiliza el principio termodinámico de calor latente: mientras en el evaporador exista la mezcla de vapor y líquido evaporándose, la temperatura y la presión serán conocidas y se mantendrán constantes, de tal forma que, al limitar las presiones del evaporador, también se limita su temperatura (Fig 19).

Fig 19. Tipos de controles en los sistemas de refrigeración



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

A estos elementos se les asigna una identificación según el rango de presiones de trabajo del control, por lo que en el mercado se conocen como presostatos de baja, alta o dual (un presostato que combina alta y baja en un solo equipo).

8.3 Relojes de deshielo

Los relojes o “timers” de deshielo son controladores de tiempo que activan o desactivan los componentes necesarios para realizar una operación de deshielo dentro del evaporador, éstos pueden ser mecánicos o electrónicos programables.

8.4 Ventiladores y bombas

Los ventiladores se encargan de impulsar y recircular aire a través del condensador y evaporador. También permiten distribuirlo en las habitaciones en los sistemas con ductos.

Las bombas se encargan de recircular agua fría o productos líquidos a los intercambiadores de calor de los equipos. Los motores ventiladores y las bombas son similares entre sí ya que, dependiendo de la resistencia que encuentren en el aire o líquido, así será la presión y la demanda de potencia que requerirán (Fig 18, No.3).

Por lo tanto, estos equipos deben seleccionarse para mantener su mejor eficiencia en las condiciones normales de trabajo. Dos motores iguales que trabajen con presiones y flujos de aire diferentes, demandarán diferente cantidad de energía.

La limpieza y el cuidado de los serpentines nuevamente son un factor de importancia para ahorrar energía en los aires acondicionados y cualquier obstrucción implicará mayores consumos.

8.5 Válvulas reguladoras de presión

Las válvulas reguladoras de presión se utilizan tanto para controlar como para proteger los dispositivos. Estos elementos no se usan en equipos pequeños como refrigeradores (Fig 18, No.4).

8.6 Filtros, desecantes y visores

Los filtros tienen doble función: limpiar el refrigerante de impurezas y absorber residuos de humedad dentro de las tuberías con un material desecante. La humedad puede congelarse en las válvulas y obstruirlas seriamente (Fig 18, No.5).

De tal forma, el visor permite ver el líquido refrigerante fluyendo. Si se ven burbujas o flujo irregular, posiblemente falte gas. También posee un material que cambia de color si hay humedad, lo que requiere cambio de filtros, mientras que en la succión pueden ir filtros para proteger válvulas muy delicadas.

8.7 Válvulas de paso

Las válvulas de paso limitan o cierran tramos de tubería de refrigerante para realizar operaciones de mantenimiento o cortar el flujo a fin de detener, desviar o reanudar el enfriamiento (Fig 18, No.6).

8.8 Aislantes

Los materiales aislantes térmicos tienen un papel importante en el ahorro de energía.

Cada material aislante presenta ventajas y desventajas específicas. El análisis exhaustivo de estas características puede contribuir a lograr aplicaciones adecuadas y favorables en función del uso y de las características constructivas de los espacios refrigerados (Fig 20).

Los materiales aislantes no constituyen un equipo o componente propiamente dicho, pero reducen las ganancias o pérdidas de energía frigorífica en las tuberías de las líneas de succión del refrigerante, en el evaporador y en el cuarto frío o refrigerador. En el caso de las tuberías, normalmente se forran únicamente aquellas que van del evaporador al compresor.

Tubería escarchada o congelada puede encontrarse en equipos con aislantes defectuosos, pero también podrían significar que le falta refrigerante al equipo o que el evaporador está sucio. En cualquiera de los casos, el sistema pierde eficiencia.

Fig 20. Aislamiento en los cuartos fríos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

IX. CICLOS DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Los sistemas de refrigeración poseen dos ciclos básicos: enfriamiento y deshielo.

9.1 Ciclo de enfriamiento

En el ciclo de enfriamiento, el compresor y los motores operan mientras el refrigerante fluye por las tuberías hacia el evaporador para absorber el calor y luego transmitirlo al condensador, a fin de cederlo al ambiente.

Una vez que se logra la temperatura deseada, el compresor y los motores del condensador se apagan, mientras los ventiladores del evaporador se mantienen encendidos.

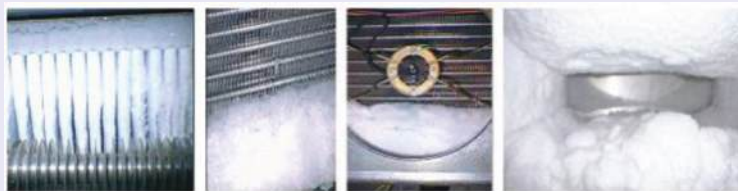
En aplicaciones de baja temperatura, se puede disponer de una válvula de cierre que corta el paso de refrigerante al evaporador, en lugar de apagar directamente la unidad. Esto garantiza que el evaporador no quede con refrigerante y que el aceite que pueda quedar atrapado sea aspirado de regreso al compresor.

Una vez retirado el refrigerante, el compresor se desconecta. A esto se le conoce como paro por vacío, el cual no es recomendado en compresores tipo *scroll*.

9.2 Ciclo de deshielo

Debido a la humedad del aire ambiente, los evaporadores tienden a acumular escarcha o hielo en los serpentines y para eliminarlo se dispone de un ciclo de deshielo (Fig 21).

Fig 21. Ejemplo de escarchado en evaporadores



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

En las refrigeradoras domésticas o congeladores, el ciclo de deshielo se realiza manualmente, al desconectar el equipo cada dos o tres meses (antes si lo requiere) y dejarlo apagado durante la noche y sin producto. Cuando el hielo se ha removido, se conecta nuevamente.

En los sistemas tipo “frío seco” o “sin escarcha”, el deshielo se hace con un reloj que deshiela la unidad de una a tres veces al día, apagando el compresor y dejando de enfriar por períodos cortos.

En aplicaciones de baja temperatura se utiliza, además, una resistencia eléctrica para descongelar el hielo y los ventiladores del evaporador se apagan para evitar que aire caliente re-circule en el equipo.

Existen en el mercado dispositivos automáticos que desconectan las resistencias si el hielo o escarcha se derriten antes de tiempo, lo cual reduce considerablemente el consumo de energía de los aparatos.

Es importante verificar si se dispone o no de estos dispositivos para evaluar si es necesario invertir en uno. Caso contrario, habrá que evaluar los tiempos y reducirlos, si es necesario. Por lo general son 30 minutos, tres o dos veces al día y se conocen como deshielos eléctricos.

Métodos más eficientes son los deshielos por gas caliente (*hot gas*) que re-circulan en el evaporador gas de la descarga del compresor para derretir el hielo. Tienen menor duración, de 5 a 10 minutos, y se pueden realizar tres o dos veces al día.

En sistemas de media temperatura (arriba del punto de congelamiento del agua), la escarcha es menor y se derrite durante los ciclos de paro por temperatura, debido al movimiento del aire de los ventiladores. Sin embargo, dependiendo de la humedad del aire, se recomienda realizar paros de una o dos horas, temprano por la mañana o al inicio de la noche, cuando no se está abriendo la puerta de los equipos. A esto se le llama deshielo por paro (*off cycle*). Su duración dependerá de cuánta escarcha se acumule al final del día y si la temperatura no se incrementa mucho al mantener apagado por ese tiempo el sistema.



X. LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN

La carga de enfriamiento es la cantidad de calor que se debe extraer del cuarto frío o refrigerador para llevar el producto a la temperatura deseada en un tiempo dado, por lo general 24 horas.

Dicha carga se estima para cubrir la demanda del valor máximo o pico de BTU/24h para los días más calientes del año en una determinada zona geográfica, los horarios de uso, el volumen de producto entrando caliente, la velocidad para enfriar y el número de personas, equipos e iluminación.

Al dividir la carga total en 24 horas con las horas de operación del equipo, se obtiene la capacidad del sistema en BTU/h. Por lo general, los sistemas operan de 16 a 22 horas al día.

Los cuartos y refrigeradores están expuestos a muchas fuentes de calor, algunas de origen interno, como el producto; otras externas, como la radiación directa del sol. La latitud o la cercanía al ecuador, ubica a Centroamérica en una zona tropical, por lo que el calentamiento por radiación solar es importante en cuartos y equipos ubicados cerca de paredes que comunican al exterior. Al evaluar las oportunidades de reducción de la carga de enfriamiento, el equipo lo hará más rápido y operará menos tiempo.

10.1 Fuentes de calor externas

La principal fuente de calor externa es la radiación solar. Esta depende de la hora del día y de la presencia o no de sombras externas producidas por otros edificios, árboles o estructuras de la construcción como techos salientes, aleros y aletas; así como de la orientación de las paredes y la latitud (qué tan cerca o lejos estamos del ecuador).

En Centroamérica, las paredes este y oeste reciben mucha intensidad solar y la sur está expuesta la mayor parte del tiempo. Cuartos fríos ubicados en el exterior deberían contar con un techo para generar sombra o estar pintados de colores claros o reflectivos.

La reducción de calor externo se realiza por medio del aislamiento de las superficies. Usualmente, los cuartos de media temperatura poseen 4" (10.2 cm) de poliestireno en paredes y de 4 a 6 pulgadas (10.2 a 15.2 cm) en los techos y pisos. Los de baja temperatura poseen iguales dimensiones, pero el aislante es poliuretano expandido.

Dentro de las especificaciones del aislamiento térmico que se deben cumplir para su utilización en instalaciones frigoríficas se encuentran:

- Tener baja conductividad térmica.
- Ser muy poco higroscópico.
- Ser resistente a los roedores.
- Ausencia de olores.
- No ser combustible.
- Ser neutro químicamente frente a otros materiales utilizados.
- Ser plástico.

- Tener facilidad de colocación.
- Tener resistencia a la compresión y a la tracción.

Adicionalmente, el diseño del espesor óptimo del aislamiento es de gran importancia, ya que a medida de que los precios de la energía se incrementen, se requerirán mayores espesores de aislamiento en las instalaciones frigoríficas.

10.2 Otras fuentes de calor externas: la infiltración y /o ventilación

El aire ambiente exterior “caliente” que entra por rendijas o al abrir las puertas se conoce como infiltración y depende del número de puertas o del tráfico de personas entrando y saliendo con producto.

Las puertas se sellan herméticamente por medio de empaques en estos equipos, así como al localizar y eliminar las fuentes de fuga de calor por infiltración, lo cual es muy importante para reducir el consumo de energía.

Cuanta más baja sea la temperatura y más pequeño sea el volumen del cuarto o refrigerador, más importante será controlar la infiltración. Mecanismos para minimizarla incluyen la instalación de cortinas plásticas para reducir la aproximadamente en un 50%, el uso de antecámaras intermedias para el ingreso a cuartos de baja temperatura o cortinas de aire, las cuales reducen la carga de infiltración entre un 50 y 70%.

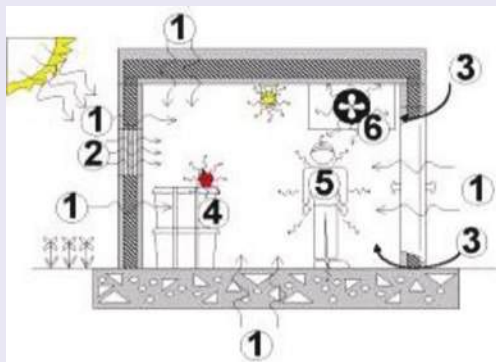
El uso continuo o tráfico pesado que requiere abrir continuamente las puertas, especialmente cuando se está llenando de producto, puede aumentar la infiltración entre 150% a 200%, de forma que es un momento crítico para confirmar si los procedimientos son adecuados; es decir, si no retiran la cortina en esos casos y si dejan las puertas abiertas o las cierran.

10.3 Fuentes de calor internas

Son las fuentes que se originan por el producto refrigerado y el uso de luces, equipos y personas en el interior de los cuartos, por lo que están sujetas a los horarios de permanencia y uso, más que a las condiciones climáticas predominantes.

La importancia de cada fuente interna depende del volumen del cuarto, pero por lo general el producto será lo de mayor importancia. Las frutas y verduras son además un caso especial, ya que se consideran producto vivo y requieren aire exterior para respirar oxígeno y generar CO₂ (Fig 22).

Fig 22. Cargas de calor en sistemas de refrigeración



1. Carga de calor solar en paredes, techos, pisos, puertas y ventanas.
2. Carga de calor solar por ventanas y superficies transparentes.
3. Carga de infiltración por aire caliente que entra en rendijas y al abrir puertas.
4. Carga por calor del producto. Las frutas y verduras generan además calor por metabolismo, al ser productos vivos, a lo que se le llama calor de respiración.
5. Calor por personal trabajando.
6. Calor por equipos, motores y luces.

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

El empaque de almacenamiento es importante y en estos casos debe tener agujeros. Si las frutas o verduras se almacenan en bolsas cerradas, el primer indicio será que la bolsa sude por dentro y el producto se irá marchitando rápidamente.

Los líquidos almacenados deben estar tapados herméticamente, ya que los evaporadores deshidratan el aire y se pierde poco a poco agua en los productos. Esto acelera la formación de escarcha en el evaporador y su eficiencia.

Durante un diagnóstico energético, la evaluación de si el equipo está bien o mal seleccionado se puede realizar simplemente midiendo con el termómetro y determinando si logra o no alcanzar la temperatura adecuada del producto cuando éste ingresa y si no hay reportes de daños por deterioro acelerado.

Normalmente no es necesario realizar un cálculo de la carga térmica en cuartos fríos. Refrigeradores y enfriadores comerciales son diseñados en fábrica y probados, por lo que están contruidos para un volumen determinado de producto.

Es necesario tomar en cuenta que el cálculo de la carga térmica de cuartos fríos es un proceso que requiere recolectar diversos datos, como las dimensiones de la construcción de área y el volumen del cuarto, los materiales usados, cuánto personal y tiempo permanece éste dentro con las luces encendidas, cuántas luces hay y de que potencia en vatios (*Watts*) y la cantidad de producto que ingresa a una temperatura definida.

Ningún método rápido reemplaza un estudio de carga formal y profesional y deben utilizarse más como una referencia inicial y no como un valor exacto. Por lo general ofrece valores mayores como un factor de seguridad del cálculo.

Las tablas completas puede encontrarse en el sitio *web* de los distribuidores de productos LARKIN: <http://www.larkinproducts.com/resources/>, en Guía rápida de cálculo de carga (*Quick calculations guide*).

En ese mismo sitio se puede encontrar material adicional, como recomendaciones técnicas de instalación y tablas de cálculo rápido para diámetros de la tubería de refrigeración, a fin de determinar, durante una inspección, si la tubería instalada es o no la adecuada.

Resumiendo, la carga térmica total de diseño se compone de:

- Carga térmica por pérdidas por transmisión: corresponde al calor transmitido a través de paredes y techos aislados en régimen estacionario.
- Carga térmica por enfriamiento y/o congelación: corresponde a las necesidades frigoríficas por enfriamiento de la mercancía.
- Carga térmica por conservación: es el desprendimiento de calor que ciertos productos experimentan durante su conservación.
- Carga térmica por renovación de aire: corresponde a la renovación de aire que se debe llevar a cabo en las cámaras frigoríficas con temperaturas de trabajo superiores al punto de congelación, durante una frecuencia determinada, por el producto refrigerado.
- Carga térmica por calor desprendido en ventiladores: es el equivalente calorífico del trabajo realizado por los motores eléctricos.

- Carga térmica por personas: corresponde al número de personas que entren diariamente a las instalaciones frigoríficas.
- Carga térmica por iluminación: es el nivel lumínico proyectado en la instalación frigorífica, que actualmente corresponden a 100 lux y su correspondiente potencia eléctrica instalada.
- Carga térmica por condensación de humedad exterior: corresponde a las infiltraciones de humedad cuando no se trabaja con barreras de vapor adecuadas.

10.4 Ejemplo de utilización de las guías de cálculo rápido de cuarto frío.

Para un cuarto de 8 pies de ancho y alto (2.43 m) y 10 pies de altura (3 m), es necesario estimar la carga. La temperatura del cuarto es de 0° C (32° F).

La Tabla 4 considera, entonces, los siguientes supuestos y se asume que el cuarto frío cumple aproximadamente con todos:

1. El producto ingresa en un período de 24 horas a 10° F. Se asume que a esta temperatura se pueden almacenar productos perecederos, algunos tipos de frutas, chocolates y carnes frescas.
2. Temperatura exterior igual, alrededor de las paredes de 95° F y 115° F por el efecto solar (no siempre es válido y resulta en una selección mayor de carga).
3. Aislante de poliuretano expandido de 4 pulgadas (10.2 cm).
4. Infiltración evaluada para servicio pesado, es decir, un nivel alto de infiltración.
5. Una persona trabajando por cada 25.000 pies cúbicos del cuarto.
6. Un factor adicional de seguridad del 10%.
7. Deshielo eléctrico. El equipo opera 18 horas de las 24 del día.

Las tablas no incluyen exactamente la temperatura de 32° F, por lo que se toma 30° F. Como el techo es de 10 pies de altura, el resultado se multiplicará por un 15%. Para 8x8x8 de la Tabla 4, la carga típica es de 4.812 BTU/h. Al multiplicar por 15%, la carga estimada es de 5.534 BTU/h para un cuarto con esas dimensiones.

Como no se encontrarán dimensiones o condiciones como las definidas por las tablas en muchos proyectos, la Guía incluye datos adicionales y ecuaciones para el lector interesado que desee revisar el dato con mayor exactitud.

10.5 Ejemplo de cálculo de diámetro de tubería para equipos de refrigeración.

Las Tablas 4 y 5 se pueden encontrar en el Boletín de Buenas Prácticas de Instalación y Mantenimiento Heatcraft en <http://www.larkinproducts.com/resources/> en formato PDF. Cada refrigerante posee su propia tabla.

Tabla 3. Guía Heatcraft de cálculo rápido de tuberías de refrigeración

SUCTION LINE SIZE												LIQUID LINE SIZE						SYSTEM CAPACITY BTU/H
SUCTION TEMPERATURE												Receiver to						
+10°F						0°F						Expansion Valve						
Equivalent Lengths						Equivalent Lengths						Equivalent Lengths						
25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'	
3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1,000
1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3,000
5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	4,000
5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	6,000
7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	9,000
7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	12,000



Para determinar si un equipo que mantiene temperatura interna del cuarto de 10° F y utiliza R134a, con una carga de 5.500 BTU/h, cuya instalación tiene tuberías de succión de 7/8” y de líquido de 3/8”, tiene las medidas de tubos correctas, con una longitud de la tubería de 80 pies de largo, primero se identificará la capacidad (el valor cae entre 4.000 y 6.000 BTU/h, por lo que se considera el valor superior, i.e.: 6.000 BTU/h, según la Tabla 4).

Luego, hay que considerar la temperatura de succión del evaporador. Esta es 10° F menor a la temperatura del cuarto, por lo que seleccionamos las columnas de 0° F (10° F cuarto - 10° F diferencia = 0° F). La distancia de 80 pies no está directamente, por lo que se toma la inmediata superior = 100 pies.

Tabla 4. Guía Heatcraft de cálculo rápido de cuartos fríos a media temperatura

Dimensions (FEET)			ROOM AREA SQ. FT.	ROOM VOLUME CU. FT.	BTUH TYPICAL LOAD	BTUH HEAVY LOAD	30° F. ROOM (add 15% to loads for 10' height)
W	L	H					
6	6	8	36	288	3483	5190	Typical Load Conditions
6	8	8	48	384	4095	5910	The Cold Solutions Program
6	10	8	60	480	4668	6590	automatically figures typical loads.
8	8	8	64	512	4812	6760	Here are the typical conditions.
8	10	8	80	640	5485	7580	
8	12	8	96	768	6126	8360	
8	14	8	112	896	6744	912	Product - In at + 10°F.

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

El valor leído en la tabla 4 es 7/8” para succión y 3/8” para líquido. La tubería entonces es correcta.

Valores de tubería más grandes de lo necesario no son problema, pero implican un mayor costo de instalación. Los datos sombreados significan los diámetros máximos en tuberías que son verticales ascendentes.

Cálculos más detallados toman en cuenta los codos, los accesorios y otras pérdidas de tubería a lo largo de las líneas de succión y líquido.

XI. LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En el presente capítulo se describen los principales equipos de refrigeración comercialmente disponibles en el mercado, así como las aplicaciones más comunes de los mismos.

11.1 TIPOS DE EQUIPOS

En el caso de una PYME, los equipos son por lo general refrigeradores comerciales de diversas formas y tamaños. Son muy pocas empresas pequeñas las que utilizarán equipos más grandes que requieran cuartos fríos completos o que utilicen tecnologías de alta eficiencia, como enfriadores tipo *chillers* o sistemas paralelos de compresores y condensadores con capacidades variables y de alta eficiencia.

Los principales equipos de refrigeración utilizados por las PYMES son:

1. Refrigerador.
2. Vitrina refrigerada.
3. Mostrador refrigerado.
4. Máquina de hacer hielo.
5. Cuarto frío (*walking cooler*).
6. Túneles de enfriamiento.
7. Enfriadores de ráfaga (*blast freezer*).
8. Enfriadores de líquido (*chiller*).
9. Transporte refrigerado.

11.1.1 Refrigerador

Los refrigeradores son electrodomésticos que utilizan compresores recíprocos herméticos de 1/10 a 1/2 HP con evaporadores de placa con deshielo manual (refrigeradoras de escarcha) o automático (frío seco o sin escarcha) (Fig 23).

Debido a que el compresor, evaporador y condensador están en el mismo equipo, se les llama también unidades autocontenidas y si se ubican en sitios con aire acondicionado, generarán carga de calor para el cuarto.

Los modelos más eficientes son los de 14 a 20 pies cúbicos y cuentan con un congelador en la parte superior o en la inferior, con una puerta de acceso independiente.

Los modelos sofisticados cuentan con dispensadores de hielo o agua helada, termómetros y doble puerta vertical, pero con mayores consumos de energía. El termostato no

Fig 23. Refrigeradores Domésticos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

indica temperaturas, en la gran mayoría de los modelos, y sólo indica con numeración del 0 (apagado) y en aumento para indicar que se alcanzan temperaturas bajas.

La temperatura más recomendada es de 4° C en la parte del refrigerador y -18 a -10° C en el congelador. Como norma se puede verificar que el termostato esté ajustado a un valor menor al intermedio.

Se usan para todo tipo de productos y aplicación donde se desee almacenar, por períodos cortos con un mínimo de mantenimiento. Existen refrigeradores que funcionan únicamente a media temperatura o sólo a baja temperatura. A estos últimos se les conoce como congeladores o *freezers*.

Pueden ser verticales u horizontales y muchas veces dependerán del espacio disponible más que del volumen del producto en almacenamiento. Llenar en exceso un refrigerador reduce su capacidad de enfriar y el condensador debe tener espacio alrededor para ventilarse.

Los nuevos refrigeradores incluyen la información del EER o del consumo anual estimado de las unidades para comparar entre otros modelos similares.

11.1.2 Vitrina refrigerada.

Son equipos de conservación de productos perecederos con puertas de vidrio o transparentes que permiten visualizar el producto que está dentro sin necesidad de abrir las puertas. La idea primordial es exhibir y los vidrios son dobles o triples para aislar el calor exterior. Debe contar con una resistencia que opere 24 horas para mantener caliente la superficie del vidrio exterior y evitar que el vidrio sude o se empañe.

Pueden ser de baja o media temperatura y son muy utilizados en restaurantes, supermercados, tiendas y gasolineras. Por lo general son autocontenidos, es decir, el condensador, compresor y evaporador están dentro del mismo equipo.

11.1.3 Mostrador refrigerado

Estos equipos también se utilizan para exhibir producto, pero en su mayoría son abiertos y no tienen puertas, para que el producto se vea y retire directamente (Fig 24).

Son muy usados en supermercados y pueden ser del tipo autocontenidos o con unidades condensadoras remotas, es decir, el compresor y condensador constituyen un componente por separado del equipo y se interconectan con tuberías. La desventaja de estos últimos es que requieren instalación calificada y no pueden encenderse de inmediato luego de la compra. La ventaja es que se elimina el ruido del equipo y el calor del condensador se puede llevar directamente al ambiente, sin afectar la operación de los aires acondicionados.

Para reducir la infiltración disponen de cortinas de aire al frente, pero la mayoría del tiempo, el encargado del equipo lo llena en exceso y parte del producto queda fuera de la cortina de aire o es bloqueada por él. También es necesario verificar el tipo de iluminación. De fábrica vienen con tubos ahorradores, pero al quemarse, generalmente los responsables del mantenimiento los cambian por otros más baratos tipo convencional, pero ineficientes.

Fig 24. Mostrador refrigerado



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

11.1.4 Máquina de hacer hielo

Las PYMEs que consumen hielo en sus procesos productivos pueden optar por comprar el insumo o fabricarlo directamente. Las máquinas de hacer hielo son equipos autocontenidos o remotos de gran diversidad de tamaños, desde los que producen menos de un 100 libras por hora hasta aquellos que generan varias toneladas. La forma del hielo puede ser en cubitos, tubos o escamas (Fig 25).

Fig 25. Máquinas de Hielo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

La calidad del agua que se usa es vital para la sanidad del hielo y mantener limpio el evaporador por más tiempo.

En las máquinas de hielo se puede verificar el año de compra para estimar su eficiencia. Los manuales proporcionan los tiempos que tarda el equipo para producir el hielo y la comparación de una medición real con la indicada puede definir si la máquina de hacer hielo está o no dentro de sus condiciones de operación aceptables.

Como se pueden montar en cocinas y espacios abiertos, las condiciones ambientales alrededor del equipo deben observarse para no exponerlo a calor excesivo que le reste capacidad.

11.1.5 Cuarto frío (walking cooler)

Los cuartos fríos son cajas aisladas con una puerta y espacio suficiente para almacenar el producto y que personal ingrese a acomodarlo en estantes o cajas. Pueden ser construidos en el sitio o prefabricados y normalmente utilizan condensadores remotos de diversos tamaños (Fig 26).

Fig 26. Cuarto frío



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Las PYMEs, por lo general, utilizan cuartos fríos de hasta 5 HP, pudiendo tener más de uno, dependiendo de las temperaturas que requieran. Normalmente puede ser un cuarto para media temperatura y otro cuarto para mantener los productos a baja temperatura.

Los cuartos fríos pueden llegar a ser bodegas refrigeradas cuando su función primordial no es enfriar producto, sino mantenerlo frío. Los mismos cuentan con estanterías elevadas y dependiendo del tamaño, con pasillos para la movilización de montacargas eléctricos (para no emitir humo que contamine el producto).

Los cuartos de baja temperatura también se conocen como congeladores o *freezers*.

En una diagnóstico energético hay que verificar si las luces son ahorrativas y adecuadas a la baja temperatura, que no haya fugas por infiltración en empaques o rendijas y que exista una cortina plástica si dejan el cuarto abierto al cargar. Las temperaturas del cuarto deben ir de acuerdo con el producto. Hay que verificar también la calidad del mantenimiento, la presencia de escarcha en el serpentín y si el condensador está bien ventilado o no.

11.1.6 Túneles de enfriamiento

Los túneles de enfriamiento son cuartos fríos con una entrada y una salida por la que el producto circula en bandas transportadoras o carretillas. Se utilizan cortinas de aire para reducir la infiltración y el objetivo es realizar un enfriamiento continuo mientras el producto se desplaza (Fig 27).

Por lo general, al finalizar el recorrido, el producto ya alcanzó una temperatura baja y luego se utiliza en el proceso de producción o se almacena en una bodega refrigerada o se transporta a los puntos de venta.

Estos equipos se utilizan frecuentemente en el proceso de enfriamiento rápido de los productos hortofrutícolas, para reducir en forma rápida el metabolismo de los procesados, frenando así el rápido envejecimiento que se produce en algunos frutos y hortalizas.

11.1.7 Enfriadores de ráfaga (blast freezer)

Son cuartos o cajas de poco volumen, más o menos de un metro cúbico, utilizados para enfriar súbitamente el producto. Se aplican mucho para congelar mariscos ya limpios en muy pocos minutos. Consumen una gran potencia y su costo es elevado. La infiltración suele ser el principal problema de estos equipos (Fig 28).

Algunos modelos se pueden ver en: <http://www.blast-freezer.com/modulars.htm>.

11.1.8 Enfriadores de líquido (chiller)

Los enfriadores de líquido se utilizan en aplicaciones de aire acondicionado, bodegas refrigeradas de gran tamaño y en la fabricación de helados. Utilizan un refrigerante primario para bajar la temperatura de un líquido, agua o salmuera, que luego a su vez enfría al producto en un tanque. Son muy costosos y normalmente las PYMEs optan por otro tipo de equipos (Fig 29).

Un caso especial de *chiller* a muy pequeña escala son los llamados “**oasis**”, donde se enfría agua de las botellas de agua potable que se compran para uso de oficinas y comercio. Estos se han constituido más en electrodomésticos y no disponen de controles de termostato para regular la temperatura del agua. No son eficientes pero sí prácticos. Su consumo energético varía según la zona donde se ubique, el consumo de agua de las personas y la limpieza y el mantenimiento que se le realice a la unidad autocontenida de muy poco caballaje. Generalmente son de 1/8 HP a 1/4HP.

11.1.9 Transporte refrigerado

Son furgones aislados con un sistema de refrigeración accionado con gasolina o *diesel*. Suelen ser equipos de muy buena tecnología y están orientados al ahorro de combustible. Tienen capacidad de cubrir varios rangos de temperaturas según el producto que transporten (Fig 30).

Fig 27. Túnel de enfriamiento



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 28. Enfriadores de ráfaga



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 29. Enfriadores de líquido



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

XII. AHORROS ENERGÉTICOS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Prácticas que inciden en los costos de operación

Los costos de funcionamiento de los equipos variarán con base en lo siguiente:

1. **Tamaño del equipo.** Un equipo más grande enfriará más rápido y cubrirá cualquier pico, pero puede ocasionar problemas de humedad en el cuarto y demandará más potencia en el arranque, aunque opere por menos tiempo. Equipos más pequeños operarán más tiempo y demandarán menor potencia, reduciendo los problemas de desgaste y deterioro de los equipos por encendidos y apagados cortos, también llamado “ciclado”. Sin embargo, un equipo mal dimensionado, con menos capacidad de la necesaria para no solo enfriar el cuarto, sino también para hacerlo a la velocidad requerida a fin de que el producto alcance su temperatura antes de que inicie su deterioro, se detectará inmediatamente y si se considera que el cuarto no es el adecuado, consumirá energía en exceso y no se obtendrán los resultados deseados con el producto.
2. **Tipo de deshielo.** Los deshielos en equipos de media temperatura no son problemas para ahorro de energía, ya que desconectan el compresor y se ahorra la que consume en operación. Los deshielos eléctricos, en cambio, utilizan resistencias de 20W o más por una o dos horas continuas. Esto es como encender una cafetera de 20 o más tasas en el cuarto frío. Como es un gasto necesario, se debe hacer lo más eficientemente posible, utilizando interruptores que desconecten si el hielo se derrite antes y verificar periódicamente que el reloj funciona. El deshielo por gas no se usa en las PYMEs y en pocas ocasiones se encuentran equipos así. Un ejemplo son las máquinas de hacer hielo, que utilizan un deshielo a gas para desprender los cubos o las escamas de hielo del evaporador. El compresor permanece encendido en estos casos y por lo general se mantiene operando casi en su totalidad mientras dure la producción del día.
3. **Ubicación del congelador con respecto al área de refrigeración.** En equipo pequeño, como refrigeradoras, el congelador puede ir arriba o abajo. Como el aire frío es más pesado, al abrir las puertas, el aire escapa y permite infiltraciones mayores cuando está en la parte superior de la refrigeradora. Los mostradores horizontales utilizados para helados, por ejemplo, al tener las puertas en la parte superior, minimizan las fugas de aire y son más eficientes que las refrigeradoras para contrarrestar la infiltración.
4. **Ubicación de los ventiladores de evaporadores y condensadores.** Los equipos no deben ser obstruidos al colocar cajas, producto o cualquier otro objeto que limite la libre circulación del aire. En ocasiones, las personas utilizan los condensadores para secar ropa y tapan los conductos de aire.
5. **La fecha de fabricación estará relacionada directamente con la eficiencia.** Equipos anteriores al 2000 tendrán eficiencias menores de 10 y a partir del 2006, éstas serán de 13.
6. **Aislamiento térmico y empaques.** Los aislantes funcionan para reducir la carga de calor del exterior del cuarto. Con menos aislante, más calor y más trabajo tendrá que hacer el compresor para

Fig 30. Transporte refrigerado



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

enfriar, por lo que se recomienda llevar a cabo el cálculo para determinar el espesor óptimo del aislamiento utilizado. Los empaques de las puertas aíslan del aire exterior, por lo que cumplen una función similar.

12.2 Buenas prácticas en eficiencia energética

Las principales formas de ahorrar energía eléctrica en aplicaciones de sistema de refrigeración son:

Instalación adecuada con mano de obra calificada y reducción de la carga de los edificios y cuartos para minimizar el impacto de las diversas fuentes de calor externas o internas con cortinas, pintura o plantas.

1. Operación correcta y eficiente de los equipos a las temperaturas adecuadas a la aplicación, al ajustar el termostato, procurando la máxima temperatura permitida (ver Tabla 1) y midiendo con el termómetro o instalando uno en el equipo. A menor temperatura, menor eficiencia y mayor consumo energético.
2. Mantenimiento adecuado. Éste incluye verificar y limpiar cada mes los serpentines, motores y tuberías; verificar mensualmente si existen fugas de aire o refrigerante y hacer pruebas de presión cada seis meses, a fin de comparar con los datos históricos y las tablas de refrigerante. También, es necesario comprar repuestos originales, lo que garantiza que los equipos operen adecuadamente.
3. Cambiar los equipos obsoletos de más de 15 años por otros eficientes de EER, cercanos a 10 o superiores o que utilicen tecnologías que ahorran energía eléctrica y reducen la demanda máxima de las instalaciones como el almacenamiento térmico. Los datos de fabricantes se pueden encontrar en la web, si es necesario. En baja temperatura, la eficiencia disminuye a EER 5 en el mismo equipo
4. Asumiendo que los equipos han sido seleccionados racionalmente, de acuerdo con la carga de enfriamiento del ambiente por climatizar y que la instalación ha sido o será realizada por personal calificado, se debe considerar lo siguiente:

12.2.1 Buenas prácticas en la instalación

- Emplear mano de obra calificada y equipo de calidad. La mayoría de los problemas en sistemas de refrigeración provienen de una instalación defectuosa, como paneles aislantes mal colocados, puertas que no cierran bien, tuberías mal aisladas o de tamaño inadecuado, poco espacio para realizar mantenimiento, equipos de condensación instalados muy cerca entre sí y que recirculan el aire caliente del otro, carga inadecuada de refrigerante o refrigerante que se cargó contaminado, entre otros.
- Revisar los manuales del equipo o buscar en el sitio web del fabricante la información de los modelos existentes o por instalar. Muchas de las recomendaciones mínimas para instalar y mantener eficiencias altas se encuentran en ellos.
- No colocar el equipo muy cerca de zonas muy calientes, con poca ventilación o mucha contaminación de polvo y suciedad. No debe quedar frente a paredes o en lugares encerrados que acumulen el calor, cerca de hornos, calentadores de agua o exposición directa a la luz solar. Si es inevitable, procurar aislamiento adicional.

- Ubicar las puertas donde el aire exterior no sea muy caliente y en sistemas de baja temperatura colocar cortinas plásticas o antecámaras.
- Reducir la carga solar al colocar el equipo lejos de ventanas, paredes expuestas al sol y techos de lámina.
- Al instalar cuartos fríos cercanos entre sí, procurar que sus paredes colinden adecuadamente y sin espacios de aire donde se acumule humedad y se favorezca el crecimiento de bacterias y hongos.
- Aislar con 6 pulgadas o más de poliuretano el piso de los equipos de baja temperatura. Un mal aislante del piso hará que la humedad de la tierra se congele y puede llegar a colapsar el piso o rajar las paredes del cuarto, debido a las contracciones y dilataciones que experimenta por las variaciones de temperatura.
- Instalar el termostato en la entrada de aire del evaporador, no en la salida. Se considera que ese punto tendrá la temperatura más alta de todo el cuarto.
- Utilización de barreras de vapor. Éstas deben estar situadas en la cara caliente del aislamiento de los cuartos refrigerados, para evitar el paso y la difusión del vapor de agua hacia el interior del aislamiento. Con esto se evita la condensación, aún y cuando se alcance la temperatura de rocío, con lo cual se mantiene el valor de la conductividad térmica del material aislante, evitando su deterioro y una reducción en el consumo de energía, además de incrementar la vida útil tanto de los cerramientos, como de los materiales aislantes y el equipo de refrigeración a compresión.
- Diseño del espesor de aislamiento. El espesor de aislamiento óptimo va en función de los costos de energía y de su inversión inicial, por lo que se debe seleccionar el aislamiento con espesor óptimo que requiera menos inversión y brinde mayores ahorros de energía eléctrica.
- Aislamientos térmicos. Es necesario utilizar aislamientos térmicos de baja higroscopicidad, ya que el agua tiene un coeficiente de conductividad térmica muy superior a la del aire seco y otros gases inertes utilizados en la fabricación de los aislantes, por lo que el vapor de agua, si es capaz de penetrar en las celdillas del aislante, provocará una disminución del poder aislante.
- Ante dudas sobre equipos nuevos, se debe buscar mano de obra calificada y de reconocida trayectoria. En ocasiones los ahorros de instalación son gastos multiplicados durante toda la operación y mientras dure el equipo.

12.2.2 Buenas prácticas en la operación

- Mantener las temperaturas adecuadas (ver Tabla 1) y las refrigeradoras en 3 ó 4° C. El termostato no siempre se ajusta con grados de temperatura y trae números del 1 al 5 o similar. En estos casos, mantener en el 2, de ser posible.
- Los refrigeradores no pueden desconectarse al final del día como los aires acondicionados, por lo que son de uso continuo y constituyen un buen porcentaje del consumo de energía mensual. Los refrigeradores actuales consumen alrededor de 500 KWH/año. Hace 15 años usaban casi 1.800 KWH/año. La tendencia para reducir el consumo de energía en los refrigeradores ha llevado al aumento en un 25% de su espesor de aislamiento.
- No mantener las puertas abiertas por mucho tiempo. Esto es especialmente crítico en refrigeradoras de hasta 20 pies cúbicos y es más grave cuando están instaladas en cocinas y lugares

calientes. Lo más conveniente es reducir el número de veces que se abren las puertas y no mantenerlas abiertas más de lo necesario.

- Cuando el producto se rota muy seguido, es decir, el cuarto se vacía y se llena con frecuencia, se requiere mayor consumo de energía por la nueva carga que se agrega al equipo y por el incremento del efecto de infiltración de aire caliente. El uso de cortinas plásticas o antecámaras reduce el impacto del aire, pero el producto tendrá que enfriarse y lo importante es a qué temperatura entra. En algunos casos, el producto ya viene refrigerado y eso favorece a reducir el consumo; en otros, el producto entra caliente, por lo cual hay que procurar eliminarlo o reducirlo.
- No introducir productos recién cocidos al refrigerador o cuarto frío, como gelatinas, leche o sopas. Esto obliga al equipo a enfriar un producto muy caliente y el compresor operará forzado, acortando su tiempo de vida y consumiendo más energía de lo normal. Lo correcto es dejarla enfriar unas horas a temperatura ambiente y luego introducirla.
- En casos donde el producto se requiere enfriar inmediatamente desde una temperatura alta, como la carne recién destazada, lo mejor es contar con dos equipos: un cuarto pequeño para manejar el volumen de producto que va ingresando para enfriamiento rápido y otro más grande donde almacenar el producto del día o la semana ya preenfriado.
- Al descongelar comida o producto, se puede hacer un día para otro y descongelar en la refrigeradora o en un cuarto de media temperatura. Esto ayudará a reducir la carga del equipo.
- Mantener las luces apagadas cuando no hay personal dentro los cuartos fríos. Las luces deben ser de alta eficiencia y con capacidad para operar en las bajas temperaturas. En caso contrario, se dañarán continuamente y no valdrá la pena el gasto.
- No almacenar líquidos en recipientes destapados en refrigeradores o cuartos fríos. Los evaporadores deshidratan el aire dentro de y los líquidos se evaporan e incrementan la carga de enfriamiento y la escarcha que se forma adentro, lo cual reduce también la eficiencia.
- Un congelador vacío a -18°C consume casi la misma cantidad de energía que un congelador parcialmente lleno (hasta $2/3$ de capacidad). No es recomendable vaciarlo por completo, sino mantenerlo lleno.
- No colocar el producto frente a las salidas de aire o en la aspiración del motor. Esto elimina o deteriora el movimiento de aire necesario en el cuarto para enfriar al resto de los productos. Lo mismo aplica al agrupar el producto muy junto.

12.2.3 Buenas prácticas en el mantenimiento

- Verificar mensual o semanalmente que el termostato conecte y desconecte el equipo a la temperatura deseada. Esto se evalúa con un termómetro.
- Revisar mensualmente el consumo de energía del compresor o si presenta ruidos más fuertes o golpeteos anormales mientras arranca y opera.
- Verificar la temperatura del evaporador y condensador con el termómetro y compararla con la TSS y TCS de las presiones medidas en el compresor. Si la presión del compresor es mayor a la correspondiente a una TCS de 60°C (140°F), el aceite del compresor se quemará y ocurrirá daño a corto plazo en el equipo.
- Revisar y limpiar mensualmente los empaques de las puertas.

- Aspirar o lavar el condensador cada tres meses o en menos tiempo en aplicaciones comerciales. En residencias y oficinas puede hacerse semestralmente o al año, según el grado de contaminación ambiental de la zona.
- Cambiar el aceite cuando el fabricante lo recomienda. Como los sistemas de refrigeración son herméticos, el aceite puede mantenerse estable por mucho tiempo, algunos hasta por más de 10 años. Sin embargo, en equipos que sufren de recalentamiento por alta presión o contaminación por humedad, el tiempo se acorta drásticamente a uno o dos años.
- Reemplazar sellos dañados a la brevedad posible, pues no sólo la infiltración se incrementa, sino que también se podrá congelar el piso o la puerta en aplicaciones de baja temperatura y causar daños al equipo por la expansión del hielo, o a personas que puedan resbalar.
- Una prueba sencilla para verificar los empaques es colocar un pedazo de papel o un billete para que la puerta lo sujete por la mitad al cerrar. Si se puede retirar el papel fácilmente sin abrir la puerta, los empaques no sirven.
- Revisar que las tuberías no estén aplastadas y que el aislante esté en su sitio y en buen estado. Forrar de nuevo, si es necesario.

12.2.4 Buenas prácticas en la sustitución de equipos

- Reemplazar todos los equipos posibles que tengan más de 15 años de operación. Sus eficiencias son muy bajas y los ahorros de equipos más eficientes permitirán recuperar la inversión entre 2 y 2.5 años o menos, dependiendo del uso y el tamaño.
- Evaluar el tipo de deshielo requerido del sistema; por ejemplo, refrigeradores sin escarcha con deshielo automático consumen más que los de deshielo manual.
- Evaluar el tamaño del equipo con el movimiento de producto que se considera ingresar y retirar en el día. Un equipo muy grande ocupará más espacio (costo de área útil que se podría destinar a otra cosa) y consumirá más potencia. Uno muy pequeño será más sensible a infiltraciones y obligará a abrir para retirar e ingresar el producto más seguido y comprar en menos tiempo (se gasta más tiempo y combustible).
- Los modelos de refrigeradoras más eficientes para residencias, por el tamaño y consumo de familias típicas, son las de 16 a 20 pies cúbicos. Las refrigeradoras con sistemas de fabricación de hielo y dispensadores en las puertas consumen de 14% a 20% más de energía y su costo se incrementa entre \$75 y \$250.
- Son preferibles los refrigeradores con congelador en la parte inferior ya que sufren menos infiltración. Las refrigeradoras con mayor pérdida de infiltración son las de una puerta con congelador en la parte superior.
- Una refrigeradora fabricada para climas no tropicales gastará más energía por tener un aislamiento menor al que se necesita en Centroamérica y puede generar condensación de agua en la superficie de lámina o en las paredes.
- En aplicaciones de refrigeración que requieren equipo de más de 5 HP, se debe considerar el uso de unidades paralelas en lugar de un equipo grande de 10 HP o más, o buscar compresores de capacidad variable.

- Se debe buscar el compresor más eficiente en refrigeración, pero su costo es siempre más elevado. En las PYMEs, el compresor de costo bajo y eficiencia alta es el *scroll*, pero esta tecnología de media y baja temperatura es muy reciente y no todos los técnicos de refrigeración están capacitados en la actualidad para instalar un sistema de ese tipo. La información está disponible en el sitio web del fabricante, por lo que es recomendable incluir capacitaciones al operador y al técnico de mantenimiento al adquirir esta u otra tecnología.
- Exigir el uso de recicladoras para no dañar la capa de ozono al retirar equipos viejos con refrigerantes R11, R12 y R502. Se deben usar los refrigerantes alternativos en las nuevas aplicaciones: R134a, R22, R507, R401, R404a, R402b, etc. La mayoría de los nuevos equipos de refrigeración usan refrigerantes alternativos.

12.2.5 Otras prácticas adecuadas

Realizar diagnósticos energéticos de las instalaciones para comprobar que se mantienen las condiciones adecuadas y usar guías técnicas que no permitan criterios subjetivos al definir si algo está o no correcto. Por ejemplo, un punto por definir es si la temperatura de operación del espacio refrigerado es la adecuada, de acuerdo a las condiciones de diseño de la instalación. Como mínimo esta práctica se debe hacer una vez al año, pero mientras se implementan las medidas de ahorro es conveniente hacer una revisión por mes en los primeros tres meses y luego una revisión semestral.

XIII. OTRAS TECNOLOGÍAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

Muchas tecnologías de enfriamiento se conocen desde hace dos siglos, pero no todas se utilizan en la actualidad en Centroamérica; unas por su elevado costo de inversión inicial, otras por no existir mano de obra calificada para su operación y mantenimiento. Muchas otras se están desarrollando y aún no son económicamente rentables para su aplicación a gran escala o se encuentran en su fase experimental.

Las principales tecnologías de nueva generación incluyen:

1. Enfriamiento por absorción.
2. Intercambiadores de calor para subenfriamiento.
3. Compresores de doble etapa.
4. Compresores de válvula tipo disco.
5. Sistemas en cascada.
6. Sistemas en paralelo (*racks*).
7. Sistemas de amoníaco.
8. Enfriamiento solar.

13.1 Enfriamiento por absorción

Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales, como el bromuro de litio, para absorber, en su fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente (Fig 31).

Las primeras aplicaciones industriales de los principios termodinámicos de la absorción datan de los años treinta, pero en Centroamérica es prácticamente nulo su uso. El CDR es bajo, cercano a 1,0 y en sus versiones más eficientes, es casi de 2. La ventaja es que puede utilizar calor residual como fuente de energía y no necesariamente electricidad, lo que reduce el tamaño de las subestaciones de energía (y su costo) y la potencia máxima por cobrar, por lo que se puede decir que permite ahorros indirectos al proyecto total y no sólo los costos asociados al sistema de refrigeración.

Fig 31. Equipos de enfriamiento por absorción



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Algunas ventajas de los sistemas de refrigeración por absorción son:

- Silenciosos y sujetos a un desgaste limitado debido a que la única parte móvil es la bomba de solución. En comparación con los sistemas mecánicos de compresión tradicionales de la misma capacidad, la máquina, bomba, motor o turbina es pequeña.
- Cuando el sistema de absorción se diseña para operar con vapor de agua con presión alta o baja, se pueden utilizar descargas de otros equipos. El sistema no tiene necesidad de depender de la energía eléctrica para los motores de la bomba.
- La tendencia en la industria es la instalación de turbinas de gas o motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica, equipados con calderas de recuperación de calor, que generan el vapor para los sistemas de refrigeración por absorción.
- Aún y cuando los sistemas de absorción requieren de mayor espacio, se pueden localizar en partes exteriores a modo de unidades verticales para reducir el área de terreno requerida.
- Solamente existe una limitada disminución de capacidad de las unidades de refrigeración por absorción cuando la temperatura y presión del evaporador disminuyen. Esto puede compensarse al aumentar la presión del vapor de agua que se envía al generador. Por contraste, la capacidad del sistema de compresión se reduce notablemente cuando la presión del evaporador disminuye.
- Las unidades de refrigeración por absorción son tan eficientes a cargas reducidas como en su capacidad total. La cantidad de solución circulada y el vapor de agua suministrado al generador se pueden cambiar para satisfacer diferentes condiciones de carga. Sin embargo su aplicación es limitada al campo de aire acondicionado o refrigeración industrial, a temperaturas no menores de 6° C.
- En la página de los fabricantes de equipos de absorción (<http://www.yazakienergy.com/>), se puede obtener más información acerca del enfriamiento por absorción.
- Refrigeradoras de absorción operadas con tanques de gas propano y keroseno se venden para lugares remotos donde no hay potencia eléctrica adecuada o donde no es confiable; no obstante, su costo inicial no permite aún un uso masivo. En Europa, donde distribuyen gas en los edificios por medio de tuberías, las refrigeradoras a gas son una opción válida que permite ahorrar potencia eléctrica.

13.2 Intercambiadores de calor para subenfriamiento

El subenfriamiento vuelve más eficientes los sistemas de refrigeración y el costo de hacerlo con equipo adicional es rentable principalmente en aplicaciones de baja temperatura.

Estos dispositivos intercambian calor del líquido que sale del condensador relativamente caliente con el vapor sobrecalentado que sale del evaporador relativamente frío. Esto reduce la temperatura del líquido (mayor subenfriamiento), lo que es muy deseable, y sobrecalienta aún más al vapor, lo que no ayuda a la eficiencia. Sin embargo, los beneficios de subenfriar en sistemas de baja temperatura superan las desventajas de sobrecalentar con este dispositivo al vapor, por lo que mejora la eficiencia termodinámica COP del sistema y reduce el consumo de energía (Fig 32).

En un diagnóstico energético en cuartos fríos congeladores hay que verificar si se dispone o no de un intercambiador para subenfriamiento y si no existe, recomendar o evaluar su montaje.

13.3 Compresores de doble etapa

Fig 32. Intercambiadores de calor Compresor de dos etapas



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Estos son más eficientes para aplicaciones de baja o extra baja temperatura (por debajo de los -30°C); generalmente son del tipo abiertos o semiherméticos.

Consisten en un compresor dividido internamente en dos circuitos de compresión, de tal forma que la descarga de una primera serie de pistones (primera etapa), se convierte en la succión de uno o más pistones diferentes (segunda etapa). Esto permite aumentar la presión de trabajo con una menor pérdida de eficiencia volumétrica y alcanzar presiones de succión muy bajas.

13.4 Compresores de válvula tipo disco

Los compresores semi-herméticos con válvula de disco son una patente de los fabricantes COPELAND de compresores y se les conoce en el mercado como DISCUS. Esta tecnología se desarrolló comercialmente alrededor de 1985.

Son muy robustos y eficientes, ya que la forma de fabricar la válvula de succión permite que el pistón se acerque más a la cabeza del plato de las válvulas y reduzca la cantidad del refrigerante atrapado que se re-expande, de forma que aumenta la eficiencia volumétrica. También, el flujo de refrigerante utilizado para enfriar el motor es menor y permite menos sobrecalentamiento a la entrada del pistón (ver Fig 33). Esto ahorra un 16% en energía, comparado con los equipos semi-herméticos convencionales, y permite desarrollar 25% más de capacidad de enfriamiento.

Fig 33. Compresores Copeland



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Estos compresores son los más eficientes en el área de refrigeración en todas sus aplicaciones comerciales de media y baja temperatura, en tamaños de 3 a 40 TR e incluyen un accesorio: el control de enfriamiento por demanda o “*demand cooling*” que les permite manejar sistemas de baja temperatura con refrigerante R-22, lo cual es problemático para otros tipos de compresores debido a la alta temperatura que se alcanza en los pistones, si el R22 opera con succiones bajas.

13.5 Sistemas en cascada

Los sistemas en cascada son combinaciones de dos equipos de refrigeración, de forma que el evaporador de uno actúa como condensador del otro. Esto se utiliza cuando se trabaja en temperaturas muy bajas y los rangos de trabajo de los refrigerantes dejan de ser efectivos desde la mínima temperatura hasta la ambiente.

13.6 Sistemas en paralelo (racks)

Debido a la gran diferencia en el consumo de energía y potencia durante el enfriamiento del producto con respecto al consumo mientras sólo se almacena, los sistemas de un compresor presentan la desventaja de encender y apagar completamente aún bajo cargas menores a las críticas de diseño, por lo que en realidad se dispondrá de un equipo mucho más grande de lo que realmente se necesita cuando sólo se almacena el producto. A esto se le llama **operación bajo carga parcial**.

Los sistemas paralelos o *rack* son grupos de compresores conectados a un mismo tubo de succión o *manifol*, que trabajan coordinados para mantener la presión adecuada. De tal forma, si la carga es menor a la de diseño, sólo arrancarán los compresores necesarios y el resto permanece apagado (Fig 34). Ello vuelve a estos sistemas equipos de muy buena eficiencia en aplicaciones como supermercados, bodegas refrigeradas, fábricas o comercios que disponen de varios cuartos fríos o equipos refrigerados bajo condiciones similares.

Los *racks* pueden venir en tamaños muy variados con dos o más compresores iguales o de capacidades diferentes. Su eficiencia depende mucho del tipo de compresor que utilizan y diversos fabricantes innovan continuamente la tecnología de su funcionamiento para mejorar su rendimiento y capacidad de control. Éstos utilizan condensadores remotos con ventiladores múltiples que se apagan o encienden según la necesidad.

Fig 34. Paralela o RACK de refrigeración



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

13.7 Sistemas de amoníaco

Los sistemas con amoníaco son muy convenientes en aplicaciones de baja temperatura, pero su alto riesgo por el refrigerante los limita a aplicaciones industriales y en PYMEs, donde las ventajas del amoníaco son preferibles a otros tipos de refrigerantes.

Se suelen usar en bodegas refrigeradas y para alimentar túneles de enfriamiento y por ráfaga y es el refrigerante más usado en el nivel mundial para aplicaciones de gran tamaño (Fig 35).

A 5° F, el amoniaco posee una capacidad de 565 BTU por libra de refrigerante, mientras el R-22, en las mismas condiciones, posee solo 69. Esto significa que se puede absorber mayor cantidad de calor con menos refrigerante, lo que se traduce en motores más pequeños y de menor consumo de energía y un alto COP.

El amoníaco es amigable con el medio ambiente y su costo no es elevado, pues la libra cuesta menos de \$1, comparado con \$7 o más de otros refrigerantes; no obstante, las instalaciones son costosas por la mano de obra especializada y los materiales de construcción. Por ejemplo, se deben usar aceros, ya que el amoniaco disuelve el cobre y sus aleaciones.

Fig 35. Compresor abierto para compresión de amoniaco



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

13.8 Enfriamiento solar

El enfriamiento solar se refiere a los sistemas tipo absorción que utilizan la energía del sol para calentar agua o regenerar procesos (Fig 36). Se usan en combinación con otros sistemas de energía térmica, como generadores o calderas, reduciendo el gasto de combustible al precalentar el agua.

En zonas remotas, donde no hay disponibilidad de la energía eléctrica de la red pública, también se pueden emplear paneles solares fotovoltaicos para alimentar un sistema de refrigeración o aire acondicionado.

Fig 36. Panel solar para calentar agua.



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

BIBLIOGRAFÍA

L. W. Cottell y S. Olarewaju (2000). *AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN PARA REGIONES TROPICALES*. Editorial Limusa.

William K.Y. Tao & Richard R. Janis. (1998). *MANUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN EDIFICIOS* (Tomo I). Editorial Prentice Hall.

McQuiston-Parker-Spitler (2003). *CALEFACCIÓN, VENTILACIÓN Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN. Análisis y diseño*. México: Editorial Limusa Wiley.

Universidad Centroamérica José Simeón Cañas (2006). *MATERIAL DIDÁCTICO: CURSO REFRIGERACIÓN Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN*. El Salvador. Catedrático: Ing. Francisco Javier Vadillo.

Hernández Goribar (1994). *FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN*. Editorial LIMUSA.

LARKIN: <http://www.larkinproducts.com/resources/>, en Guía rápida de cálculo de carga.

Whiteman B, Johnson B, Tomczyk J, Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Editorial: Cengage Learning Editores S.A. de C.V. Sexta edición.

International Freezing Systems, INC, www.blastfreezer.com. Junio 2010.

Yazaki Energy Systems, INC, www.yazakienergy.com. Junio 2010

ANEXOS

Anexo 1a.

Datos de temperatura y presión saturada (PSI) para refrigerantes

Temperatura °F	Freon 22 R-22	Suva 123 R-123	Suva 134a R-134a	Suva 404a R-404a	Suva 410a R-410a	Suva 507 R-507	Temperatura °C
60	101.8	-10.2	57.4	128.0	176.3	129.2	16
62	104.1	-10.6	58.0	132.0	176.9	129.9	17
64	109.3	-9.4	62.3	134.0	182.3	149.1	18
66	111.3	-8.6	63.4	139.2	188.9	143.1	19
68	117.3	-8.8	68.2	146.8	195.1	148.0	20
70	121.4	-6.8	71.1	148.0	200.0	153.0	21
72	124.7	-6.5	74.1	154.3	204.4	158.1	22
74	128.0	-6.0	77.1	192.4	216.2	163.3	23
76	129.0	-3.5	78.2	204.6	222.2	169.8	24
78	129.5	-2.4	84.4	210.6	229.1	176.1	26
80	136.6	-1.2	86.7	211.0	236.4	179.6	27
82	142.4	-0.0	88.0	211.8	241.0	184.3	28
84	153.2	0.8	90.5	214.8	253.8	205.1	29
86	158.2	1.2	97.0	215.8	258.3	206.1	30
88	163.2	1.8	108.6	217.8	267.3	220.1	31
90	188.4	2.5	104.2	221.4	275.4	221.3	32
82	193.7	2.2	108.1	232.0	279.6	222.3	33
94	199.1	3.9	112.0	235.0	292.1	222.9	34
96	199.2	4.6	113.9	242.0	300.7	229.7	36
98	199.9	5.3	120.0	250.0	303.5	235.4	37
100	200.9	6.1	124.2	252.8	318.8	242.2	38
102	207.7	6.9	126.4	265.3	329.2	244.3	39
104	208.8	7.7	132.7	272.5	329.3	246.5	40
106	208.9	8.9	137.2	273.5	360.3	253.8	41
108	210	9.4	140.5	280.3	369.5	297.2	42

Temperatura °F	Freon 22 R-22	Suva 123 R-123	Suva 134a R-134a	Suva 404a R-404a	Suva 410a R-410a	Suva 507 R-507	Temperatura °C
110	226.4	10.3	146.4	283.9	369.6	298.8	43
112	232.0	11.2	152.1	284.9	376.8	306.6	44
114	238.1	12.1	156.0	288.8	389.0	308.5	46
116	248.1	18.1	158.9	289.9	397.8	312.8	47
119	263.0	18.9	159.0	302.5	401.4	320.8	48
120	260.0	19.0	167.2	320.4	420.4	329.2	49
122	267.1	19.1	176.5	321.0	430.2	329.9	50
124	294.3	19.2	183.9	325.0	442.1	336.4	51
126	295.7	19.3	187.4	333.2	443.2	345.0	52
128	299.2	19.4	190.0	336.2	465.0	354.3	53
130	299.9	20.8	198.7	339.5	479.9	360.9	54
132	304.3	21.3	204.6	346.8	490.3	362.2	56
134	312.6	22.9	210.6	356.8	500.0	365.2	57
136	319.7	24.2	216.8	389.9	515.5	372.7	57
138	324.0	24.6	222.9	390.4	529.1	380.7	58
140	327.4	26	229.2	392.4	562.4	390.7	60
142	348.9	26.1	238.5	395.5	569.2	403.0	61
144	368.8	29.3	242.8	403.7	576.2	423.4	62
146	372.5	30.3	258.0	403.9	581.1	429.1	66
148	392.9	32.3	268.9	424.8	599.0	435.0	64
150	396.5	33.3	272.9	429.9	617.4	436.1	68

Anexo 1b.

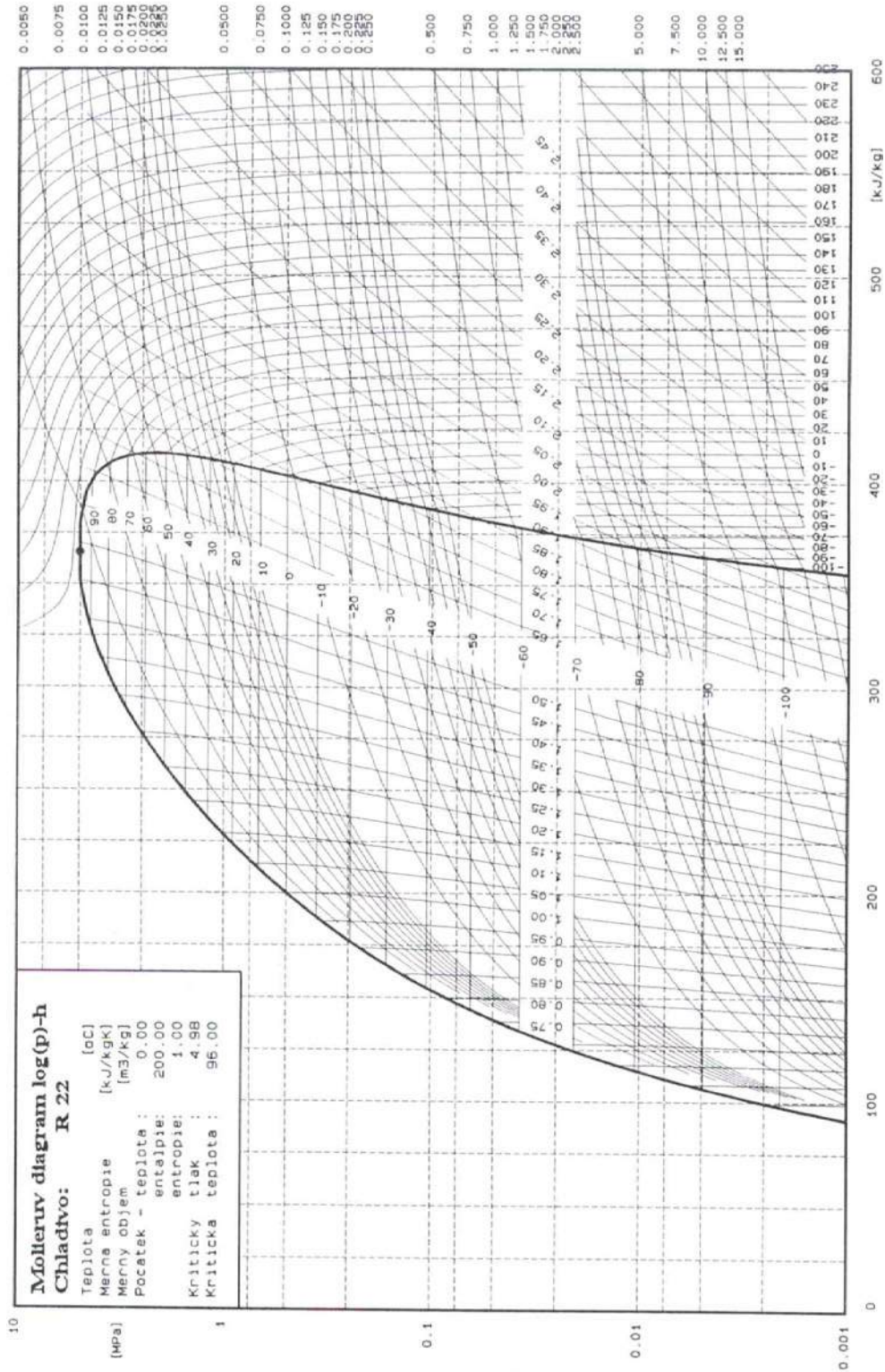
Datos de temperatura y presión saturada (PSI) para refrigerantes

Temperatura °F	Freon 22 R-22	Suva 123 R-123	Suva 134a R-134a	Suva 404a R-404a	Suva 410a R-410a	Suva 507 R-507	Temperatura °C
-40	0.6	-30.9	-14.2"	6.0	10.0	3.4	-40
-39	1.4	-29.8	-13.3"	6.4	12.1	6.4	-39
-38	2.2	-28.7	-12.9	7.0	13.9	7.5	-38
-34	3.3	-28.9	-12.0	8.0	14.8	9.6	-37
-32	4.0	-28.0	-10.8	9.2	16.2	9.8	-36
-32	5.0	-28.4	-9.8	10.3	17.3	11.0	-34
-30	5.9	-29.2	-8.7	11.5	19.4	12.2	-33
-28	8.9	-29.1	-7.8	12.9	21.0	13.5	-32
-26	9.0	-22.9	-6.7	14.3	22.2	14.2	-31
-24	9.1	-22.8	-6	18.4	24.6	16.2	-30
-22	10.2	-22.6	-3.7	18.9	25.3	17.6	-29
-20	11.6	-22.8	-2.8	19.3	28.2	19.1	-28
-18	12.6	-22.4	-0.8	19.8	30.2	20.6	-27
-16	12.9	-22.2	-0.2	21.3	32.2	22.2	-26
-14	13.2	-21.9	1.1	23.3	34.7	23.8	-24
-12	18.5	-20.6	1.8	24.8	34.8	25.5	-22
-10	19.0	-20.4	2.9	26.3	39.3	27.3	-22
-9	19.6	-20.2	3.3	26.9	42.0	29.1	-21
-6	20.9	-20.2	4.3	29.0	42.4	30.9	-20
-4	22.4	-20.0	5.5	31.7	43.9	32.0	-19
-2	26	-20.0	6.5	33.3	48.8	34.8	-18
0	26.7	-19.8	7.5	34.2	51.1	36.9	-17
2	27.4	-19.7	8.6	34.9	52.9	39.0	-17
4	29.1	-19.6	9.8	39.9	55.8	42.1	-16
6	29.9	-19.5	10.8	42.0	56.8	42.4	-14
9	32	-19.4	11.3	46.3	62.4	43.3	-13
10	36	-19.3	13.1	46.9	63.4	48.1	-12
12	37	-19.2	14.4	49.0	64.9	50.5	-11

Temperatura °F	Freon 22 R-22	Suva 123 R-123	Suva 134a R-134a	Suva 404a R-404a	Suva 410a R-410a	Suva 507 R-507	Temperatura °C
16	38	-19.1	15.7	51.1	71.0	53.0	-10
16	40	-19	17.0	52.0	73.0	55.8	-9
19	42.5	-18.9	18.4	58.8	75.3	58.2	-8
20	44.2	-18.8	19.9	59.3	80.8	59.2	-5
22	47.6	18.7	21.3	62.0	82.2	60.2	-4
24	48	-18.6	22.5	66.0	88.0	63.7	-3
26	52.4	-18.5	24.5	69.3	89.1	69.7	-2
27	55	-18.4	26.8	70.3	93.4	72.7	-1
30	57.5	-18.3	27.3	76.8	97.8	75.9	0
32	60.2	-18.2	29.5	77.9	101.4	79.1	1
34	62.9	.18.1	31.3	80.0	101.5	82.4	2
35	63.7	.18.0	33.1	88.1	102.0	85.8	3
36	69.6	.17.9	35.0	90.9	120.2	89.2	4
40	71.3	.17.8	37.0	92.4	120.9	92.0	5
42	76.3	.17.6	39.2	96.0	127.4	96.5	6
44	77.6	.17.0	41.1	97.8	128.2	100.2	7
46	80.8	.16.2	43.2	101.4	129.0	101.1	8
48	84.5	.14.7	44.8	101.9	139.0	109.0	9
50	85.4	.14.0	47.8	104.2	141.0	112.0	10
52	90	.14.2	50.0	113.3	142.0	118.2	11
54	96.4	.12.8	52.4	117.4	153.4	120.4	12
56	97	.12	54.0	124.3	155.5	124.7	12
60	101.8	-12	54.1	124.9	164.0	124.8	14

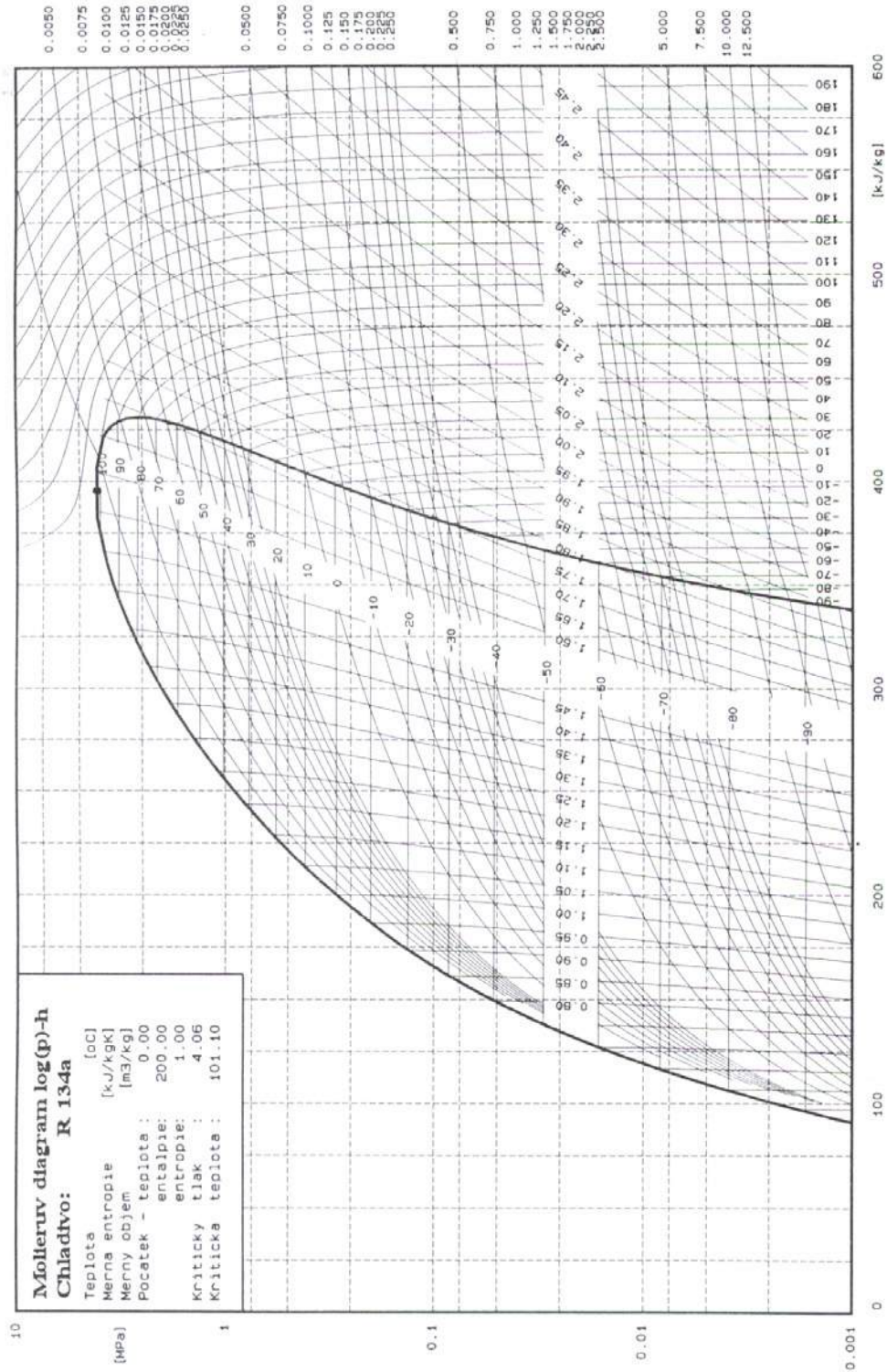
Anexo 2.

Diagrama de Presión-Entalpia del Refrigerante R-22



Anexo 3.

Diagrama de Presión-Entalpia del refrigerante HFC-134a.







BUN-CA contribuye al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad energética de Centroamérica para aumentar la producción mediante el uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida.

www.bun-ca.org



El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es una agencia de implementación del GEF, a través de su Oficina Nacional en Costa Rica, la cual es apoyada por sus contrapartes en los otros países centroamericanos.

www.undp.org



El Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) contribuye financieramente para cubrir los costos incrementales, a fin de alcanzar beneficios globales en el Área de Cambio Climático.

www.gefweb.org



La Universidad Tecnológica de Panamá forma y capacita integralmente al más alto nivel, Recurso Humano que genere, transforme, proyecte y transfiera ciencia y tecnología para emprender, promover e impulsar el desarrollo tecnológico, económico, social y cultural del País.

www.utp.ac.pa