



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

## REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

“Diseño y construcción de una maquina generadora de bloques de hielo cristalino”

Lugar de realización

“Hielos y refrigeración de Chiapas”

Residentes:

Irving Arminio Encino Morales

Marco Antonio Sánchez Arias

Asesor interno

Asesor externo

M.C Lenin Russell Suárez Aguilar

Ing. Roger Castellano Galdámez

Docente del depto. de ingeniería mecánica

Diseño y desarrollo

Tuxtla Gutiérrez Chiapas, 15 de Diciembre del 2017

# Índice general

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación .....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Caracterización del área en que participó .....	4
1.5 Problemas a resolver, priorizándolos.....	4
1.6 Alcances y limitaciones .....	4
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>6</b>
2.1 evaporadores .....	7
2.1.1 Clasificación según su funcionamiento .....	7
2.1.2 Clasificación según su construcción .....	8
2.1.3 Problemas que se presentan en los evaporadores .....	8
2.2 Desescarche .....	8
2.2. Desescarche por aire para cámara de temperatura media .....	9
2.2.2 Desescarche por resistencias eléctricas .....	9
2.2.3 Desescarche por gas caliente .....	10
2.2.4 Desescarche por aspersion de agua .....	10
2.2.5 Desescarche por inversión de ciclo .....	10
2.3 Mantenimiento correctivo en evaporadores.....	11
2.3 Compresores .....	15
<b>2.4 Definición de compresor</b> .....	<b>16</b>

2.5 Tipos de compresores utilizados en la industria.....	16
2.6 Compresores reciprocantes .....	16
<b>2.6.1 compresor hermético.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.2 compresor semi hermético.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.3 compresor abierto .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7Ciclo frigorífico de compresión .....</b>	<b>18</b>
2.8 Calor de compresión .....	19
2.8.1Efecto del cambio de la presión en la succión .....	19
2.8.2 Efecto del cambio de la presión de la descarga.....	20
<b>2.8.3 Aditamentos eléctricos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.8.4 Recomendaciones de buen uso del compresor .....</b>	<b>21</b>
2.9.1Máquinas que aplican la refrigeración por compresión.....	22
Dispositivo de expansión .....	22
Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	30
2.9.2 valvula de expansión termostática.....	22
2.9.2.1 Tubo capilar.....	25
2.9.2.2 Carga insuficiente del refrigerante.....	26
2.9.2.3 la carga del refrigerante excesiva.....	26
2.10 ciclo de refrigeración por compresión de vapor .....	31
2.11Análisis de la segunda ley del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	35
2.13 Selección del refrigerante adecuado .....	36
2.14 Licuefacción de gases .....	40
2.15 Ciclos de refrigeración en gases .....	41

2.16 Aislantes térmicos .....	45
2.17 Calores específicos de gases, líquidos y sólidos .....	48
2.18 Transferencia de la energía .....	52
2.19 Primera ley de la termodinámica .....	53
2.20 Balance de energía para sistemas cerrados (masa fija) .....	55
2.21 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario .....	56
2.22 Balance de energía en la superficie .....	58
2.23 Conducción .....	60
2.24 Conductividad térmica .....	62
2.25 Difusividad térmica .....	64
2.26 Convección .....	65
2.27 Radiación .....	66
<b>Capítulo 3 (cálculos) .....</b>	<b>70</b>
Cálculos .....	71
Ejemplo de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor .....	72
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>76</b>
Resultados logrados de los objetivos establecidos .....	77
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>82</b>
Recomendaciones .....	83
Conclusión .....	84

<b>Anexos</b> .....	<b>85</b>
1 Problemas y Providencias .....	89
2 Componentes Eléctricos .....	89
3 Falta de puesta a tierra o puesta a tierra inadecuada .....	90
Termostato .....	90
5 Protector térmico .....	91
6 Relé de arranque .....	92
7 Capacitor de arranque .....	95
8 Tuberías y componentes .....	96
9 Ruido provocado por otros componentes o problemas .....	96
10 Hermeticidad inadecuada de la puerta .....	97
11 Localización inadecuada del refrigerador .....	97
12 Humedad relativa del aire muy elevada (superior al 85%) .....	97
13 Refrigerador sin bandeja divisoria del congelador .....	97
14 Refrigerador utilizado en exceso .....	98
15 Refrigerador utilizado incorrectamente .....	98
16 Aislamiento térmico .....	98
17 Fluido refrigerante .....	98
18 Utilización de válvula de expansión .....	99
19 Compresor .....	99

## Índice de tablas

### Mantenimiento correctivo en evaporadores.

Tabla 2.1: Evaporador bloqueado de escarcha.....	11
Tabla 2.2 El evaporador presenta daños producidos en el transporte o durante el uso .....	12
Tabla 2.3: Fuerte caída de presión en el evaporador .....	12
Tabla 2.4: No está totalmente escarchado, está alimentado parcialmente .....	13
Tabla 2.5: Evaporador sobrellenado .....	14

### Tablas para selección de tubo capilar.

Tabla 2.6: Para R-22 a Temperatura media. ....	27
Tabla 2.7: Para R-22 a temperatura alta .....	28
Tabla 2.8: Para R-502 a temperatura baja .....	29
Tabla 2.9: Para R-22 a temperatura baja .....	30
Tabla 2.10: conductividad térmica de algunos materiales .....	46
Tabla 2.11: Emisividades de algunos materiales a 300 K.....	67

### ANEXOS

Tabla A1: Principales problemas del refrigerador parte 1 .....	87
Tabla A2: Principales problemas del refrigerador parte 2 .....	88
Tabla A3: del ejercicio 1 de donde se sacan las diferentes entalpías y entropías .....	101

## Índice de imágenes.

Imagen 2.1: Compresor hermético.....	16
Imagen 2.2: Compresor Semi hermético .....	16
Imagen 2.3 compresor abierto.....	
Imagen 2.4.Fenomeno conocido como flash-gas:.....	16
Imagen 2.5: Esquema en corte de una Válvula de expansión termostática con orificio fijo y sin línea de equilibrio de presión externa .....	23
Imagen 2.6: Tubo capilar.....	25
Imagen 2.8: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor .....	31
Imagen 2.9: ciclo real de refrigeración por compresión de vapor y diagrama T-S .....	32
Imagen 2.10: Ciclos de refrigeración .....	34
Imagen 2.11: Selección del refrigerante .....	36
Imagen 2.12: el ciclo Linde Hampson y diagrama T-S .....	40
Imagen 2.13: Ciclo de refrigeración y diagrama T-S.....	41
Imagen 2.14: ciclos de refrigeración de gas .....	43
Imagen 2.15: Ciclo de refrigeración con regeneración y diagrama T-S.....	43
Imagen 2.16: bebida enlatada fría que se halla en una habitación caliente alcanza por conducción la temperatura de la habitación .....	44
Imagen 2.17: La energía interna $u$ representa la energía microscópica de un fluido que no está fluyendo, en tanto que la entalpia $h$ representa la energía microscópica de un fluido.....	47
Imagen 2.18: El calor específico es la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado, de una manera específica.....	48
Imagen 2.19: los valores de $c_v$ y $c_p$ de las sustancias incompresibles son idénticos y se denota por $c$ .....	50
Imagen 2.20: el flujo de calor es la transferencia de calor por unidad de tiempo y por unidad de área, y es igual a $\dot{q} = \dot{Q}/A$ cuando $\dot{Q}$ es uniforme sobre el $A$ .....	52
Imagen 2.20: En operación estacionaria, la razón de transferencia de energía hacia un sistema es igual a la razón de transferencia de energía hacia afuera de ese sistema. ....	54
Imagen 2.21: El gasto de masa de un fluido en una sección trasversal es igual al producto de la densidad de ese fluido, la velocidad promedio del mismo y el área de la sección trasversal. ....	56
Imagen 2.22: Interacciones energéticas en la superficie exterior en la pared de una casa...	58

Imagen 2.23: Conducción de calor a través de una pared plana gran de espeso $\Delta x$ y área $A$ .....	60
Imagen 2.24: La razón de conducción del calor a través de un sólido es directamente proporcional a su conductividad térmica.....	60
Imagen 2.25: En el análisis de la conducción de calor, $A$ representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor. ....	61
Imagen 2.26: La radiación del cuerpo negro representa la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura específica.....	65
Imagen 2.27: Absorción de la radiación incidente sobre una superficie opaca de absorptividad $\alpha$ .....	67
Imagen 2.28: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que circundan. ....	68
<b>CAPITULO 3 “¡CALCULOS”</b>	
Imagen 3.1: diagrama T-s para el ejemplo .....	71
Imagen 3.2: para el siguiente ejemplo energía solar absorbida .....	74
<b>CAPITULO 4 “RESULTADOS LOGRADOS DE LOS OBJETIVOS”</b>	
Imagen 4.1: Sistema de refrigeración en etapa final. ....	77
Imagen 4.2: Bloque de hielo cristalino vista lateral .....	77
Imagen 4.3: Bloque de hielo cristalino vista frontal .....	78
Imagen 4.4: Equipo de refrigeración durante la construcción. ....	78
Imagen 4.5: Equipo de refrigeración durante su elaboración .....	79
Imagen 4.6: equipo de refrigeración en su etapa final tapa frontal. ....	79
Imagen 4.7: equipo de refrigeración termino, tapas móviles superior y frontal. ....	80
<b>ANEXOS</b>	
<i>Imagen A1:</i> Protector térmico de $\frac{3}{4}$ sin cordón .....	90
Imagen A2: Protector térmico de $\frac{3}{4}$ con cordón .....	90
Imagen A3: Protector térmico 4TM .....	90
Imagen A5: Relé cortó.....	91
Imagen A6: Relé largo .....	91
Imagen A7: Relé cortó, EG y PW” .....	91



Imagen A8: Relé cortó, EG y PW” .....	91
Imagen A9: Relé largo F y PW .....	92
Imagen A10: Relé largo F y PW “otra vista” .....	92
Imagen A11: Relé EM .....	92
Imagen A12: Relé EM “diferente vista” .....	92
Imagen A13: PTC .....	93
Imagen A14: Situación nueva .....	93
Imagen A15: Con capacitor .....	93
Imagen A16: Capacitor de arranque .....	94
Imagen A17: Sugerencia para la colocación de un sistema de refrigeración .....	96
Imagen A18: Prueba de las bobinas del compresor Nota: si la lámpara se enciende la bobita no está interrumpida .....	98
Imagen A19: Prueba de las bobinas del compresor EM .....	98
Imagen A20: Prueba de las bobinas de compresor PW/F/EG .....	98
Imagen 57: Amortiguadores de caucho .....	99
<b>Fuentes de información.....</b>	<b>104</b>



# **CAPITULO 1**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Conforme el paso del tiempo el hombre tuvo que idear soluciones para obtener mejoras en cuanto al ritmo de vida se refiere. Uno de tantos inventos que descubrió en el transcurso de los años fue la refrigeración, ahora bien, para dar una breve explicación de cómo fue que comenzó a descubrirse es satisfactorio que se le mencione que es la refrigeración pues bien La refrigeración consiste en extraer la energía térmica de un cuerpo para reducir su temperatura. Por las propiedades termodinámicas, dicha energía es transferida hacia otro cuerpo. Cabe destacar que el frío propiamente dicho no existe, sino que la temperatura es el reflejo de la cantidad de energía que posee un cuerpo. De tal manera podemos hacer auge en cuanto a historia se refiere comenzando por preguntarnos quien fue quien invento la refrigeración pues bien no existe como tal una persona en su totalidad que haya descubierto la refrigeración si no que fue a base del resultado del trabajo de muchos inventores y científicos, cabe destacar que, sin los descubrimientos de personajes del pasado, no se podría contar con los sistemas avanzados de refrigeración de la actualidad. Lo que es un hecho es que para entender cómo apareció la refrigeración, es necesario investigar sobre todas las personas que tuvieron que ver en dicha invención. Data de los siglos XVIII cuando en escocia William Cullen descubrió mecanismos artificiales de enfriamiento, en 1748 se demostró que la refrigeración podía ser de utilidad para muchas aplicaciones, pero dadas las circunstancias de que en aquel tiempo no existía gran interés por lo que quedó estancado. Gracias a Cullen los científicos pudieron ver que se había avanzado descomunalmente por lo que se usó de cimiento para que después de algunos años se inventara por primera vez el refrigerador. Jacob Perkins fue quien trabajo en la construcción de la primera máquina de refrigeración del mundo, tiempos más tarde aproximadamente 10 años se pudo solidificar dicha idea debido al trabajo de John Gorrie quien construyo la primera máquina de refrigeración actual. Gorrie era un médico que trataba con pacientes de fiebre amarilla debido a esto tuvo que buscar la manera de enfriar el aire en las habitaciones donde se encontraban los pacientes con la finalidad de que pudieran descansar y recuperarse, este modelo de refrigeración fue llevado a una caja para guardar alimentos y fue concebida y aceptada. A partir de ese entonces comenzaron

a surgir máquinas de refrigeración. Con el paso del tiempo hubo avances significativos en el área ya que en el año de 1876 un ingeniero de origen alemán de nombre Carl Von Linden descubrió que había una manera efectiva de mezclar gases y después patentar su invención el ingeniero Von Linden fue quien abrió el angosto camino para la manufacturación. Carl Von trabajo con gases como el amoniaco, el cloro metano el dióxido de azufre al combinar estos gases el ingeniero encontró una manera muy eficiente para convertir los gases a líquidos con ello crear sistemas de enfriamiento del aire. De esa forma es que la refrigeración ha optado por ser de gran ayuda a fábricas, hogares, hospitales y principalmente en el sector alimenticio.

## **1.2JUSTIFICACIÓN**

Es importante para la empresa para ofrecer un nuevo artículo ya que con la llegada de la modernización se ha visto afectada este sector industrial debido a la reducción de sus ventas puesto que actualmente cada empresa cuenta con un aparato generador del hielo y subproductos. Además, la mayoría de la población que residen en Tuxtla cuenta con un refrigerador reduciendo la demanda que anteriormente tenía los bloques de hielo “blanco” así pues surge la necesidad de innovar y mejorar el boque de hielo debido a la demanda que se tiene por parte de los estudiantes en el área de gastronomía y otro sector que exigen un hielo tipo gourmet, para hacer frente a esta situación. Hemos de diseñado y construir una máquina que como resultado final se obtendrá un bloque de hielo cristalino con dimensiones específicas, cabe destacar que en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez no existe empresa alguna en la creación de bloques de hielos transparentes.

## **1.3OBJETIVOS**

General: diseñar y construir una maquina generadora de hielo cristalino

Específico: obtener hielo cristalino para mejorar la eficiencia dentro del mercado

Construir un sistema de refrigeración

## **1.4CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ**

El área donde se participo tiene como nombre “diseño y construcción” cuenta con las herramientas y equipo de seguridad necesarios para poder trabajar en la investigación y fabricación del proyecto. Una zona con acceso a internet para las investigaciones teóricas.

## **1.5 Problemas a resolver, priorizándolos**

- Que diseño es el más adecuado para el fin que se busca
- Como construir el equipo de refrigeración
- Como se debe de construir
- Tipo de material a utilizar
- Tiempo de congelación adecuado para lograr una extracción de calor esperado
- Características del gas a utilizar
- Ecuaciones que rigen el sistema

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1 Alcances:**

1. Estar dentro de la competencia con otras empresas de fábricas de hielo.
2. El presente estudio está diseñado principalmente para las empresas dedicadas a la fábrica de hielos cristalinos y que deseen innovar
3. puede abarcar para su uso en la producción de cubos de hielos en laboratorios y otros centros de investigación.
4. Generar mayores ingresos y egresos en cuanto a lo económico y profuccion se refiere.

### **1.6.2 Limitaciones:**

1. Poca información en libros, internet, artículos.

2. Banco de datos incompletos y no actualizados, ya que el proyecto es pionero es su realización

3. El período de tiempo de ejecución del proyecto es poca respectivamente hablando del proyecto como tal

# **CAPÍTULO 2**

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 Evaporadores**



Los evaporadores son intercambiadores de calor constituidos por un haz de tuberías en las que se evapora el fluido frigorífero, extrayendo calor del espacio que se quiere enfriar, que es en esencia el fenómeno de producción de frío o potencia frigorífica que se desea conseguir. Los evaporadores se fabrican con una amplia variedad de criterios, tipos, formas, tamaños y materiales.

### **2.1.1 Clasificación según su funcionamiento**

Evaporadores de expansión seca: La alimentación del refrigerante se realiza mediante un sistema de expansión, de forma que el líquido se evapora totalmente a lo largo del evaporador, generalmente con un ligero sobrecalentamiento. El refrigerante está en la proporción estrictamente necesaria para formar un vapor saturado seco, que va a proporcionar un buen funcionamiento en el compresor.

Evaporador inundado: Se encuentran siempre completamente llenos de refrigerante líquido, regulándose la alimentación mediante una válvula de flotador, la cual mantiene constante el nivel de líquido en el evaporador. Preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco (R717) como refrigerante.

Evaporador sobrealimentado: En este tipo de evaporadores el flujo másico de líquido supera con creces al flujo de vapor producido en el evaporador. De esta manera, el fluido que abandona el evaporador es mezcla vapor-líquido de alto título, que no alcanza a ser vapor saturado. Son preferentemente utilizados en aplicaciones industriales.

### **2.1.2 Clasificación según su construcción**

Evaporador de tubo liso: Están constituidos por un tubo de acero o cobre de forma geométrica variada, según convenga.

Evaporador de placas: Consisten en dos placas metálicas acanaladas, unidas mediante soldadura, a las que se da la forma más conveniente para que por las mismas circule el refrigerante, conformando así una estructura interior de tubos en los que se produce la vaporización del refrigerante. También pueden estar formados por una tubería, normalmente en zigzag, embutida entre dos chapas metálicas soldadas entre sí en los extremos.

Evaporador de aletas: Están formados por un serpentín de tubería de cobre a la cual se le aplican aletas de aluminio para aumentar así la superficie de transmisión del propio tubo.

### **2.1.3 Problemas que se presentan en los evaporadores**

Los evaporadores presentan dos tipos de problemas importantes:

- Problemas de flujo de aire o El evaporador está sucio o helado o Las aspas o el motor del ventilador presentan fallos.
- Problemas del refrigerante o Poco o demasiado refrigerante o El dispositivo de control tiene problemas o El distribuidor presenta problemas.
- Las unidades de refrigeración para media temperatura como para baja temperatura generan escarcha, que puede dar lugar a problemas en el flujo de aire.

## **2.2 Desescarche**

Podremos distinguir los siguientes tipos de desescarche según el uso de la cámara frigorífica:

- Cámara de temperatura media

- Descongelación por aire
- Cámara de baja temperatura
- Desescarche por resistencias eléctricas
- Desescarche por gas caliente
- Desescarche por inversión de ciclo
- Desescarche por aspersion de agua

### **2.2.1 Desescarche por aire para cámara de temperatura media**

Puesto que la temperatura del serpentín del evaporador ( $-9^{\circ}\text{C}/-4^{\circ}\text{C}$ ) es inferior a la que hay en la cámara ( $1^{\circ}\text{C}/4^{\circ}\text{C}$ ), es normal que se acumule escarcha en las aletas del evaporador durante el “ciclo de actividad” mientras que el compresor está funcionando. Cuando el termostato detecta la temperatura adecuada, el compresor se para y los ventiladores del evaporador hacen que siga circulando aire de la cámara a través de las aletas del serpentín. Puesto que las temperaturas de la cámara y de los productos están por encima de la temperatura de congelación, el evaporador se calienta y la escarcha se funde. Este proceso conocido como descongelación variable o de ciclo de apagado, tiene lugar cada vez que el termostato desactiva al compresor. Para asegurar un periodo de descongelación suficiente, los termostatos de los equipos de refrigeración comerciales se diseñan con un diferencial de temperatura. Este diferencial es la diferencia entre los puntos de conexión y desconexión de un dispositivo de control.

### **2.2.2 Desescarche por resistencias eléctricas**

Consiste en insertar una o varias resistencias eléctricas en el evaporador; luego de forma automática y ordenada, hacerla funcionar con el fin de calentar el evaporador desheliendo su superficie. El programador será el encargado de controlar la hora y el tiempo del desescarche. Entonces la maquina dejara de producir frio quedándose totalmente parada. Al mismo tiempo el programador ordena a la resistencia ponerse en marcha, esta calentara el evaporador hasta deshacer el hielo.

### **2.2.3 Desescarche por gas caliente**

El desescarche por gas caliente no es muy diferente en su forma de automatismo que el anterior. Las funciones son las mismas, pero la forma de suministrar calor al evaporador es distinta. Se proporciona calor que proviene desde la descarga del compresor, con el fin de realizar el desescarche, es decir, inyectamos gas caliente en el evaporador. Así pues añadimos una electroválvula solenoide, haciendo un by pass entre la descarga y la entrada él.

#### **2.2.4 Desescarche por aspersión de agua**

Este método de desescarche consiste en pulverizar agua a través de las láminas del evaporador. La pulverización se obtiene por medio de tubos agujereados en la batería distribuidora de agua. O aún mejor, por medio de pulverizadores fijados en dicha batería. Este método puede utilizarse en instalaciones tanto de refrigeración como de congelación. Es necesario que se regule la operación de desescarchado de forma que la máquina no pueda ponerse de nuevo en marcha hasta que haya goteado totalmente el evaporador y, además, en el caso de las cámaras de congelación, deberá preverse un dispositivo que asegure el vaciado del agua que quede retenida en la batería de pulverización, a fin de evitar su congelación durante el periodo de marcha de la máquina.

#### **2.2.5 Desescarche por inversión de ciclo.**

El desescarche por inversión de ciclo consiste en invertir el ciclo de refrigeración utilizando una válvula de 4 vías.

### **2.3 Mantenimiento correctivo en evaporadores**

**Tabla 2.1: Evaporador bloqueado de escarcha**

<b>Evaporador bloqueado de escarcha</b>	
<b>Causa probable</b>	<b>Solución</b>
No se ha realizado el procedimiento de desescarche o es ineficaz	Establecer un sistema adecuado de desescarche o ajustar o modificar el procedimiento existente hasta que sea efectivo
Humedad del aire excesiva en la cámara debida a la entrada de humedad procedente de: -Productos no embalados -Entrada de aire a través de rendijas o puerta abierta	Eliminar la humedad: - Recomendar al usuario el embalaje de los productos y ajustar la operación de desescarche hasta que sea efectiva - Reparar el aislamiento de la cámara tapando las rendijas. Recomendar al usuario que mantenga la puerta cerrada

**Tablada 2.2: El evaporador presenta daños producidos en el transporte o durante el uso.**

<b>El evaporador presenta daños producidos en el transporte o durante el uso.</b>	
Causa probable	Solución
Aletas o laminas deformadas	Enderezar aletas con un peinador de aletas

**Tabla 2.3: Fuerte caída de presión en el evaporador**

<b>Fuerte caída de presión en el evaporador</b>	
Causa probable	Solución
El evaporador tiene solamente el final del serpentín cubierto de escarcha, quedando la entrada o las primeras vueltas relativamente calientes. Empleándose válvulas de expansión termostática con compensador de presión interior, la pérdida de presión del evaporador ejerce influencia sobre el comportamiento regulador de la válvula.	Hay que bajar la alta presión, que existe al principio del evaporador. Indica que existe un estrechamiento en aquel punto del evaporador en que comienza la escarcha. Comprobar que la toma de presión de la válvula está después del bulbo y a 10 centímetros, si no es así corregir

**Tabla 2.4: No está totalmente escarchado, está alimentado parcialmente.**

<b>No está totalmente escarchado, está alimentado parcialmente.</b>	
Causa probable	
No pasa suficiente gas refrigerante al evaporador.	
La válvula de expansión no permite, el paso del gas refrigerante total o parcialmente.	Reajustar la válvula hasta que el evaporador se cubra de escarcha, hasta que el punto en que se encuentre el bulbo sensible. Regular el ajuste de la tobera.
El diámetro del orificio pequeño.	Cambiar orificio por un diámetro mayor
Suciedad en el filtro de la válvula	Limpiar el filtro.
Humedad en el circuito, posible hielo a la salida de la tobera.	Secar el circuito

**Tabla 2.5: Evaporador sobrellenado**

<b>Evaporador sobrellenado</b>	
Causa probable	Solución
Exceso de gas refrigerante en el evaporador	Ajustar la válvula, cerrándola; está muy abierta.
La apertura de la válvula de expansión, no está regulada correctamente por el termostato.	Colocar el bulbo sensible, debe tener buen contacto metálico con el tubo de aspiración y lo más próximo a la salida del evaporador. Puede estar el tubo pintado, hay que limpiarlo. Teniendo el tubo un diámetro superior a 18 mm, conviene montar el bulbo, a un lado, aproximadamente en la posición que marca la esfera de un reloj a las 8 ó las 4 (pasando por las doce).
Si el bulbo está expuesto en parte a la influencia de la temperatura ambiente más elevada.	Cambiarlo de posición de forma que se encuentre expuesto a la misma temperatura del local como el evaporador, o bien aislar el bulbo cuidadosamente con un material aislante que no absorba agua.
La válvula está enclavada mecánicamente, por humedad o suciedad.	El enclavamiento de la válvula de expansión puede ser por quedarse la aguja pegada, bien por la humedad congelada, o por suciedad. No reacciona al cambio de temperatura del bulbo. Desmontar la válvula de expansión. Si es por humedad, cambiar el filtro deshidratador y secar de



	humedad el circuito de gas refrigerante. Limpiar la válvula de expansión.
--	--

## 2.3 Compresores

Se sabe que los equipos de refrigeración, aire acondicionado, deshumidificadores, entre otros emplean el ciclo frigorífico de compresión para producir frío, y prácticamente todos ellos tienen un motor compresor hermético que además de ser la parte más cara del equipo es la que realiza si no todo, gran parte del consumo energético.

Tanto los compresores alternativos como los centrífugos se encuentran en el mercado formando equipos herméticos que incluyen el motor. Estos motores cerrados son de un tipo distinto al convencional porque están enfriados por el mismo líquido o vapor refrigerante, a temperaturas mucho más bajas que el aire empleado para enfriar los motores abiertos. Estos motores pueden trabajar con mayores temperaturas de régimen pero sin llegar a superar la máxima temperatura admitida a las condiciones de diseño.

Como el trabajo de estos motores cerrados (frecuentes paradas y puestas en marcha) es distinto al normal, no suelen clasificarse por su potencia de régimen permanente, sino por las intensidades de arranque y de plena carga. El significado de esta clasificación se observa con claridad en el momento de seleccionar los equipos. No hay ninguna norma general para designar el tamaño de los compresores herméticos. Anteriormente, se indicaban los tamaños de compresor en HP (CV), pero esta unidad de medida no representaba una definición clara de las características de refrigeración. Los compresores herméticos se diseñan para ser empleados en ciclos de refrigeración por compresión de vapor y se clasifican de acuerdo con la presión correspondiente a la gama de temperaturas de evaporación en la cual el compresor funciona, dentro de la categoría de aplicación de alta, media y baja presión.

## **2.4 Definición de compresor**

Consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en el otro. El proceso de refrigeración implica un circuito cerrado, y al refrigerante no se le deja expansionar al aire libre. Cuando el refrigerante va hacia el evaporador, éste es alimentado por un tanque. La presión en el tanque será alta, hasta que su presión se iguale a la del evaporador. Por esto la circulación del refrigerante cesará y la temperatura tanto en el tanque como en el evaporador se elevará gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente. Para mantener una presión menor y con esto una temperatura más baja, es necesario sacar el vapor del evaporador. Esto lo realiza el compresor el cual lo aspira. En términos sencillos, el compresor se puede comparar a una bomba que transporta vapor en el circuito del refrigerante. En un circuito cerrado a la larga prevalece una condición de equilibrio. Para ampliar más este concepto tenemos que ver si el compresor aspira vapor más rápidamente, que el que se puede formar en el evaporador, la presión descenderá y con esto la temperatura en el evaporador. Por el contrario, si la carga en el evaporador se eleva, el refrigerante se evaporará más rápidamente lo que producirá una mayor presión y por esto una mayor temperatura en el evaporador. El refrigerante sale del evaporador, o bien como vapor saturado o ligeramente recalentado y entra en el compresor donde es comprimido

## **2.5 Tipos de compresores utilizados en la industria.**

Los equipos frigoríficos usados hoy en día emplean compresores del tipo reciprocantes a pistón, los cuales son fabricados en tres diferentes tipos:

### **2.6 Compresores reciprocantes:**

Este tipo de compresor hermético se emplea generalmente en equipos de pequeña y media potencia. Este tipo de compresor puede ser visto en las heladeras o neveras familiares.

Estos vienen en tres tipos diferentes:

**2.6.1 Compresor hermético:** el compresor está contenido en un cárter de acero, es empleado generalmente en heladeras / neveras familiares, aire acondicionado y unidades de poca potencia.



Imagen 2.2: Compresor hermético

**2.6.2 Compresor Semi hermético:** El compresor está contenido en un cárter metálico pero sus partes son accesibles y están equipados con válvulas de servicio. Este tipo compresor se instala en aplicaciones donde se realizará mantenimiento en forma frecuente.



Imagen 2.2: Compresor Semi hermético

**2.6.3 Compresor abierto:** Este tipo de compresor es muy usado en aplicaciones industriales y en equipos que trabajan con amoníaco como fluido refrigerante. Es muy práctico para mantenimiento rutinario del motor, ya que este no forma parte del circuito frigorífico en sí, si no que por medio de un acople acciona el compresor.



## 2.7 Ciclo frigorífico de compresión

Existen dos presiones en el ciclo básico de refrigeración por compresión: la de evaporación o de baja presión y la de condensación o de alta presión. El refrigerante actúa como medio de transporte para mover el calor del evaporador al condensador, donde es despedido a la atmósfera o al agua de enfriamiento, en el caso de sistemas enfriados por agua. Un cambio de estado líquido a vapor, y viceversa, permite al refrigerante absorber y descargar grandes cantidades de calor en forma eficiente. El ciclo básico de refrigeración opera de la siguiente forma: el refrigerante líquido a alta presión es alimentado al tanque receptor a través de la tubería de líquido, pasando por un filtro desecante al instrumento de control, que separa los lados de alta y de baja presión del sistema. Existen varios instrumentos de control de flujo que pueden emplearse, pero en la ilustración se considera únicamente la válvula de expansión, la cual controla la alimentación del refrigerante líquido al evaporador, y por medio de un pequeño orificio reduce la presión y la temperatura del refrigerante. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste hierva o se vaporice, hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la de su presión. Conforme el refrigerante de baja temperatura pasa a través del evaporador, el calor del elemento a enfriar fluye a través de las tuberías del mismo hacia el refrigerante, haciendo que la acción de ebullición continúe hasta que el refrigerante se encuentre totalmente vaporizado. La válvula de expansión regula el flujo a través del evaporador para mantener el sobrecalentamiento constante, para mantener la diferencial de temperatura que existe entre la temperatura de vaporización y el vapor que sale del evaporador. Conforme la temperatura del gas que sale del evaporador varía, el bulbo de la válvula de expansión registra variación y actúa para modular la alimentación a través de la válvula de expansión, y así adaptarse a las nuevas necesidades. El vapor refrigerante que sale del evaporador viaja a través de la línea de succión hacia la entrada del compresor. El compresor toma el vapor a baja presión y lo comprime aumentando, tanto su presión, como su temperatura.

El vapor caliente, al alcanzar una alta presión, es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador. Conforme pasa a través de éste, el gas a alta presión es enfriado por algún medio externo. En sistemas enfriados por aire se usa generalmente un ventilador y un condensador aletado. En sistemas enfriados por agua se emplea por lo regular un intercambiador de calor refrigerado por agua. Conforme el vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye al recipiente como líquido, repitiéndose nuevamente el ciclo.

## **2.8 Calor de compresión.**

Cuando se comprime el refrigerante en el cilindro del compresor, se aumenta la presión y se reduce el volumen. El calor de compresión se define como: “el calor agregado al gas refrigerante que resulta de la energía de trabajo usado en el compresor”. El calor que debe desechar el condensador se llama calor de rechazo y consiste en el total de calor absorbido por el refrigerante en el evaporador, en el compresor, y cualquier calor agregado al sistema debido a ineficiencias del motor (este último aplicable únicamente a compresores herméticos y semiherméticos). Para motocompresores herméticos y semiherméticos, el calor de rechazo es además el que produce la carga de refrigeración.

### **2.8.1 Efecto del cambio de la presión en la succión.**

El volumen específico del gas de retorno al compresor aumenta, si se mantienen constantes todos los factores, al reducirse la presión de succión. La disminución de la densidad del gas de succión merma el peso del refrigerante bombeado, con la consecuente pérdida de capacidad del compresor. Por lo tanto, para obtener la mayor capacidad y economía de operación, es de gran importancia que el sistema de refrigeración opere a las presiones de succión más altas posibles.

## **2.8.2 Efecto del cambio de la presión de la descarga.**

Un aumento en la presión de descarga provoca un incremento en la relación de compresión, con la resultante pérdida de eficiencia volumétrica. Aun cuando la pérdida de capacidad no es tan grande como la causada por una disminución en la presión de succión equivalente, será de todas maneras bastante perjudicial.

## **2.8.3 Aditamentos Eléctricos**

Los fabricantes de motores destinados a equipos de refrigeración herméticos montan los conjuntos de rotor y estator dentro de una carcasa común al compresor, y le adaptan los cojinetes adecuados. Los bobinados están perfectamente aislados y garantizados, especialmente en los motores de gran tamaño. Los motores pequeños suelen ser monofásicos y como no pueden utilizarse contactos capaces de producir chispas, suelen ser tipo de fase partida con los capacitores e interruptores situados en el exterior del compresor (Caja de Conexiones)

Los motores de estas unidades suelen ser motores asíncronos monofásicos (Single-Phase Induction Motors, SPIM), y debido a su nulo par de arranque, necesitan un sistema auxiliar para su puesta en marcha, que puede lograrse con diferentes dispositivos, como lo son los relés o interruptores Centrífugos. Cada uno de ellos le confiere al motor características de funcionamiento distintas.

Un problema que presentan los compresores monofónicos o bifásicos es que generan un campo magnético pulsante, por lo que tienen un par de arranque nulo, motivo por el que no son capaces de ponerse en marcha por sí mismos. Para provocar el arranque en estos motores se les dota de un devanado auxiliar de arranque (start, S) con un desfase respecto al principal (run, R), de modo que entre este devanado auxiliar y el principal se proporciona el par necesario en el arranque, y una vez producido éste, se puede desconectar el devanado auxiliar.

Estos motores monofásicos respecto a los trifásicos presentan la ventaja de poder conectarse a la red básica de distribución de electricidad, lo que hace que sea adecuado para aplicaciones domésticas.

La manera más rápida de seleccionar o sustituir un compresor es mediante las tablas y curvas de características de funcionamiento que aportan los fabricantes, que no sólo presentan las capacidades y las condiciones de evaluación, sino que dan la capacidad y potencia para una variedad de temperatura de evaporación y condensación. Pero hay que decir que éstas constituyen un promedio de la evaluación en laboratorio con equipos diseñados para mediar las condiciones de operación comúnmente llamadas calorímetro. Investigaciones recientes, muestran cómo la capacidad frigorífica dada por el catálogo de algunos fabricantes es superior a la real.

#### **2.8.4 Recomendaciones de buen uso del compresor**

Para asegurar una larga vida útil de compresor deben evitarse las condiciones de funcionamiento fuera de diseño que conducen a una descomposición térmica de los materiales utilizados en el compresor. Algunos materiales utilizados que afectan la vida útil de compresor son los siguientes: Gas Refrigerante, tipo de aceite y los materiales para el aislamiento del motor.

#### **Ejemplos:**

Al seleccionar un compresor tenemos que tener bien definido la aplicación y uso que se le dará a nuestro equipo, ya que con eso podremos definir el tipo de gas refrigerante que emplearemos, así como el tipo de aceite adecuado, de no tomar en cuenta esta recomendación estamos garantizando un problema a corto plazo en nuestro compresor.

El aislamiento del motor está formado por el esmalte para el bobinado de cobre, el cual soporta una temperatura interna dentro del compresor (valores definidos de fábrica), si esta sobrepasa la temperatura de diseño, ocasionará que se generen arcos eléctricos, y por consiguiente daños severos en el compresor.

#### **2.9.1 Máquinas que aplican la refrigeración por compresión:**

- Aire acondicionado o acondicionador de aire
- Refrigerador doméstico, nevera o frigorífico
- Enfriador de agua
- Fábrica de hielo
- Cámara de refrigeración

#### **Dispositivo de expansión**

## 2.9.2 Válvula de expansión termostática

Una válvula de expansión termostática (a menudo abreviado como VET o válvula TX en inglés) es un dispositivo de expansión el cual es un componente clave en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, que tiene la capacidad de generar la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema. Básicamente su misión, en los equipos de expansión directa (o seca), se restringe a dos funciones: la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este. Para realizar este cometido dispone de un bulbo sensor de temperatura que se encarga de cerrar o abrir la válvula para así disminuir o aumentar el ingreso de refrigerante y su consecuente evaporación dentro del evaporador, lo que implica una mayor o menor temperatura ambiente, respectivamente. El refrigerante que ingresa al evaporador de expansión directa lo hace en estado de mezcla líquido/vapor, ya que al salir de la válvula se produce una brusca caída de presión producida por la "expansión directa" del líquido refrigerante, lo que provoca un parcial cambio de estado del fluido a la entrada del evaporador. A este fenómeno producido en válvulas se le conoce como flash-gas. La imagen 4 representa una válvula de expansión termostática para refrigerante R22 tipo TEX2 instalada en evaporador frigorífico.



Imagen 2.4: Fenómeno conocido como flash-gas en la válvula de expansión.

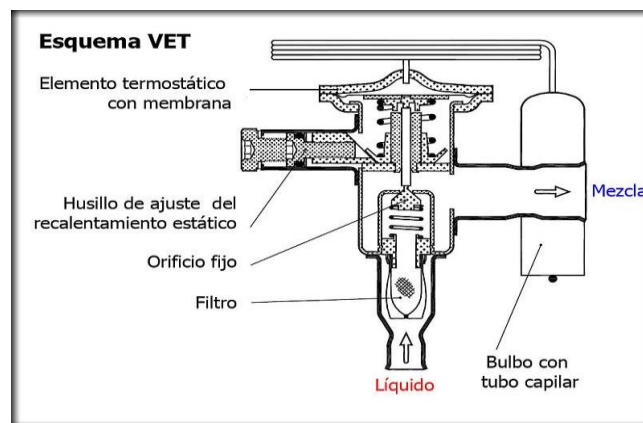
A diferencia de las otras válvulas y dispositivos de expansión, la VET mantiene un grado constante de sobrecalentamiento a la salida del evaporador lo que permite operar el



evaporador a plena carga de refrigerante sin peligro de un eventual ingreso de líquido a la succión del compresor, ya que el refrigerante que abandona el evaporador lo hará en estado de vapor sobrecalentado en su totalidad. Es por esto que la VET es adecuada en sistemas con variaciones de carga térmica.

Las fuerzas que interactúan en el flujo de refrigerante son –básicamente– tres: la Presión al interior del evaporador (de evaporación), Presión ejercida por el husillo de ajuste de recalentamiento, y la Presión ejercida por la mezcla líquido/vapor que se tiene al interior del bulbo sensor (presión del fluido potencia), la cual debe ser igual a la sumatoria de las anteriores para que la válvula opere de manera correcta. La imagen 5 muestra una vista interna de las partes por la cual está constituida la válvula termostática.

$$1) P_{bulbo} = P_{Husillo} + P_{Evap.}$$



**Imagen 2.5: Esquema en corte de una Válvula de expansión termostática con orificio fijo y sin línea de equilibrio de presión externa.**

De esta manera, al variar la presión de evaporación, debe variar también la presión de la mezcla líquido/vapor al interior del bulbo sensor ya que la presión del husillo es constante para mantener el equilibrio de presiones. Cada vez que esta condición de equilibrio se rompa, es decir aumente la presión de evaporación, habrá flujo de refrigerante hasta que la presión del bulbo se eleve lo suficiente como para establecer

el equilibrio de tensiones. Respecto de la presión ejercida por el husillo conocido también como tornillo o resorte, esta es la necesaria para lograr el “ajuste por sobrecalentamiento” y viene ya calibrada por los fabricantes de las válvulas (5° a 10 °F). Aumentar la tensión implica incrementar el sobrecalentamiento lo que conlleva a disminuir la superficie efectiva del evaporador; disminuir esta tensión puede llevar el evaporador a una condición de sobrealimentación indeseada. Por lo tanto, no se recomienda intervenir este ajuste; una intervención, es decir una regulación al husillo, implica por lo general que se ha realizado una mala selección de la válvula. No obstante, lo anterior, es posible una excepcional regulación del husillo en el caso que el valor nominal de la carga térmica varíe de forma definitiva, sin que ella escape a la capacidad y rango de operación de la válvula.

**Se compone de:**

- ✓ Un cuerpo compuesto por una cámara en la cual se produce la expansión, al pasar el fluido refrigerante a ésta a través de un orificio cilindro-cónico obturado parcialmente por un vástago, y los tubos de entrada y salida del fluido.
- ✓ Un elemento o fluido potencia que actúa sobre el vástago para abrir o cerrar el paso de refrigerante a la cámara de expansión.
- ✓ Un husillo regulador o tornillo que nos limita la cantidad mínima de caudal.
- ✓ Un bulbo sensor situado a la salida del evaporador, conectado por un capilar al elemento de potencia y que actúa sobre éste.
- ✓ Una tubería de compensación de presión conectado también a la salida del evaporador, y que ayuda a funcionar al obturador. Este accesorio es necesario sólo para la VET compensada externamente.

### **2.9.2.1 Tubo capilar**

Los tubos capilares son dispositivos de expansión en sistemas de refrigeración pequeños por los cual los refrigerantes, R22, R404a, R502, R134a, entre otros, siguiendo el ciclo normal de refrigeración, entrarán al capilar.

Podemos señalar las medidas de capilares más comunes, que son de 1 a 6 metros de largo x 0.5 a 2 mm de diámetro. Estos datos deben ser de acuerdo a la capacidad del compresor y temperatura del sistema.

El capilar cumple dos tareas: reducir la presión del refrigerante líquido que sale del condensador hacia el evaporador y regular el flujo másico (la cantidad de líquido) del refrigerante que va hacia el evaporador para el efecto de enfriamiento. De esta forma, si el vapor refrigerante no está completamente en forma de líquido, el flujo másico será reducido, teniendo por consiguiente un bajo enfriamiento y recalentamiento del refrigerante que llega al compresor. Por otra parte si existiera exceso de refrigerante acumulado en el condensador, la presión y la temperatura en el condensador aumentarán y la capacidad en el evaporador disminuirá. De esta forma, si el vapor refrigerante no está completamente en forma de líquido, el flujo másico será reducido, teniendo por consiguiente un bajo enfriamiento y recalentamiento del refrigerante que llega al compresor. Por otra parte si existiera exceso de refrigerante acumulado en el condensador, la presión y la temperatura en el condensador aumentarán y la capacidad en el evaporador disminuirá. La presencia de humedad dentro del sistema, residuos de sólidos, tubo capilar obstruido o doblado, podrá ocasionar variación del flujo refrigerante teniendo como resultado bajo desempeño del equipo.

Por esta razón se debe tener cuidado en el manejo del capilar, estos deben estar tapados y se debe retirar el tapón apenas lo utilice. Las dimensiones son de acuerdo a su operación en el sistema; Por lo tanto, variaciones de temperatura de condensación o cambio de carga térmica reducen su eficiencia.



Imagen 2.6: Tubo capilar

### **2.9.2.2 La carga insuficiente de refrigerante:**

Este efecto traerá como consecuencia utilizar el evaporador parcial y menor capacidad de refrigeración.

### **2.9.2.3 La carga de refrigerante excesiva:**

La presión del condensador se elevará, sobrecargando la función del compresor y bajando la capacidad del condensador.

En algunos casos el refrigerante puede llegar líquido al compresor dañándolo.

Para sistemas que trabajan con R134a, como este refrigerante, posee un efecto de refrigeración superior al R12. Se reduce el flujo másico para una determinada capacidad. Como resultado, se necesita tener un diámetro interno menor o su largo de entre 10 a 20% más al mismo capilar del R12. Para sistemas con refrigerante como el R404A, que posee un efecto de refrigeración superior al R502, se reduce el flujo másico requerido para una determinada capacidad. Como consecuencia, el capilar necesita aumentar su largo hasta un 15% y su diámetro al mismo que el R502.

### **Tablas para selección de tubo capilar.**

Tabla 2.6: Para R-22 a Temperatura media.

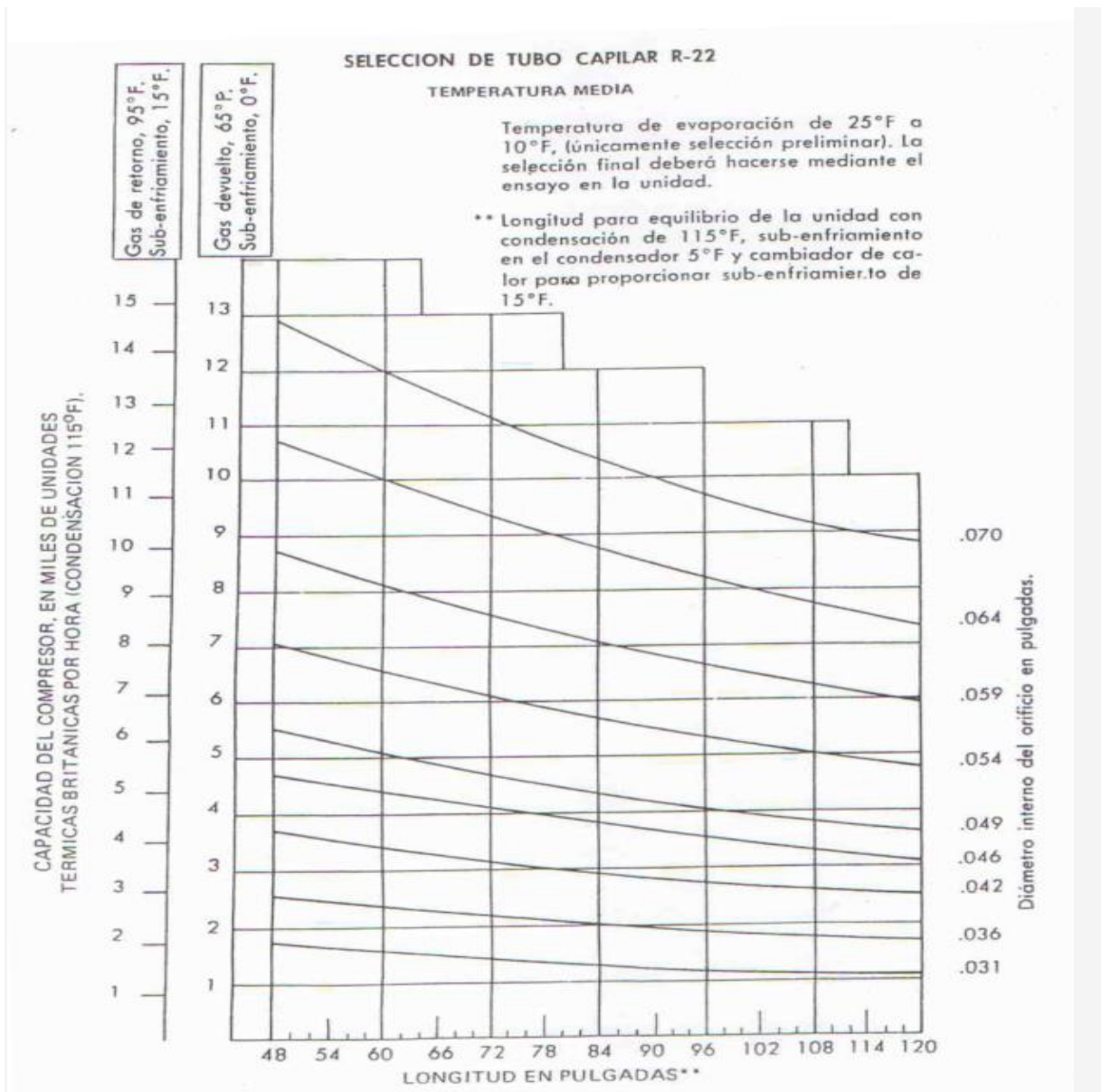


Tabla 2.7: Para R-22 a temperatura alta.

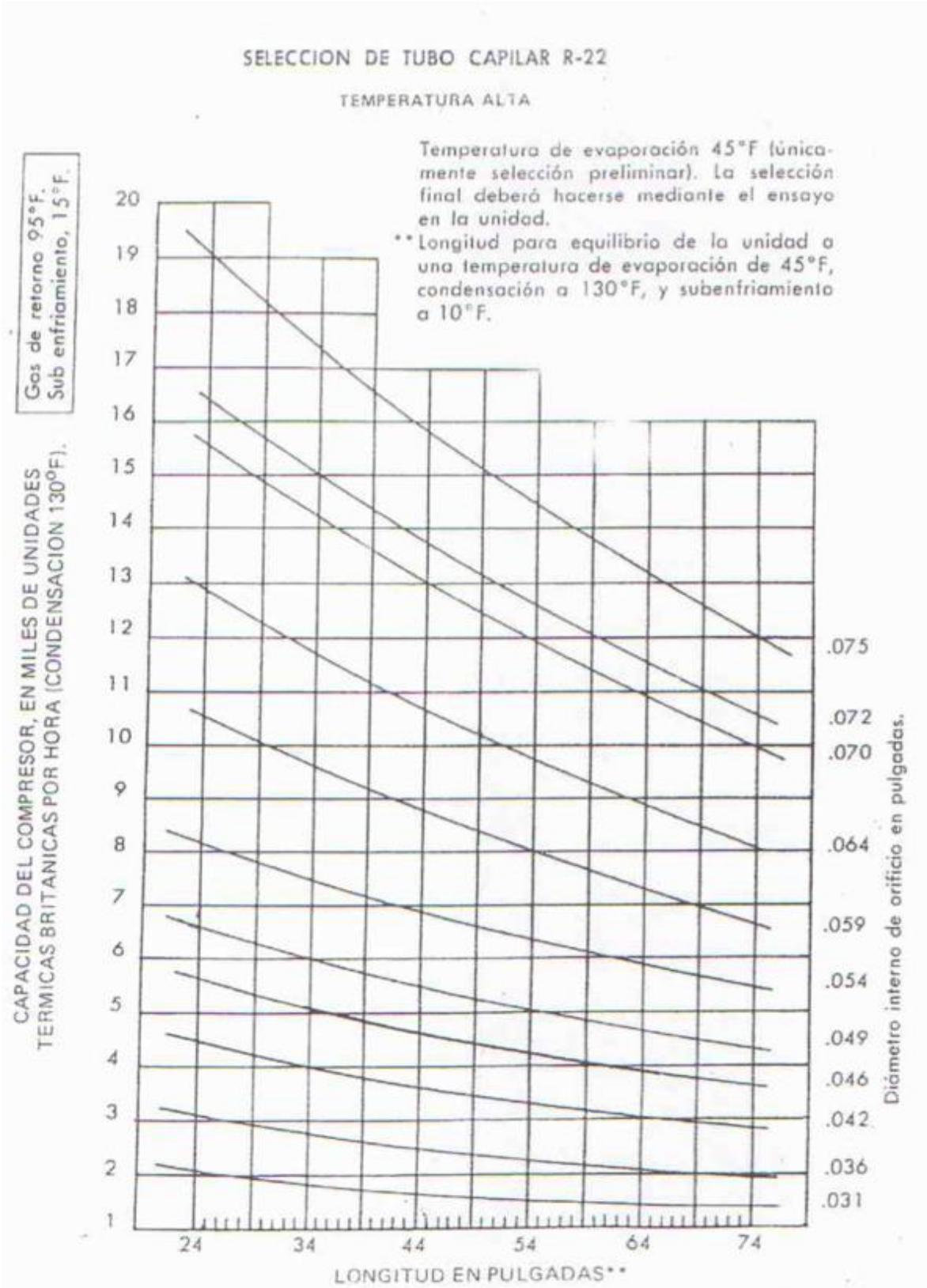


Tabla 2.8: Para R-502 a temperatura baja.

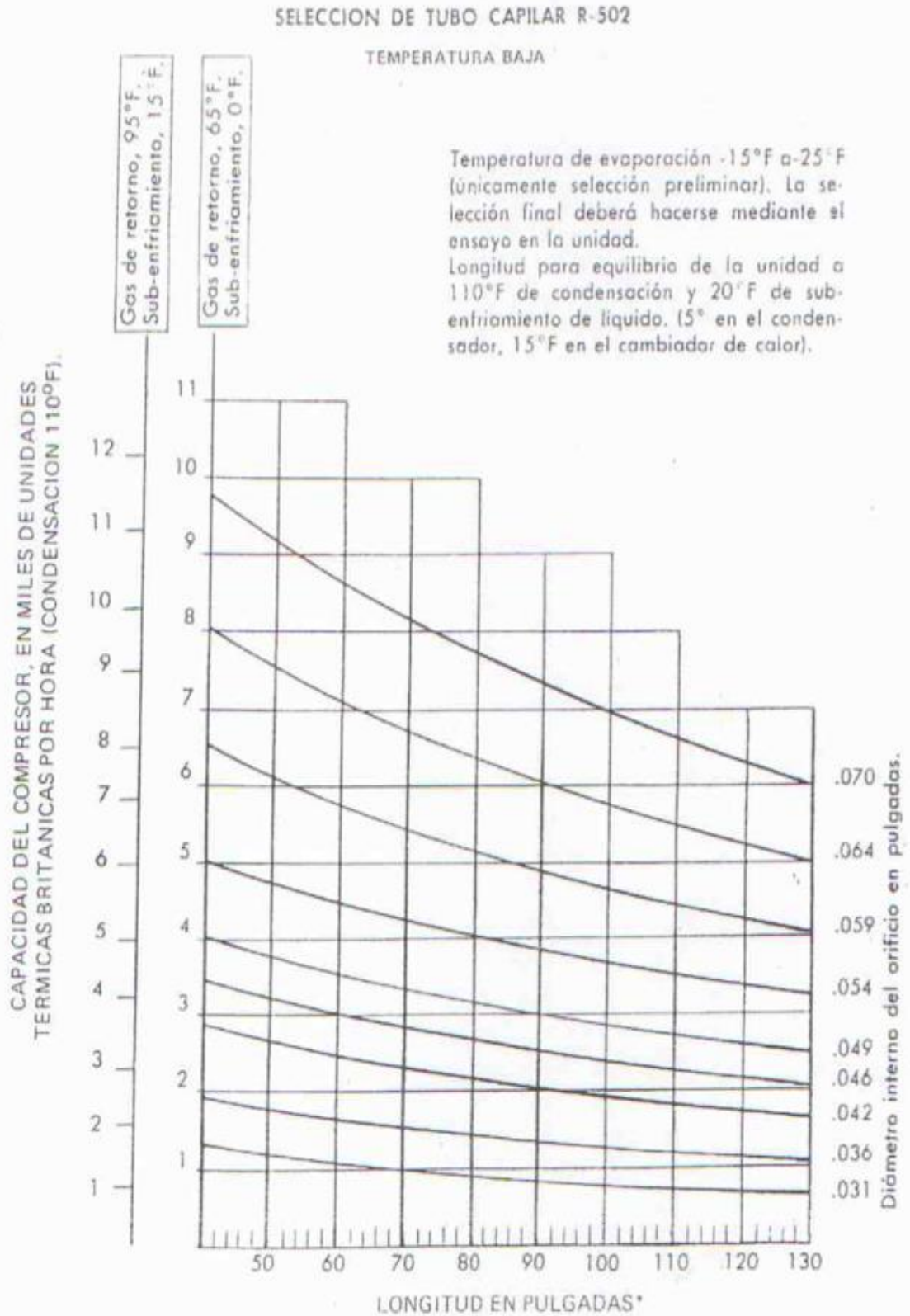
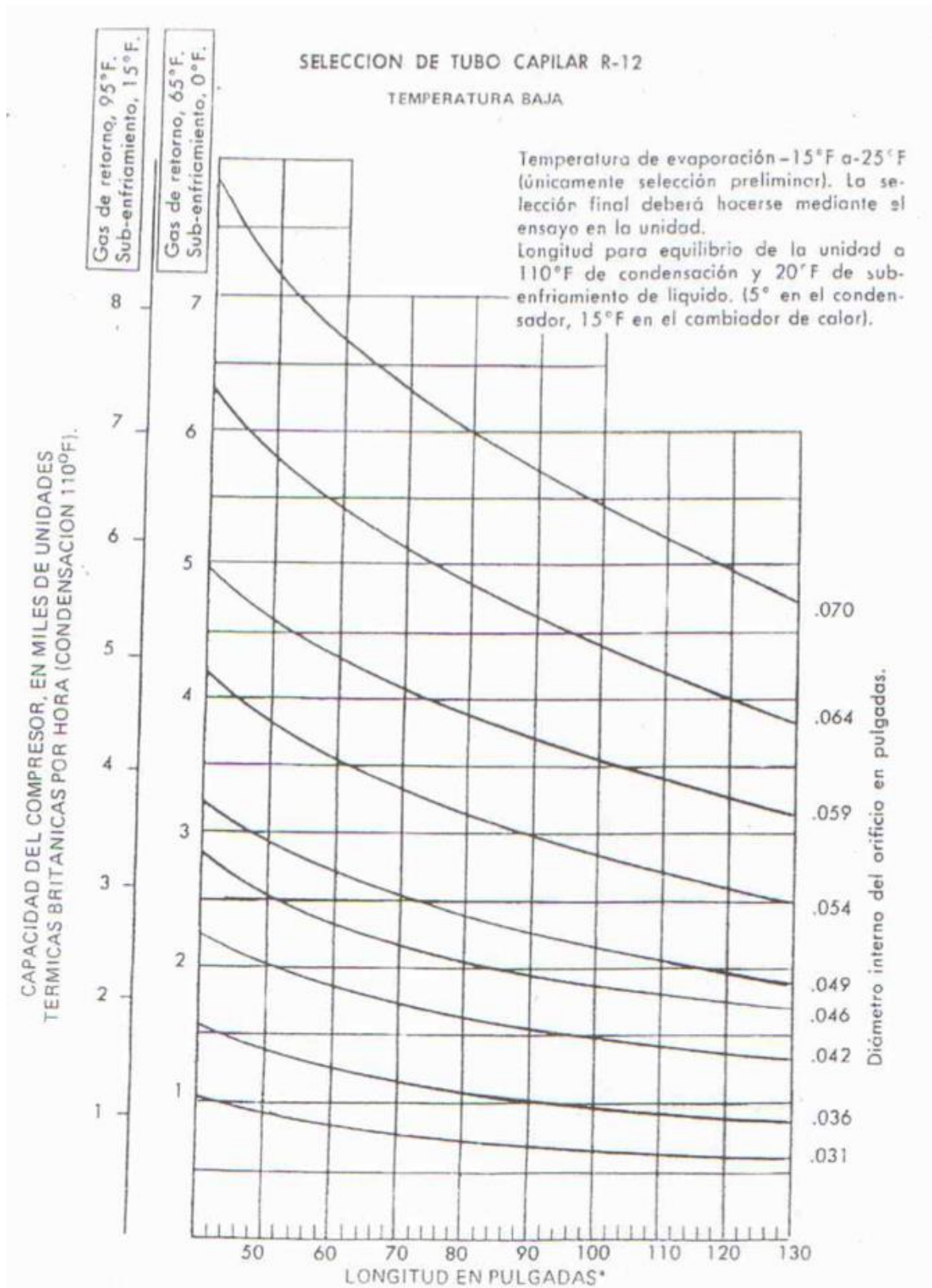


Tabla 2.9: Para R-22 a temperatura baja.





Los dispositivos de expansión, denominados dosificadores, constituyen el cuarto componente necesario para que funcione el ciclo de compresión de la refrigeración. Los dispositivos de expansión no están tan a la vista como los evaporadores, los condensadores o los compresores. Estos dispositivos están ocultos en el interior del gabinete del equipo y no son evidentes para cualquier observador ocasional.

## **2.10 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor**

el compresor es accionado por un motor eléctrico, existiendo diversas configuraciones en su acoplamiento: éste puede ser abierto, cuando el eje del compresor está externamente unido al motor eléctrico, hermético cuando ambos están contenidos en sólo envoltorio hermético y las partes mecánicas son enfriadas por el propio retorno del refrigerante; semi-hermético cuando ambos dispositivos, compresor y motor comparten su acoplamiento en caja cerrada, pero el motor se enfría de manera convencional por medios externos. Con este mismo ciclo frigorífico puede accionarse el compresor con un motor endotérmico utilizando como combustible gas natural o GLP en fase vapor. En todos los casos se trata de la configuración abierta, con un compresor conectado al extremo del motor endotérmico mediante un dispositivo amortiguador para evitar la transmisión de vibraciones. El ciclo de compresión, al igual que en el ciclo de absorción, se obtiene el efecto frigorífico aprovechando que el fluido utilizado como refrigerante necesita obtener de su entorno el calor necesario para pasar del estado líquido al de vapor cuando es introducido en un espacio donde la presión es notablemente inferior a la que estaba sometido cuando se encontraba en fase líquida, antes de entrar en él. La temperatura de evaporación (ebullición) depende de la presión, pero todos los líquidos necesitan calor para hervir e inversamente, su vapor debe perder calor para condensarse y volver al estado líquido. El gas refrigerante es comprimido en el compresor y descargado a alta presión en la tubería que lo conduce al condensador donde, al ser enfriado se condensa cediendo calor al medio enfriador. Ya en fase líquida, el refrigerante, que continua sometido a alta presión por efecto del compresor, se dirige por la tubería llamada línea de líquido hacia la válvula de expansión que permite reducir su presión al entrar dentro del evaporador donde hierve absorbiendo el calor de su entorno, por lo tanto enfriándolo, para dirigirse

finalmente a la boca de aspiración donde el ciclo se inicia de nuevo. En determinadas condiciones se coloca un depósito de líquido entre el condensador y la válvula de expansión para poder equilibrar los volúmenes de refrigerante, como es el caso ilustrado en la imagen 7. La zona de alta presión se extiende desde la descarga del compresor hacia la válvula de expansión, mientras que la de baja abarca el tramo comprendido desde la descarga de la válvula de expansión hasta la boca de aspiración del compresor.

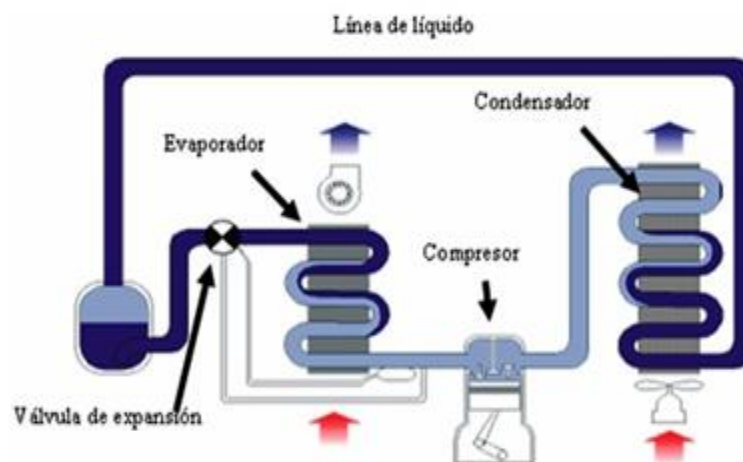
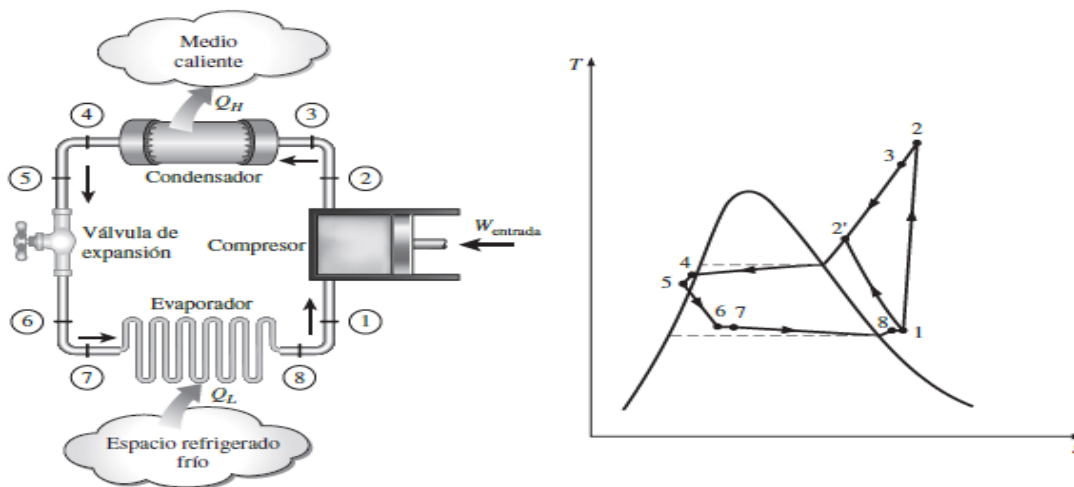


Imagen 2.8: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Los fluidos utilizados como refrigerantes en los ciclos de compresión, son principalmente los que pertenecen a la familia de los hidrocarburos halogenados. No obstante, los del tipo Clorofluorocarbono totalmente halogenados sin presencia de átomos de hidrógeno en su composición química, llamados CFC: (Flúor, Carbono, Cloro), empleados hasta hace relativamente poco (año 1995) han sido prohibidos al agredir en gran medida la capa de ozono y ser responsables del efecto invernadero. También está prevista y regulada la desaparición en el 2015 de los denominados HCFC (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro), similares a los anteriores pero que contienen átomos de hidrógeno en su molécula siendo por ello menos estables y descomponiéndose antes de alcanzar la estratosfera, teniendo por lo tanto un reducido potencial de destrucción de la capa de ozono. Por último, existen los llamados HFC: (Hidrógeno, Flúor, Carbono), que son Fluorocarbonos sin cloro, con átomos de hidrógeno, sin potencial destructor del ozono dado que no contienen cloro. Estos

refrigerantes pueden ser puros o mezcla de diferentes gases, las cuales pueden ser isotrópicas o no serlo. Las mezclas isotrópicas están formadas por tres componentes y se comportan como una molécula de refrigerante puro.

Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor difiere de uno ideal de varios aspectos principalmente debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes. Dos fuentes comunes de irreversibilidad son las fricción del fluido ( causa caídas de presión ) y a transferencia de calor hacia o desde los alrededores del diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la imágenes 8.



**Imagen 2.9: ciclo real de refrigeración por compresión de vapor y diagrama T-S**

En el ciclo ideal el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado sin embargo en la práctica no es posible controlar el estado de refrigerante con tanta precisión. En lugar de eso es fácil diseñar el sistema de modo que el refrigerante se sobrecaliente ligeramente en la entrada del compresor. Este ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra al compresor. También la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga por lo tanto la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden ser muy significativas el resultado del sobrecalentamiento de la ganancia de calor en la línea

de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión consiste en un incremento en el volumen específico y por consiguiente en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo del flujo estacionario es proporcional al volumen específico el proceso de compresión en el ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y por ende isotrópico sin embargo el proceso de compresión real incluirá efectos de fricción los cuales incrementan la entropía y la transferencia de calor lo que puede aumentar o disminuir la entropía dependiendo de la dirección por consiguiente la entropía del refrigerante puede incrementarse (proceso 1-2) o disminuir (proceso 1-2') durante un proceso de compresión real dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2' puede ser incluso más deseable que el proceso de compresión isotrópico debido a que el volumen específico del refrigerante y por consiguiente el requerimiento de entrada de trabajo son más pequeños en este caso. De ese modo el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo.

En el caso ideal se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En realidad es inevitable tener cierta caída de presión en el condensador así como las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. Además no es fácil ejecutar el proceso de condensación con tal precisión como para que el refrigerante sea un líquido saturado al final y es indeseable enviar el refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo. En consecuencia el refrigerante sube con una temperatura considerada fría un poco antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. A pesar de todo esto, se debe tener en mente dado que el refrigerante entra al evaporador con una entalpía inferior y por ello puede absorber más calor del espacio refrigerado. La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro de modo que la caída de presión en la línea de conexión es pequeña.

## **2.11 Análisis de la segunda ley del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.**

Considere el ciclo de refrigeración por compresión de vapor que opera entre un medio de baja temperatura a  $T_L$ , y un medio de alta temperatura a  $T_H$ , como se muestra en la Imagen 9. El COP máximo de un ciclo de refrigeración que opera entre los límites de temperatura  $T_L$  de y  $T_H$  se da en la ecuación

$$2) (COP_{R,carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1})$$

Los ciclos de refrigeración reales no son tan eficientes como los ideales como el ciclo de Carnot, debido a las irreversibilidades que implican. Pero la conclusión que podemos sacar de la ecuación

$$3) (COP_{R,máx} = COP_{R,rev} = COP_{R,carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1})$$

de que el COP es invertidamente proporcional a la diferencia de temperaturas  $T_H - T_L$  es igualmente válida para ciclos de refrigeración reales.

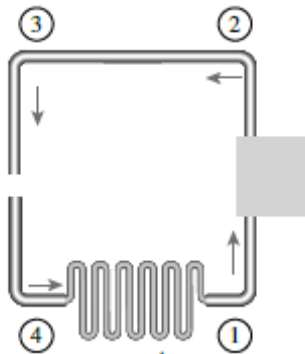


Imagen 2.10: Ciclos de refrigeración.

El objetivo de un análisis de la segunda ley de un sistema de refrigeración es determinar los componentes que se pueden beneficiar al máximo por mejoras. Esto se realiza identificando las ubicaciones con mayor destrucción de energía y los componentes con la menor energía o eficiencia de la segunda Ley. La destrucción de energía es un componente que se puede determinar directamente a partir de un balance de energía o indirectamente calculando primeramente la generación de entropía y usando luego la relación ( $\dot{X}_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen}$ )

Donde  $T_0$  es la temperatura ambiental (el estado muerto) para un refrigerador  $T_0$  es usualmente la temperatura del medio a alta temperatura  $T_H$  (para una bomba térmica, es  $T_L$ ). Las destrucciones de exergía y las eficiencias de exergía o de la segunda ley para los componentes principales de un sistema de refrigeración que operan en el ciclo que se muestra en la Imagen 9.

## 2.13 Selección del refrigerante adecuado

Cuando se diseña un sistema de refrigeración, existen varios refrigerantes que pueden elegirse como clorofluorocarbonos (CFC) amoníaco, hidrocarburos (propano, etano, etileno, etc.) dióxido de carbono aire (en el acondicionamiento de aire de aviones) incluso agua (en aplicaciones arriba del punto de congelación) una adecuada elección del refrigerante depende de la situación específica. De estos los refrigerantes tales como R-11, R-12, R-22, R-134<sup>a</sup> y R-502 abarcan 90 por ciento del mercado de Estados Unidos.

El éter etílico fue el primer refrigerante utilizado para el comercio de sistemas por compresión de vapor en 1850 y le siguieron otros como amoníaco dióxido de carbono, cloruro metílico, dióxido de azufre, butano, etano, propano, isobutano, gasolina y los clorofluorocarbonos entre otros. Los sectores industriales y del gran comercio estaban muy satisfechos con el amoníaco y aun lo están aunque este compuesto es tóxico. Las ventajas del amoníaco sobre otros refrigerantes son su bajo costo, altos COP (y en consecuencia menores costos de energía) sus propiedades termodinámicas y de transporte más favorables y por ello coeficientes de transferencia de calor más altos (requiere intercambiadores de calor más pequeños y de menor costo) mayor defectibilidad en el caso de una fuga y ningún afecto en la capa de ozono la principal desventaja del amoníaco es su toxicidad que lo hace inadecuado para el uso doméstico. El amoníaco se usa predominantemente en las instalaciones de refrigeración de alimentos como la preservación de frutas frescas vegetales, carnes y pescados la refrigeración de bebidas y productos lácteos como la cerveza y el vino la

leche y el queso el congelamiento de helados y otros alimentos; la producción de hielo y la refrigeración a baja temperatura en las industrias farmacéutica y algunas otras.

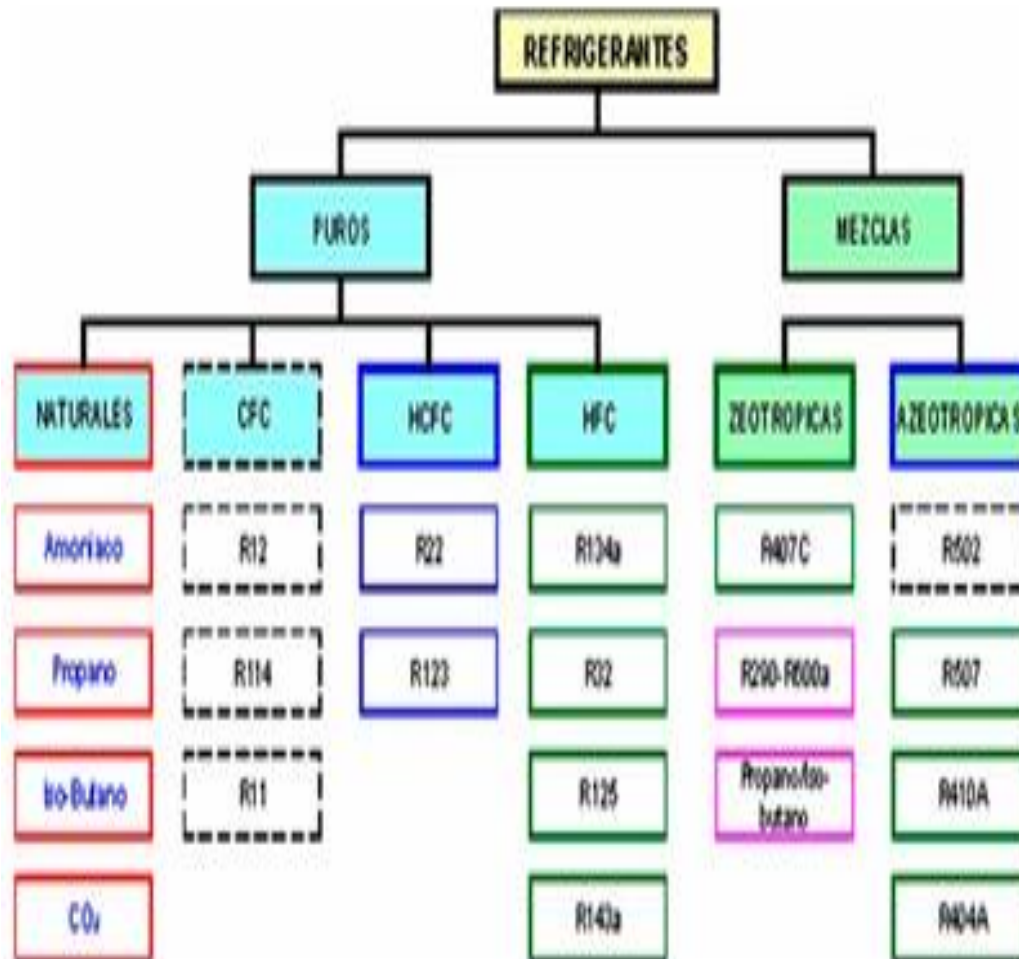


Imagen 2.11: Selección del refrigerante

Es notable que los primeros refrigerantes utilizados en los sectores domésticos y del pequeño comercio como el dióxido de azufre, el cloruro de etilo y de metilo, era altamente tóxico. La amplia difusión de unos cuantos casos de serias dudas que

causaron lesionados y muertos en la década de 1920 produjo una petición pública para prohibir o limitar el uso de estos refrigerantes creando la necesidad para el desarrollo de un refrigerante seguro de uso residencial. En 1928 en respuesta a una solicitud, Frigidaire corporación el laboratorio de investigación de la General Motors, desarrollo en tres días el R-21 el primer miembro de la familia de los refrigerantes de CFC. De varios CFC desarrollados, el equipo de investigación eligió al R-12 como el refrigerante más adecuado para uso comercial "Freon". La producción comercial de R-11 y R-12 se inició en 1931 en una campaña formada por General Motors y E. I. du Pont de Nemours and Co., Inc. La versatilidad y el bajo costo de los CFC hicieron que fueran los preferidos. Los CFC también se usaron en los aerosoles, los aislamientos de espuma y en la industria electrónica como solventes para limpiar chips de computadoras.

El R-11 se utiliza principalmente en enfriadores de agua de gran capacidad que sirven como sistemas de acondicionamiento del aire en edificios el R-12 se usa en refrigeradores domésticos y congeladores así como en acondicionadores de aire en automotores el R-22 se usa en acondicionadores de aire tipo ventana en bombas de calor acondicionadores de aire de edificios comerciales y en grandes sistemas de refrigeración industrial: Ofrece una fuerte competencia al amoníaco. El R502 (una mezcla del R-115 y del R-22) es el refrigerante dominante que se utiliza en los sistemas de refrigeración comerciales como los supermercados que permite bajas temperaturas en evaporadores mientras opera en una sola etapa de compresión.

La crisis del ozono ha ocasionado una gran agitación en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado y ha generado un análisis crítico de los refrigerantes actuales. A mitad de la década de 1970 se reconoció que los CFC permitirían más radiación ultravioleta en la atmósfera de la Tierra, ya que destruyen la capa protectora de ozono y por lo tanto contribuyen al efecto invernadero que a su vez ocasiona el calentamiento global. En consecuencia, el uso de algunos CFC se ha prohibido por medio de tratados internacionales. Los CFC halogenados (como R-11, R-12, R112) son responsables de la mayor parte del daño de la capa de ozono. Los refrigerantes no completamente halogenados como el R-22 tienen cerca de 5 por ciento de la



capacidad destructiva del ozono que posee el R-12. En la actualidad se están desarrollando refrigerantes favorables a la capa de ozono que protejan a la tierra de los dañinos rayos ultravioleta. El alguna vez popular R-12 fue en gran parte reemplazado por el recientemente desarrollado R-134<sup>a</sup> libre de cloro. Dos parámetros importantes que necesitan considerarse en la selección de un refrigerante son las temperaturas de los dos medios (el espacio refrigerado y el ambiente) con los cuales el refrigerante intercambia calor.

Para tener una transferencia de calor a una tasa razonable debe mantenerse una diferencia de temperatura de 5 a 10<sup>o</sup>c entre el refrigerante y el medio que intercambia calor. Por ejemplo si un espacio refrigerado va a mantenerse a -10<sup>o</sup>c la temperatura del refrigerante debe mantenerse cercana a -20<sup>o</sup>c mientras absorbe calor en el evaporador. La presión más baja en un ciclo de refrigeración sucede en el evaporador y esta presión debe ser superior a la atmosférica para evitar cualquier filtración de aire dentro del sistema de refrigeración. Por lo tanto un refrigerante debe tener una presión de saturación de 1 atm o mayor a -20<sup>o</sup>c en este caso particular. El amoniaco el R-134<sup>a</sup> son dos de esas sustancias.

La temperatura (y por lo tanto la presión) del refrigerante en el lado del condensador depende del medio hacia el cual se rechaza el calor. Es posible mantener temperaturas menores en el condensador (y por ello COP más altos) si el refrigerante se enfría con agua líquida en lugar de aire sin embargo el uso de agua de enfriamiento nos tiene una justificación económica, salvo en los grandes sistemas de refrigeración industrial. La temperatura del refrigerante en el condensador no puede descender por debajo de la temperatura del medio de enfriamiento (alrededor de 20<sup>o</sup>c en un refrigerador domestico) y la presión de saturación del refrigerante a esta temperatura debe estar bastante debajo de su presión critica si el proceso de rechazo de calor va a ser aproximadamente isotérmico. Si ningún refrigerante simple cubre los requisitos de temperatura entonces dos o más ciclos de refrigeración de estas características se llama sistema en cascada, el cual se analizara posteriormente en este capítulo. Otra característica deseable de un refrigerante es que no sea toxico, corrosivo o inflamable pero que se estable químicamente: que tenga alta entalpia de vaporización

(minimizando el flujo másico) y por supuesto que se obtenga a bajo costo. En el caso de bombas de calor, la temperatura mínima (y presión) para el refrigerante puede ser considerablemente más alta puesto que el calor suele extraerse de un medio que se encuentra muy por encima de las temperaturas encontradas en los sistemas de refrigeración.

## **2.14 Licuefacción de gases**

La licuefacción de gases siempre ha sido un área importante de la refrigeración pues muchos procesos científicos y de ingeniería a temperaturas criogénicas (temperaturas por debajo de los  $-100^{\circ}\text{C}$ ) dependen de gases licuados. Algunos ejemplos son la separación del oxígeno y del nitrógeno del aire. La preparación de propulsores, líquidos para cohetes el estudio de propiedades de materiales a bajas temperaturas y el estudio de algunos fenómenos interesantes como la superconductividad. A temperaturas superiores al valor del punto crítico una sustancia existe únicamente en la fase gaseosa. Las temperaturas críticas del hielo hidrogeno y nitrógeno (tres gases licuados que se usan comúnmente) son  $-268$ ,  $-240$  y  $-147^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Por lo tanto ninguna de estas sustancias existirá en forma líquida de condiciones atmosféricas. Además las bajas temperaturas de esta magnitud no se obtienen con técnicas ordinarias de refrigeración. Entonces, la pregunta que necesita responderse en la licuefacción de gases es (como puede reducirse la temperatura de un gas por debajo de su valor de punto crítico). Varios ciclos algunos complejos y otros sencillos se utilizan con buenos resultados en la licuefacción de gases. En seguida se analiza el ciclo Linde Hampón que se representa de manera esquemática en un diagrama T-S.

El gas de reposición se mezcla con la parte no condensada del gas del ciclo previo y la mezcla en el estado 2 se comprime mediante un compresor de múltiples etapas hasta el estado 3 el proceso de compresión se acerca a un procesos isotérmico debido al inter enfriamiento. El fas de alta presión se enfría en un enfriador posterior con un medio de enfriamiento o con un sistema de refrigeración externo independiente hasta el estado 4. El gas se enfría todavía más en un intercambiador de calor a contraflujo regenerativo por medio de una parte no condensada del gas del ciclo previo hasta el

estado 5, y se estrangula hasta el estado 6, el cual es un estado de vapor húmedo. El líquido (estado 7) se colecta como el producto deseado y el vapor (estado 8) se envía al regenerador a enfriar el gas de alta presión que se aproxima a la válvula de estrangulamiento. Por último el gas se mezcla con gas fresco de reposición y el ciclo se repite.

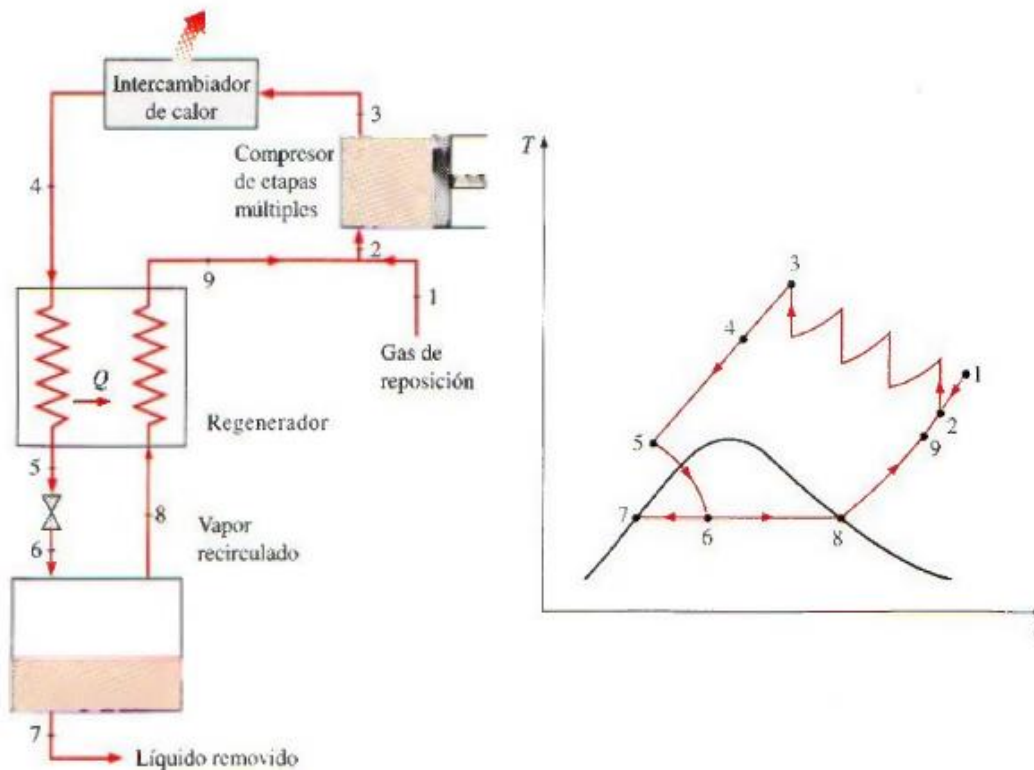


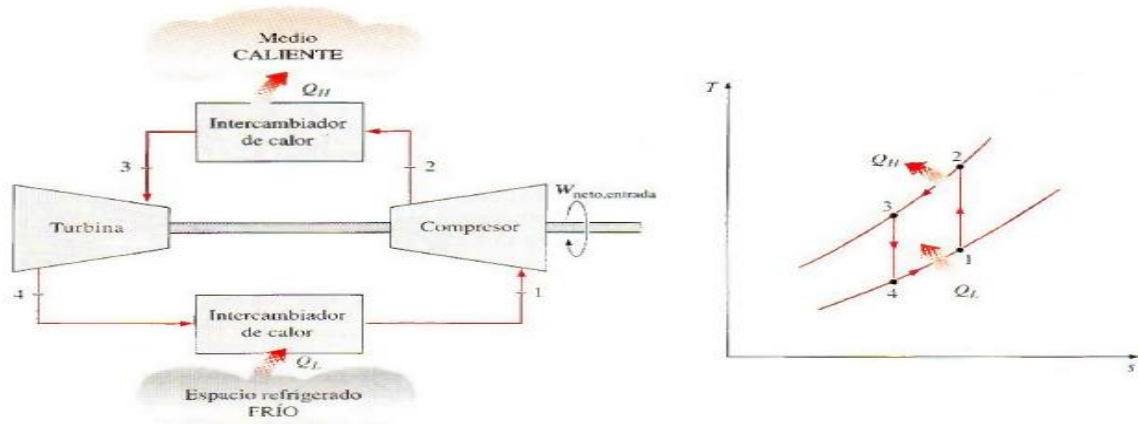
Imagen 2.12: el ciclo Linde Hampson y diagrama T-S

## 2.15 Ciclos de refrigeración en gases

Como ya se ha mencionado anteriormente el ciclo de Carnot (el estándar de comparación para los ciclos de potencia) y el ciclo invertido de Carnot (el estándar de comparación para los ciclos de refrigeración) son idénticos excepto porque el ciclo invertido de Carnot opera en la dirección contraria. Esto sugiere que los ciclos de potencia estudiados en los capítulos anteriores, pueden utilizarse como ciclos de refrigeración por compresión de vapor es en esencia un ciclo Rankin modificado que

opera a la inversa. Otro ejemplo es el ciclo invertido Stirling que es el ciclo con base en el cual operan los refrigeradores Stirling que es el ciclo con base en el cual operan los refrigeradores Stirling. Es esta sección, se analiza el ciclo invertido de Bayton mejor conocido como el ciclo de refrigeración de gas.

Considere el ciclo de refrigeración de gas que se muestra en la imagen 12 los alrededores están a  $T_0$  y el espacio refrigerado se va a mantener a  $T_L$  el gas se comprime durante el proceso 1-2. El gas a presión y temperatura altas en el estado dos se enfría después a presión constante hasta  $T_0$  al rechazar calor hacia los alrededores. Esto es seguido por un proceso de expansión en una turbina durante el cual la temperatura del gas disminuye hasta  $T_4$  ¿es posible lograr el efecto de enfriamiento con una válvula de estrangulamiento en lugar de una turbina? por último el gas frío absorbe calor del espacio refrigerado hasta que su temperatura se eleva hasta  $T_1$  Todos los procesos recién descritos son



**Imagen 2.13: Ciclo de refrigeración y diagrama T-S**

Internamente reversibles y el ciclo ejecutado es el ciclo ideal de refrigeración de gas. En los ciclos reales R de refrigeración de gas, los procesos de compresión y expansión se desviarán de los isotrópicos y  $T_3$  será más alta que  $T_0$  o menor que el intercambiador de calor es infinitamente largo.

En un diagrama T-s del área bajo la curva del proceso 4-1 representa el calor removido del espacio refrigerado; el área encerrada 1-2-3-4-1 representa la entrada neta de trabajo. La relación de estas áreas es el COP para el ciclo que se expresa como

$$4) \text{COP}_R = \frac{q_L}{w_{\text{neto,entrada}}} = \frac{q_L}{w_{\text{compresor,entrada}} - w_{\text{turbina,salida}}}$$

Dónde:

$$q_L = h_1 - h_4$$

$$w_{\text{turbina,salida}} = h_3 - h_4$$

$$w_{\text{compresor,entrada}} = h_2 - h_1$$

El ciclo de refrigeración de gas se desvía del ciclo de Carnot invertido debido a que los procesos de transferencia de calor no son isotérmicos. De hecho la temperatura del gas varía de manera considerable durante el proceso de transferencia de calor. En consecuencia, los ciclos de refrigeración de gas tienen COP menores respecto de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor con relación al ciclo de Carnot invertido. Esto también se deduce del diagrama T-s como se muestra en la imagen 14. El ciclo de Carnot invertido consume una fracción del trabajo neto (área rectangular (1<sup>a</sup>3B) pero produce una cantidad mayor de refrigeración (Área triangular bajo B1).

A pesar de su bajo COP los ciclos de refrigeración de gas tienen dos características deseables incluyen componentes simples más ligeros (que los hacen adecuados para el enfriamiento de aviones) y pueden incorporar regeneración (por lo que son adecuados en la licuefacción de gases y en las aplicaciones criogénicas) un sistema de enfriamiento de avión que opera en un ciclo abierto se muestra en la siguiente figura. El aire atmosférico se comprime por medio de un compresor se enfría

mediante el aire circulante y se expande en una turbina. El aire frío que sale de la turbina es dirigido después a la cabina.

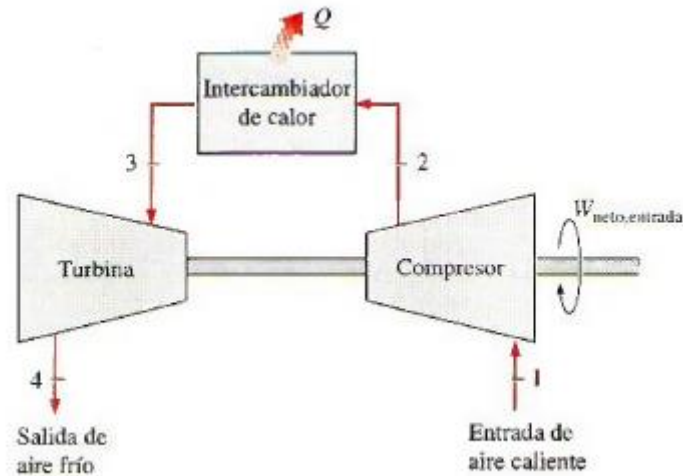


Imagen 2.14 : ciclos de refrigeración de gas

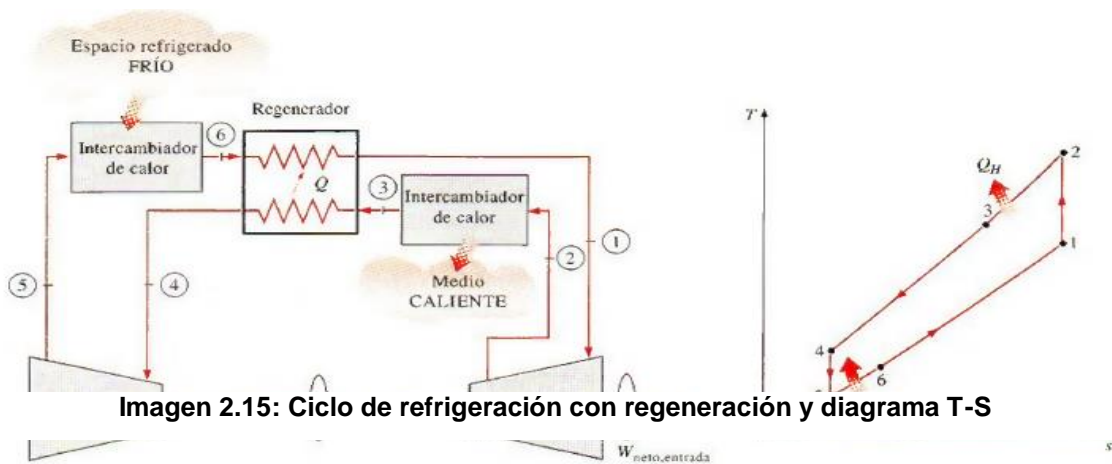
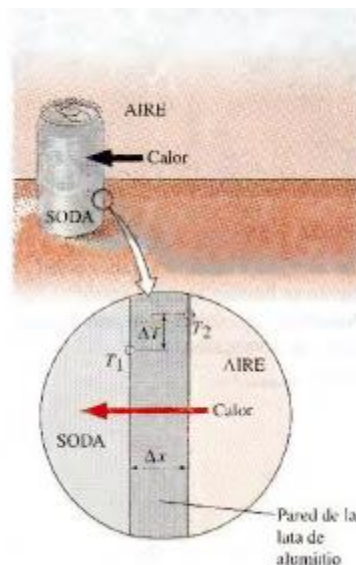


Imagen 2.15: Ciclo de refrigeración con regeneración y diagrama T-S

## 2.16 Aislantes térmicos

El calor se puede transferir de tres formas distintas; conducción, convección y radiación. A continuación se dará una descripción breve de cada uno de estos para familiarizar todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura y todos pasan del ámbito de alta temperatura a uno de menor temperatura.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos, o gases en estos últimos dos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas de una red y el transporte de energía mediante electrones libres. Por ejemplo una bebida enlatada fría que se halla en una habitación caliente alcanza por conducción la temperatura de la habitación como resultado de la transferencia de calor de esta a la bebida a través de la lata de aluminio.



Se observa que la tasa de conducción de calor  $Q_{cond}$  por una capa de espesor

**Imagen 2.16: bebida enlatada fría que se halla en una habitación caliente alcanza por conducción la temperatura de la habitación.**

constante  $dx$  es proporcional a la diferencia de temperatura  $dt$  en la capa del área  $A$

normal a la dirección de transferencia de calor mientras que inversamente proporcional al espesor de la capa por lo tanto

$$5) \dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (w)$$

Donde la constante de proporcionalidad  $K_p$  es la conductividad térmica del material la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor

**Tabla 10: conductividad térmica de algunos materiales**

Conductividades térmicas de algunos materiales en condiciones ambiente	
Material	Conductividad térmica W/m.k
Diamante	2300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio	8.54
Vidrio	1.4
Ladrillo	0.72
Agua	0.613
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio	0.152



Hule suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire	0.026
Uretano	0.026
Espuma rígida	

Materiales como el cobre y la plata que son buenos conductores eléctricos también lo son para el calor y por lo tanto tienen valores altos. El hule la madera y el poli estireno son malos conductores del calor y por consiguiente tienen valores bajos de  $k$ .

$$6) \dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (w)$$

A esta ecuación se le conoce como ley de Fourier de conducción de calor e indica que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando la temperatura disminuye con  $x$  creciente. Por consiguiente se agrega un signo negativo

en la ecuación anterior para hacer de la transferencia de calor en la dirección positiva una cantidad positiva.

La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. En un líquido o gas esta energía se debe al movimiento aleatorio de sus moléculas así como a sus movimientos de vibración y rotación. Cuando colisionan dos moléculas que poseen energías cinéticas distintas parte de esta energía proveniente de la molécula más energética (mayor temperatura) se transfiere a la de menor energía (menor temperatura) de forma muy similar a cuando colisionan dos bolas elásticas de igual masa a diferentes velocidades parte de energía cinética de la bola más rápida se transfiere a la más lenta.

En los sólidos la conducción de calor se debe a dos efectos : alas ondas vibratorias de la red inducidas por los movimientos vibratorios de las moléculas situadas de una posición relativamente deja en una forma periódica llamada red cristalina y a la energía transportada a través del flujo libre de electrones en el sólido. La conductividad térmica de un sólido se obtiene al sumar las componentes de la red y electrónicos. La conductividad térmica de los metales puros de debe sobre todo al componente de la red y electrónicos. La conductividad térmica de los metales puros se debe sobre todo al componente electrónico mientras que la de los no metales se debe más que nada al componente de la red cristalina. El componente de la red cristalina de la conductividad térmica depende en gran medida de la frontera en que están dispuestas las moléculas por ejemplo la de un sólido cristalino altamente ordenado como el diamante es mucho mayor que la de metales puros.

## 2.17 Calores específicos de gases, líquidos y solidos

En el análisis de los sistemas que comprenden el flujo de fluidos, con frecuencia se encuentra la combinación de las propiedades  $u$  y  $P_v$ . En beneficio de la sencillez y por conveniencia, a esta combinación se le define como **entalpía**  $h$ . Es decir  $h = u + P_v$ , en donde el término  $P_v$  representa la energía de flujo del fluido (también llamada trabajo de flujo), que es la energía necesaria para empujar un fluido y mantener el flujo. En el análisis de la energía de los fluidos que fluyen, es conveniente tratar la

energía de flujo como parte de la energía de fluido y representarla la energía microscópica de un flujo de un fluido por la energía  $h$ .

Como se muestra en la imagen



Imagen 2.17 : La energía interna  $u$  representa la energía microscópica de un fluido que no está fluyendo, en tanto que la entalpía  $h$  representa la energía microscópica de un fluido.

Por otro lado un gas ideal se define como un gas que obedece la relación

$$7) P_v = RT \text{ o bien, } P = \rho RT$$

En donde  $P$  es la presión absoluta,  $v$  es el volumen específico,  $T$  es la temperatura termodinámica (o absoluta),  $\rho$  es la densidad y  $R$  es la constante de gas. En forma experimental, se ha observado que la relación antes dada del gas ideal proporciona una aproximación muy cercana al comportamiento T-v-T de los gases reales, a bajas densidades. A presiones bajas y temperaturas elevadas, la densidad de un gas disminuye y este se comporta como un gas ideal en el rango de interés práctico, muchos gases comunes, como el aire, el nitrógeno, el oxígeno, el helio, el argón, el neón y el criptón, e incluso gases más pesados como el bióxido de carbono, pueden tratarse como gases ideales, con error despreciable (con frecuencia menor a 1%). No obstante, los gases densos, como el vapor de agua en las plantas termoeléctricas y

el vapor del refrigerante en los refrigeradores, no siempre deben tratarse como gases ideales ya que suelen existir en un estado cercano a la saturación.

Así también el calor específico se define como *la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.*



**Imagen 2.18:** El calor específico es la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado, de una manera específica.

En general, esta energía depende de la manera en que ejecute el proceso. Suele tenerse interés en dos tipos de calores específicos a volumen constante  $c_v$  y el calor específico a calor constante  $c_p$ . El calor específico a volumen constante  $c_v$ , se puede concebir como la energía requerida para elevar a un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia mientras el volumen se mantiene constante la energía requerida para hacer lo mismo cuando la presión se mantiene constante es el **calor específico a calor constante**,  $c_p$ , el calor específico a presión constante,  $c_p$ , es mayor que  $c_v$  porque, en esta condición, se permite que el sistema se expanda y porque la energía para este trabajo de expansión también debe suministrarse al sistema. Para los gases ideales, estos calores específicos están relacionados entre sí por

$$8) \quad c_p = c_v + R.$$

Una unidad común para los calores específicos es el  $Kj/Kg \cdot ^\circ C$  ó  $Kj/Kg \cdot K$ . Advierte que estas dos unidades son idénticas ya que  $\Delta T(^{\circ}C) = \Delta T(K)$ , y un cambio de un grado centígrado en la temperatura es equivalente a un cambio de 1 K.

$$1 \text{ Kj/Kg} \cdot ^\circ C \equiv 1 \text{ J/g} \cdot ^\circ C \equiv 1 \text{ Kj/Kg} \cdot K \equiv 1 \text{ J/g} \cdot K$$

En general los calores específicos de una sustancia dependen de dos propiedades independientes, como la temperatura y la presión. Sin embargo para un gas ideal solo dependen de la temperatura. A bajas presiones todos los gases se aproximan al comportamiento del gas ideal y por lo tanto sus calores específicos solo dependen de la temperatura. Los cambios diferenciales en la energía  $u$  y la entalpía  $h$  de un gas ideal se puede expresar en términos de los calores específicos como

$$9) \quad du = c_v dT \quad \text{y} \quad dh = c_p dT$$

Los cambios finitimos de la energía interna y la entalpía de un gas ideal durante un proceso se pueden expresar aproximadamente usando valores de los calores específicos a la temperatura promedio, como

$$10) \quad \Delta u = c_{v,prom} \Delta T \quad \text{y} \quad \Delta h = c_{p,prom} \Delta T \quad (\text{J/g})$$

O bien

$$11) \quad \Delta U = m c_{v,prom} \Delta T \quad \text{y} \quad \Delta H = m c_{p,prom} \Delta T \quad (\text{J})$$

En donde  $m$  es la masa del sistema.

Una sustancia cuyo volumen específico (o densidad específica) no cambia con la temperatura o la presión se conoce como sustancia **incomprensible**. Los volúmenes específicos de los sólidos y los líquidos permanecen constantes durante un proceso y, por lo tanto se pueden aproximar como sustancias incompresibles sin mucho sacrificio en la exactitud.

Los calores específicos a volumen constante y a presión constante son idénticos para las sustancias incompresibles.

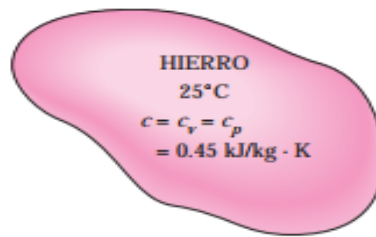


Imagen 2.19: los valores de  $c_v$  y  $c_p$  de las sustancias incompresibles son idénticos y se denota por  $c$ .

Por lo tanto para los sólidos y líquidos, se puede quitar los subíndices en  $c_p \cong c_v \cong c$ . También se pudo deducir este resultado a partir de las definiciones físicas de calor específico a volumen constante y a presión constante.

Los calores específicos de las sustancias incompresibles sólo dependen de la temperatura. Por lo tanto, el cambio en la energía interna de sólidos y líquidos se puede expresar como:

$$12)\Delta U = mc_{prom}\Delta T \quad (\text{J})$$

Donde  $c_{prom}$  es el calor específico promedio evaluado a la temperatura promedio.

## 2.18 Transferencia de la energía

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde ésta, por dos mecanismos: Calor  $Q$  y trabajo  $W$ . Una interacción energética es transferencia de calor si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura. De lo contrario es trabajo. El trabajo realizado *por unidad de tiempo* se llama **potencia** y se denota por  $w$ . La unidad de potencia es el  $w$  o el  $hp$  ( $1 \text{ hp}=746w$ ).

Llamaremos la energía térmica calor y la transferencia térmica transferencia de calor. La cantidad de calor transferido durante el proceso se denota como  $Q$ . La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se denota por  $\dot{Q}$ . El punto arriba representa la derivada respecto al tiempo, o “por unidad de tiempo”. La velocidad de transferencia de calor,  $\dot{Q}$ , tiene la unidad de  $J/s$ , lo cual es equivalente a  $w$ .

Cuando se cuenta con la razón de transferencia de calor,  $\dot{Q}$ , entonces se puede determinar la cantidad total de transferencia de calor  $Q$  durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$  a partir de

$$13) Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (\text{J})$$

Siempre que se conozca la variación de  $\dot{Q}$  con el tiempo. Para caso especial de  $\dot{Q} = \text{cte}$ , la ecuación anterior se reduce a

$$14) Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{J})$$

La razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia se le llama **flujo de calor** y el flujo promedio de calor se expresa como

$$15) \dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$$

Donde  $A$  es el área de transferencia de calor. En unidades inglesas, la unidad de flujo de calor es  $\text{Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2$ . El flujo de calor puede variar con el tiempo así como la posición sobre una superficie.

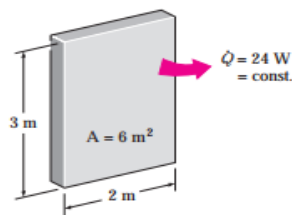


Imagen 2.20: el flujo de calor es la transferencia de calor por unidad de tiempo y por unidad de área, y es igual a  $\dot{q} = \dot{Q}/A$  cuando  $\dot{Q}$  es uniforme sobre el  $A$ .

## 2.19 PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

La **primera Ley de la termodinámica**, también conocida como **principio de conservación de la energía**, expresa que *el en curso de un proceso la energía no se*

puede crear ni destruir solo puede cambiar las formas. Por lo tanto toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue> *El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.*

$$\left( \begin{array}{l} \text{energía total} \\ \text{que entra en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{La energía total} \\ \text{que sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{Cambio en la} \\ \text{energía total} \\ \text{del sistema} \end{array} \right)$$

Dado que la energía se puede transferir así a un sistema, o así a fuera de este por medio de *calor, trabajo y flujo de masa*, y que la energía total de un sistema simple compresible consta de las energías interna, cinética y potencial, el **balance de energía** para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como

$$16) E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema} \quad (J)$$

Transferencia neta de energía por calor, trabajo y masa.

Cambio en las energías interna, cinética, potencial, etc.

O bien, en la forma de razones, como

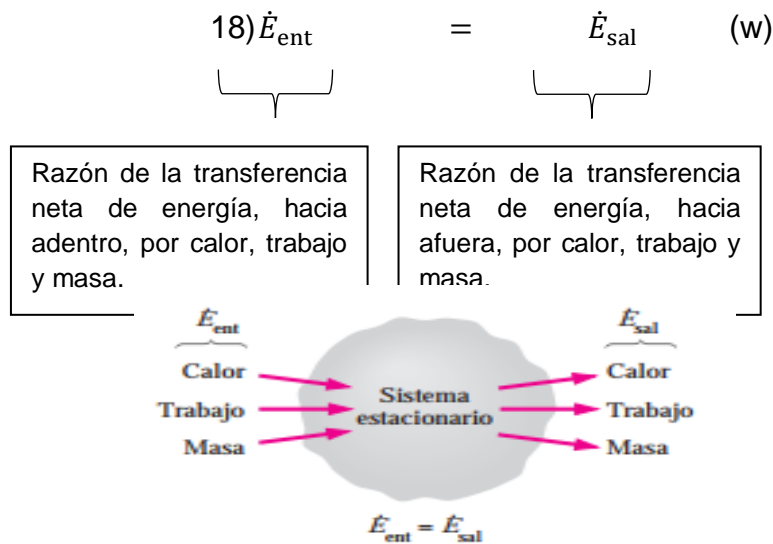
$$17) \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sal} = \Delta \dot{E}_{sistema}/dt \quad (w)$$

Razón de la transferencia neta de energía por calor, trabajo y masa.

Razón del cambio en las energías interna, cinética, potencial, etc.



La energía es una propiedad y el valor de una propiedad no cambia a menos que cambie el estado del sistema. Por lo tanto, el cambio en la energía de un sistema es cero ( $\Delta E_{sistema} = 0$ ); si el estado de este sistema no cambia durante el proceso, entonces el proceso es estacionario. En este caso, el balance de energía se reduce a (imagen )



En ausencia de **Imagen 20** En operación estacionaria, la razón de transferencia de energía hacia un sistema es igual a la razón de transferencia de energía hacia afuera de ese sistema. (cos, de movimiento, simples compresibles estacionarios), el ca durante un proceso es sencillamente el cambio en su *energía interna*; es decir,  $\Delta E_{sistema} = \Delta U_{sistema}$ .

En el análisis de la transferencia de calor, es usual tener interés únicamente en las formas de energía que se puede transferir como resultado de una diferencia de temperatura; es decir, el calor o energía térmica. En esos casos resulta conveniente escribir un **balance de calor** y tratar la conversión de las energías nucleares, químicas, mecánicas y eléctricas hacia energía térmica como generación de calor. En este caso, el *balance de energía* se puede expresar como

$$19) Q_{ent} - Q_{sal} + E_{gen} = \Delta E_{t\acute{e}rmica, sistema} \quad (J)$$

Transferencia neta de calor	Generación de calor	Cambio de la energía térmica del sistema
--------------------------------	------------------------	---

## 2.20 Balance de energía para sistemas cerrados (masa fija)

Un sistema cerrado consta de una *masa fija*. La energía total  $E$  para la mayor parte de los sistemas que se encuentran en la práctica consiste en la energía interna  $U$ . Este es en especial el caso para los sistemas estacionarios, ya que no comprenden cambios en la velocidad o elevación durante el proceso. Es ese caso, la relación del balance de energía se reduce a

$$20) \text{Sistema cerrado estacionario: } E_{ent} - E_{sal} = \Delta U = mc_v \Delta T \quad (J)$$

Donde se expresa el cambio en la energía interna en términos de la masa  $m$ , en el calor específico a volumen constante  $c_v$ , y el cambio de la temperatura,  $\Delta T$ , del sistema; cuando el sistema solo comprende transferencia de calor y ninguna interacción de trabajo cruza su frontera, la relación del balance de energía se reduce todavía más hasta

$$21) \text{Sistema cerrado estacionario, sin trabajo: } Q = mc_v \Delta T \quad (J)$$

Donde  $Q$  es la cantidad neta de la transferencia de calor que entra o sale del sistema. La anterior es la forma de la relación del balance de energía que se usara con más frecuencia que se tratara con una masa fija.

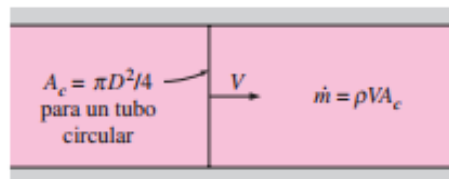
## 2.21 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario

Un gran número de aparatos de ingeniería, como los calentadores de agua y los radiadores de los automóviles, implica flujo de masa, hacia adentro y hacia afuera de un sistema, y se consideran como *volúmenes de control*. La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación. El término *estacionario* significa *ningún cambio con el tiempo* en una ubicación específica. Lo opuesto a estacionario es *no estacionario* o *transitorio*. Asimismo, el término *uniforme* implica *ningún cambio en la posición* en toda una superficie o región en un tiempo específico. Estos significados son coherentes en su uso cotidiano [novia establece (estacionario), distribución uniforme, etc.]. El contenido total de energía de un volumen de control durante un *proceso de flujo estacionario* permanece constante ( $E_{VC} = \text{constante}$ ). Es decir, el cambio de energía total de volumen de control de un proceso de este tipo es cero ( $\Delta E_{VC} = 0$ ). Por lo tanto, la cantidad de energía que entra en un volumen de control en todas las formas (calor, trabajo, transferencia de masa) para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato de flujo, por unidad de tiempo, se llama **gasto de masa** o razón de transferencia de masa y se denomina  $\dot{m}$ . Un fluido puede fluir hacia adentro o hacia afuera de un volumen de control a través de tubos o conductos. El gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto es proporcional al área de la sección transversal  $A_c$  de ese tubo o ducto, la densidad  $\rho$  y la velocidad  $V$  del fluido. El gasto de masa a través de un área diferencial  $dA_c$  se puede expresar como  $\delta\dot{m} = \rho V_n dA_c$ , donde  $V_n$  es la componente de la velocidad perpendicular a  $dA_c$ . El gasto de masa a través de toda el área de la sección transversal se obtiene por integración sobre  $A_c$ .

A menudo se puede considerar, en forma aproximada, que el flujo de un fluido por un tubo o ducto es *unidimensional*. Es decir, se puede suponer que las propiedades varían sólo en una dirección (la del flujo). Como resultado, se supone que todas las propiedades son uniformes en la sección transversal perpendicular a la dirección del flujo y también se supone que las propiedades tienen *valores promedio en masa* sobre toda la sección transversal. En la aproximación de flujo unidimensional, el gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto se puede expresar como (imagen 21).

$$22) \dot{m} = \rho V A_c \quad (\text{Kg/s})$$



**Imagen 2.21:** El gasto de masa de un fluido en una sección transversal es igual al producto de la densidad de ese fluido, la velocidad promedio del mismo y el área de la sección transversal.

donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $V$  es la velocidad promedio del mismo en la dirección del flujo y  $A_c$  es el área de la sección transversal del tubo o ducto.

El volumen de un fluido que fluye por un tubo o ducto por unidad de tiempo se llama **gasto volumétrico**  $\dot{V}$  y se expresa como

$$23) \dot{V} = V A_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Note que el gasto de masa de un fluido por un tubo o ducto permanece constante durante el flujo estacionario. Sin embargo, éste no es el caso para el gasto volumétrico, a menos que la densidad del fluido permanezca constante. Para un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida, la velocidad del flujo de masa hacia adentro del volumen de control debe ser igual a la velocidad del flujo de masa hacia afuera de él; es decir,  $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$ . Cuando los cambios en las energías cinética y potencial son despreciables, que es el caso más común, y no se

tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario se reduce a

$$24) \dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}c_p\Delta T \quad (\text{KJ/s})$$

Donde  $\dot{Q}$  es la razón de la transferencia neta de calor hacia adentro o hacia afuera del volumen de control. La anterior es la forma de relación de balance de energía que se usará con la mayor frecuencia para los sistemas de flujo estacionario.

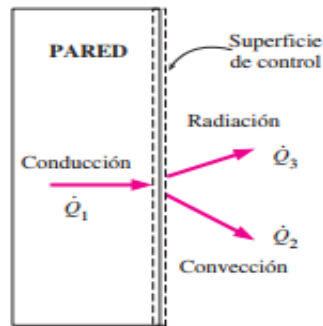
## 2.22 Balance de energía en la superficie

El calor se transfiere por los mecanismos de conducción, convección y radiación y, a menudo, el calor cambia de vehículos a medida que se transfiere de un medio a otro. Por ejemplo, el calor conducido hasta la superficie exterior de la pared de una casa en invierno es transferido por convección, por el aire frío del exterior, conforme es irradiado hacia los alrededores fríos. En esos casos puede ser necesario seguir el rastro de las interacciones energéticas en la superficie y esto se hace aplicando el principio de conservación de la energía a la superficie. Una superficie no contiene volumen ni masa y, por tanto, tampoco energía. Por lo mismo, una superficie se puede concebir como un sistema ficticio cuyo contenido de energía permanece constante durante un proceso (precisamente como un sistema de estado estacionario o de flujo estacionario). Entonces el balance de energía para una superficie se puede expresar como

$$25) \text{Balance de energía en la superficie: } \dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal}$$

Esta relación es válida tanto para condiciones estacionarias como transitorias y el balance de energía en la superficie no comprende generación de calor puesto que una superficie no tiene volumen. En la imagen 22. El balance de energía para la superficie exterior, por ejemplo, se puede expresar como:

$$26) \quad \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$



**Imagen 2.22:** Interacciones energéticas en la superficie exterior en la pared de una casa.

donde  $\dot{Q}_1$  es la conducción a través de la pared hasta la superficie,  $\dot{Q}_2$  es la convección de calor de la superficie hacia el aire del exterior y  $\dot{Q}_3$  es la radiación neta de la superficie hacia los alrededores. Cuando no se conocen las direcciones de las interacciones, se puede suponer que todas se dirigen hacia la superficie y el balance de energía en la superficie se puede expresar como  $\sum \dot{E}_{ent} = 0$ . Las interacciones en la dirección opuesta finalizarán con valores negativos balanceando esta ecuación.

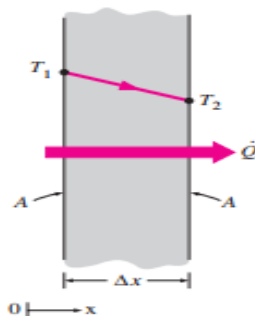
## 2.23 CONDUCCIÓN

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las *colisiones* y a la *difusión* de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las *vibraciones* de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los *electrones libres*. La *rapidez* o *razón* de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración *geométrica* de éste, su *espesor* y el *material* de que esté hecho, así como de la *diferencia de temperatura* a través de él. Se sabe que al envolver un tanque de agua caliente con fibra de vidrio (un material aislante) se reduce la razón de la pérdida de calor de ese tanque. Entre más grueso

sea el aislamiento, menor será la pérdida de calor. También se conoce que un tanque de agua caliente perderá calor a mayor rapidez cuando se baja la temperatura del cuarto en donde se aloja. Además, entre más grande sea el tanque, mayor será el área superficial y, por consiguiente, la razón de la pérdida de calor. Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor  $\Delta x = L$  y área  $A$ , como se muestra en la Imagen 23. La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Los experimentos han demostrado que la razón de la transferencia de calor,  $\dot{Q}$  a través de la pared se *duplica* cuando se duplica la diferencia de temperatura  $\Delta T$  de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área  $A$  perpendicular a la dirección de la transferencia de calor; pero se *reduce a la mitad* cuando se duplica el espesor  $L$  de la pared. Por tanto, se concluye que *la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,*

$$27) \text{Razon de conducción de calor } \propto \frac{(\text{Area})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien,



**Imagen 2.23: Conducción de calor a través de una pared plana gran de espeso  $\Delta x$  y área  $A$**

$$28) \dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (w)$$

Donde la constante de proporcionalidad  $k$  es la conductividad térmica del material, que es una *medida de la capacidad de un material para conducir calor* (imagen 24). En el caso límite de  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial.

$$29) \dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{w})$$

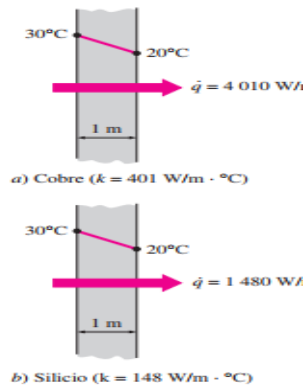
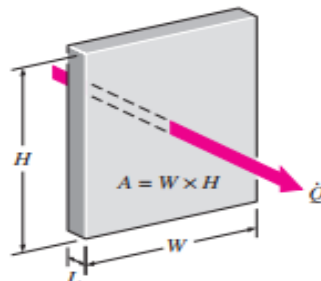


Imagen 2.24: La razón de conducción del calor a través de un sólido es directamente proporcional a su conductividad térmica.

La cual se llama **ley de Fourier de la conducción del calor**, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822. Aquí,  $\frac{dT}{dx}$  es el **gradiente de temperatura**, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama  $T - x$  (la razón de cambio de  $T$  con respecto a  $x$ ), en la ubicación  $x$ . La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer  $x$ . El *signo negativo* en la ecuación. 30) ( $\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx}$ ) garantiza que la transferencia de calor en la dirección  $x$  positiva sea una cantidad positiva.

El área  $A$  de transferencia de calor siempre es *normal* (o perpendicular) a la dirección de esa transferencia. Por ejemplo, para la pérdida de calor a través de una pared de





5 m de largo, 3 m de alto y 25 cm de espesor, el área de transferencia de calor es  $A = 15 \text{ m}^2$ . Note que el espesor de la pared no tiene efecto sobre  $A$  (Imagen 25).

## 2.24 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La **conductividad térmica** de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. Imagen 2.25: En el análisis de la conducción de calor,  $A$  representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad de conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante.

La temperatura es una medida de las energías cinéticas de las partículas, como las moléculas o los átomos de una sustancia. En un líquido o gas, la energía cinética de las moléculas se debe a su movimiento aleatorio de traslación, así como a sus movimientos de vibración y rotación. Cuando chocan dos moléculas que poseen energías cinéticas diferentes, parte de la energía cinética de la molécula más energética (la de temperatura más elevada) se transfiere a la menos energética (la de temperatura más baja). Entre más alta es la temperatura, más rápido se mueven las moléculas, mayor es el número de las colisiones y mejor es la transferencia de calor.

La *teoría cinética* de los gases predice, y los experimentos lo confirman, que la conductividad térmica de los gases es proporcional a la *raíz cuadrada de la temperatura termodinámica  $T$*  e inversamente proporcional a la *raíz cuadrada de la masa molar  $M$* . Por lo tanto, la conductividad térmica de un gas crece al aumentar la temperatura y al disminuir la masa molar. Se pueden usar a presiones diferentes de 1 atm, ya que la conductividad térmica de los gases es independiente de la presión en un amplio rango de presiones encontradas en la práctica.

El mecanismo de conducción del calor en un líquido se complica por el hecho de que las moléculas están más cercanas entre sí y ejercen un campo de fuerzas intermoleculares más intenso. Las conductividades térmicas de los *líquidos* suelen encontrarse entre las de los sólidos y las de los gases. Normalmente, la conductividad térmica de una sustancia alcanza su valor máximo en la fase sólida y el mínimo en la fase gaseosa. En los *sólidos* la conducción del calor se debe a dos efectos: las *ondas reticulares de vibración* inducidas por los movimientos de vibración de las moléculas, colocadas en posiciones más o menos fijas de una manera periódica conocida como red cristalina, y la energía transportada por medio del flujo libre de electrones en el sólido. La conductividad térmica de un sólido se obtiene al sumar la componente reticular y la electrónica. Las conductividades térmicas más o menos elevadas de los metales puros se deben principalmente a la componente electrónica. La componente reticular de la conductividad térmica depende con intensidad de la manera en que las moléculas están dispuestas.

La dependencia con respecto a la temperatura de la conductividad térmica causa complejidad considerable en el análisis de la conducción. Por lo tanto, es práctica común evaluar la conductividad térmica  $K$  a la *temperatura promedio* y tratarla como *constante* en los cálculos. En el análisis de la transferencia de calor normalmente se supone que un material es isotrópico. Excepto para aquellos que exhiben características estructurales diferentes en direcciones diferentes, como los materiales compuestos laminados y la madera.

## 2.25 DIFUSIVIDAD TÉRMICA

El producto  $\rho c_p$ , que se encuentra con frecuencia en el análisis de la transferencia de calor, se llama **capacidad calorífica** de un material. Tanto el calor específico  $c_p$  como la capacidad calorífica  $\rho c_p$  representan la capacidad de almacenamiento de calor de un material. Pero  $c_p$  la expresa por unidad de masa, en tanto que  $\rho c_p$  la expresa por unidad de volumen, como se puede advertir a partir de sus unidades  $J/Kg \cdot ^\circ C$  y  $J/m^3 \cdot ^\circ C$ , respectivamente.

En el análisis de la conducción del calor en régimen transitorio es la **difusividad térmica**, la cual representa cuán rápido se difunde el calor por un material y se define como

$$31) \alpha = \frac{\text{Calor producido}}{\text{Calor almacenado}} = \frac{K}{\rho c_p} \quad (m^2/s)$$

La conductividad térmica  $k$  representa lo bien que un material conduce el calor y la capacidad calorífica  $\rho c_p$  representa cuánta energía almacena un material por unidad de volumen. Por lo tanto, la difusividad térmica de un material se puede concebir como la razón entre el calor conducido a través del material y el calor almacenado por unidad de volumen.

## 2.26 CONVECCIÓN

La **convección** es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la *conducción* y el *movimiento de fluidos*. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

La convección recibe el nombre de **convección forzada** si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es **convección natural** (o **libre**) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido

Los procesos de transferencia de calor que comprenden *cambio de fase* de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la *transferencia de calor por convección* es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la **ley de Newton del enfriamiento** como

$$32) \dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (W)$$

en donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  o  $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$ ,  $A_s$  es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_\infty$  es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

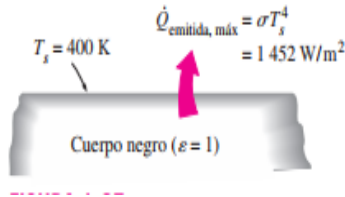
## 2.27 RADIACIÓN

La **radiación** es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en  $K$  o  $R$ ) es expresada por la **ley de Stefan-Boltzmann** como

$$33) \dot{Q}_{emitida,máx} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

Donde  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ , o bien,  $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$  es la constante de *Stefan-Boltzmann*. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama **cuerpo negro** y la radiación emitida por éste es la **radiación del cuerpo negro** (figura).



**Imagen 2.26:** La radiación del cuerpo negro representa la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura específica.

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$34) \dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

En donde  $\varepsilon$  es la **emisividad** de la superficie. La **emisividad** cuyo valor está en el intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ . En la tabla, se dan las emisividades de algunas superficies.

**Tabla 2.11:** Emisividades de algunos materiales a 300 K.

Emisividades de algunos materiales a 300 K	
Materiales	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03

Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura Negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

Otra importante propiedad relativa a la radiación de una superficie es su **absortividad**  $\alpha$ , la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Como la emisividad, su valor está en el intervalo  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él. Es decir, un cuerpo negro es un absorbente perfecto ( $\alpha = 1$ ) del mismo modo que es un emisor perfecto.

La razón a la cual una superficie absorbe la radiación se determina a partir de la ecuación y figura.

$$35) \dot{Q}_{absorvida} = \alpha \dot{Q}_{incidente} \quad (W)$$

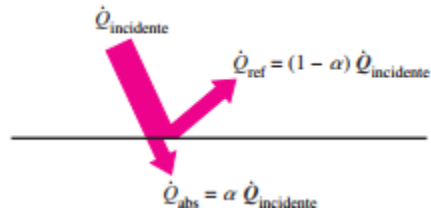


Imagen 2.27: Absorción de la radiación incidente sobre una superficie opaca de absortividad  $\alpha$ .

Donde  $\dot{Q}$  incidente es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y  $\alpha$  es la absortividad de la superficie.

La diferencia entre las razones de la radiación emitida por la superficie y la radiación absorbida es la transferencia *net*a de calor por radiación. Si la razón de absorción de la radiación es mayor que la de emisión, se dice que la superficie está *ganando* energía por radiación. De lo contrario, se dice que la superficie está *perdiendo* energía por radiación.

Cuando una superficie de emisividad  $\varepsilon$  y área superficial  $A_s$ , a una *temperatura termodinámica*  $T_s$ , está por completo encerrada por una superficie mucho más grande (o negra), a una temperatura termodinámica  $T_{alred}$ , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por. Figura

$$36) \dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (W)$$

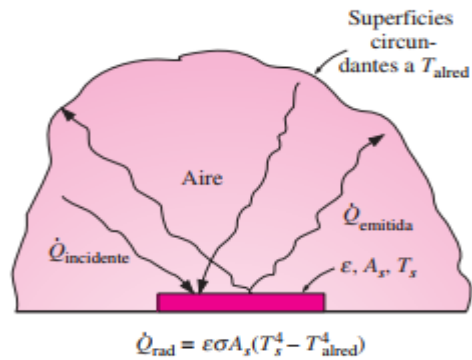


Imagen 2.28: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan. En este caso especial de la superficie circundante no tienen efecto sobre la transferencia total de calor por radiación.

La transferencia de calor por radiación hacia una superficie, o desde ésta, rodeada por un gas como el aire, ocurre *paralela* a la conducción (o convección, si se tiene un movimiento masivo del gas) entre esa superficie y el gas. Por tanto, la transferencia total de calor se determina al *sumar* las contribuciones de los dos mecanismos de transferencia. Por sencillez y conveniencia esto se lleva a cabo con frecuencia mediante la definición de un **coeficiente combinado de transferencia de calor**,  $h_{combinado}$ , que incluye los efectos tanto de la convección como de la radiación. Entonces, la razón *total* de transferencia de calor hacia una superficie, o desde ésta, por convección y radiación se expresa como

$$37) \dot{Q}_{total} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (W)$$



# **Capítulo 3**

# **CALCULOS**

**Introducción**

En el capítulo siguiente analizaremos los cálculos que intervienen dentro de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor así como la transferencia de calor que existe en un sistema refrigerado cabe destacar que se analizará el ciclo por compresión de vapor real, por otra parte no es un hecho que los cálculos aquí efectuados son exactos, ya que dependerá del tipo de refrigerante a usar y la colocación del sistema refrigerado para este caso usaremos un refrigerante 134<sup>a</sup> y la temperatura que se aporta depende en un porcentaje del lugar establecido.

En algunos casos se supondrán valores de acuerdo a las tablas que existen ya analizadas anteriormente por científicos y expertos.

### **Ejemplo de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor**

Al compresor de un refrigerador entra refrigerante 134a como vapor sobrecalentado a 0.14 Mega Pascales y  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una tasa de 0.05 kg/s, y sale a 0.8 Mega Pascales y  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El refrigerante se enfría en el condensador a  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 0.72 Mega Pascales, y se estrangula a 0.14 Mega pascales. Descarte toda posibilidad de transferencia de calor y caída de presión en las líneas de conexión entre los componentes, y determine

- a) la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor,
- b) la eficiencia isentrópica del compresor
- c) el coeficiente de desempeño del refrigerador.

OPTAMOS POR DAR SOLUCION AL PROBLEMA DE TAL FORMA;

Examinamos un refrigerador o un sistema de refrigeración que opera en un ciclo por compresión de vapor por lo tanto se determinarán la tasa de refrigeración, la entrada de potencia, la eficiencia del compresor y el cop.

**NOTA: LOS VALORES AQUÍ DADOS SON SACADOS DE LA TABLA QUE SE UBICA EN ANEXOS**

$$P_1=0.14\text{MPa} \left. \vphantom{P_1} \right\} h_1=246.36\text{KJ/Kg}$$

$$T_1 = -10^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 0.8 \text{ MPa} \\ T_2 = 50^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_2 = 286.69 \text{ KJ/Kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 0.72 \text{ MPa} \\ T_3 = 26^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_3 = h_{f \text{ A } 26^\circ\text{C}} = 87.83 \text{ KJ/Kg} \quad h_4 = h_3 \text{ ESTRANGULAMIENTO}$$

Por lo tanto realizando el inciso a) con los datos obtenidos de la tabla del anexo refrigerante 134<sup>a</sup>

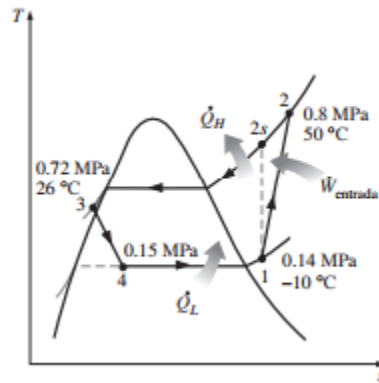


Imagen 3.1: diagrama T-s para el ejemplo

- (a) La tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor se determinan por sus definiciones:

$$Q_L = \dot{m} (h_1 - h_4) = 0.05 \text{ kg/s} [(246.36 - 87.83) \text{ kJ/kg}] = 7.93 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{entrada}} = \dot{m} (h_2 - h_1) = \left( 0.05 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \left[ \frac{(286.69 - 246.36) \text{ kJ}}{\text{kg}} \right] = 2.02 \text{ kW}$$

Por lo tanto ahora tenemos que obtener la eficiencia isentropica del compresor y lo obtenemos de la siguiente forma

$$n_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Donde la entalpía en el estado 2s ( $P_{2s} = 0.8 \text{ MPa}$  y  $s_{2s} = s_1 = 0.9724 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ) es  $284.21 \text{ kJ/kg}$ . Por lo tanto,

$$n_c = \frac{284.21 - 246.36}{286.69 - 246.36} = 0,939 \text{ ó } 93.9\%$$

El coeficiente de desempeño del refrigerador esta dado como:

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{entrada}} = \frac{7.93 \text{ KW}}{2.02 \text{ KW}} = 3.93$$

**Cabe destacar que el coeficiente desempeño del refrigerador es adimensional**

Por otra parte existen transferencias de calor que afectan a un sistema de refrigeración cuando está trabajando evitando la congelación, mal formaciones y otros elementos que no son adecuados para la creación de hielo por lo tanto se analizaran como el sol interviene o afecta a la cámara de refrigeración.

Una placa metálica delgada está aislada en la parte posterior y expuesta a la radiación solar en la superficie del frente La superficie expuesta de la placa tiene una asertividad de 0.6, para la radiación solar. Si la radiación solar incide sobre la placa a una rapidez de  $700 \text{ W/m}^2$  y la temperatura del aire circundante es de  $25^\circ\text{C}$ , determine la

temperatura de la superficie de la placa cuando la pérdida de calor por convección y radiación es igual a la energía absorbida por la propia placa. Suponga que el coeficiente combinado de transferencia de calor por convección y radiación es de  $50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Suponemos la placa frontal de nuestro sistema de refrigeración

Se supone que El lado posterior de la delgada placa metálica está aislado y el lado del frente está expuesto a la radiación solar. Suponiendo que la máquina de hielo cristalino esta en tal posición que el sol pega de frente por otro lado Se va a determinar la temperatura de la superficie de la placa cuando se estabiliza.

- La transferencia de calor a través del lado aislado de la placa es despreciable.
- El coeficiente de transferencia de calor permanece constante. Propiedades Se da la absorptividad solar de la placa como a 0.6.

La absorptividad solar de la placa es 0.6 y, por tanto, el 60% de la radiación solar incidente sobre la placa es absorbida de manera continua. Como resultado, la temperatura de la placa se elevará y aumentará la diferencia de temperatura entre ella y los alrededores. Esta diferencia creciente de temperatura causará que se incremente la razón de la pérdida de calor de la placa hacia los alrededores. En algún punto, la razón de la pérdida de calor de la placa

Será igual a la de la energía solar absorbida, y la temperatura de la placa ya no cambiará. La temperatura de la placa cuando se establece la operación estacionaria se determina a partir de

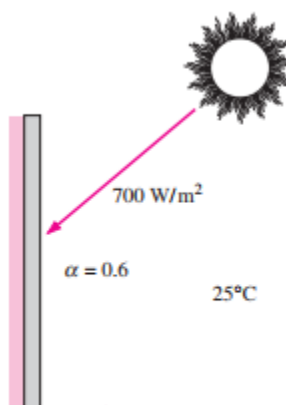


Imagen 3.2: para el siguiente ejemplo  
energía solar absorbida

$$\dot{E}_{ganada} = \dot{E}_{perdida} \quad \text{o de otra manera} \quad \alpha A_s \dot{q}_{incidente,solar} = h_{combinado} A_s (T_s - T_\infty)$$

Por lo tanto despejando  $T_s$  y sustituyendo en la formula.

Queda por lo tanto

$$T_s = T_\infty + \alpha \frac{\dot{q}_{incidente,solar}}{h_{combinado}} = 25^\circ\text{C} + \frac{0.6 \times 700 \text{ w/m}^2}{50 \text{ w/m}^2} = 33.4^\circ$$

Las pérdidas de calor impedirán que la temperatura de la placa se eleve por encima de 33.4°C. Asimismo, el coeficiente combinado de transferencia de calor considera los efectos tanto de convección como de radiación y, por tanto, es muy conveniente para usarse en los cálculos de transferencia de calor cuando se conoce su valor con razonable exactitud. De tal forma no es conveniente que un sistema de refrigeración este en contacto directo por el sol se sugiere mantener aislado el sistema y mantenerlo en una cámara refrigerada para aumentar la eficiencia del sistema.

**Nota:** Debido a que el proyecto es pionero en cuanto a construcción de hielo cristalino se omitieron varios cálculos como el tipo de tubería. Potencia del compresor, material que se utilizó, metros lineales de tubería, tipo de refrigerante a utilizar, entre otros, solamente se plasmó el resultado que se obtuvo debido a sugerencias de la empresa

# Capítulo 4.

## RESULTADOS LOGRADOS DE LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

### 4.1 Resultados

El objetivo general es diseñar y construir una maquina generadora de hielo cristalino. En cuanto al diseño y la construcción se llegó a cumplir este objetivo ya que se diseñó el equipo de refrigeración para poder construirla.

Para poder diseñar se dio a la tarea de buscar información de dispositivos que funcionaran con el mismo principio del prototipo a construir por otra parte las máquinas de refrigeración con las que se contaban en la empresa funcionan con el mismo principio de operación. Así que una vez planteadas las ideas y ecuaciones para poder diseñar nos dirigimos al taller a desmontar uno de los equipos que se encontraba fuera de operación para tener una idea técnica de como poder atacar el sistema de refrigeración.

En los capítulos anteriores se mencionan las partes principales por la cual se componen los sistemas de refrigeración así como los fundamentos teóricos, leyes físicas y químicas de los fenómenos en que se rigen cada una de las etapas del proceso de extracción de calor de un ciclo de refrigeración.

En esta sección se presentan los resultados de los objetivos planteados en el capítulo x. El objetivo general tiene como finalidad diseñar y construir una máquina que sea capaz de generar un bloque de hielo que tenga apariencia cristalina; a partir de la información recabada y las herramientas tanto técnicas como teóricas se obtuvo como resultado exitoso el diseño recomendado por los técnicos del área, la cual cumple con el requisito que establece la empresa en la que se destina el prototipo.

Como consiguiente de tener el diseño apropiado y adquisición de las partes del sistema que conforma el equipo, necesarias para el correcto funcionamiento se procedió a construir logrando con éxito la construcción del equipo previamente diseñada como se muestra en la imagen 4.





**Imagen 4.1: Sistema de refrigeración en etapa final.**

A su vez que dicho resultado cumple con el objetivo general que se había planteado en este reporte de residencia profesional.

Seguidamente de la construcción de la máquina, asegurando y verificando que cada uno de los dispositivos se encuentre en correcto funcionamiento con seguridad se prosiguió a la puesta en marcha para obtener el bloque de hielo cristalino según plantea el objetivo específico. Los resultados fueron éxitos logrando obtener el bloque de hielo cristalino como se muestra en la siguiente imagen 4.1 y 4.2.



**Imagen 4.2: Bloque de hielo cristalino vista lateral.**



**Imagen 4.3: Bloque de hielo cristalino vista frontal.**

Además la empresa puso en funcionamiento la máquina para comprobar si cumplía con las expectativas en la que se había establecido, dando como resultado una respuesta positiva, al mismo que se mostraban satisfechos con el trabajo que se realizó.

Se presenta en las siguientes imágenes un antes y después del equipo.

**Antes:**



**Imagen 4.4: Equipo de refrigeración durante la construcción.**



**Imagen 4.5: Equipo de refrigeración durante su elaboración.**

**Después:**



**Imagen 4.6: equipo de refrigeración en su etapa final tapa frontal.**



**Imagen 4.7: equipo de refrigeración en su etapa final tapas móviles superior y frontal.**

Como resultado final este prototipo se podrán en operación para poder brindar un nuevo producto al mercado local siendo la primera empresa en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez que cuenta con un sistema de refrigeración capaz de generar bloques de hielo con características cristalinas.

# **CAPITULO 5**

## **Recomendaciones y conclusión**

## 5.1 Recomendaciones

Verificar que los serpentines estén en contacto con la superficie en donde se desea extraer el calor, para lograr una congelación uniforme.

En la construcción procurar que las puertas de la cámara de refrigeración se encuentren de tal modo que no exista transferencia de calor en forma de convección para evitar la ganancia de calor de su entorno.

Usar el refrigerante adecuado para evitar deformaciones en el bloque de hielo.

Usar el compresor adecuado de tal forma que se evite forzar el motor en caso de que el sistema no sea el adecuado.

De preferencia usar poliuretano como material aislante en las paredes de la cámara de refrigeración. No es recomendable usar poli estireno expandido.

Usar compresores industriales de compresores domésticos para mayor rendimiento.

De preferencia usar componentes del sistema de refrigeración nuevos para mayor eficiencia en el sistema.

Asignar un lugar con condiciones favorables para evitar transferencias de calor agresivas.

Crear un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, para prolongar la vida útil de la máquina.

Evitar usar el sistema en espacios abiertos para prevenir impurezas excesivas en el aire que pueda afectar el rendimiento del compresor a largo plazo.

Mantener las puertas de la cámara de refrigeración cerradas durante su funcionamiento.

Para el proceso de congelación del agua de preferencia usar agua osmopurificada para evitar posibles sedimentaciones de minerales en el bloque de hielo.

Contar con el equipo de seguridad apropiada para evitar accidentes durante la extracción del bloque de hielo.

Se recomienda que no se desconecte el equipo de la toma de corriente durante el proceso de congelación.

Sumergir las bombas dentro del agua para crear un movimiento suave y constante y evitar caídas de agua en forma de cascada.

## **5.2 Conclusión**

En los últimos años la refrigeración he tenido gran auge en cualquier parte del mundo ya que debido al gran campo laboral que este ha generado se ha observado el gran número de aplicaciones en diferentes sectores industrias, así como la alimenticia, la automotriz y también en campos de la medicina entre otras ramas de la ciencia. Hablar de refrigeración no es un término sencillo mucho menos práctico, hace referencia a un gran número de componentes físicos y cuestiones técnicas. Se puede afirmar que para logran un nuevo diseño eficaz y contundente se debe llevar a la práctica muchas pruebas y mejoras para alcanzar el objetivo que se desea. Cabe destacar que para una maquina llegue a la perfección se necesitan de muchos años de mejora continua siendo este el primer paso y además el principio de una sistema de refrigeración para crear hielo cristalino, se debe de tener en cuenta que las pruebas que se han realizado fueron pioneras y sin información precedente de además se debe tomar en cuenta que no obtuvimos ninguna aportación de alguna empresa o que se dedique a la fábrica de bloques de hielo cristalinos, existen muchas aportaciones pero ninguna aterriza como tal en la fabricación de un sistema para la creación de bloques de hielo cristalino.

# **ANEXOS**



Antes de cambiar cualquier componente del sistema de refrigeración, el buen profesional de refrigeración realiza un diagnóstico completo, a fin de identificar la causa real del problema. Presentamos a seguir una Tabla con las fallas más frecuentes de un sistema de refrigeración y sus posibles causas. Para cada problema presentado, usted encontrará las posibles causas señaladas con un (•).

Los problemas están relacionados en la parte superior de la Tabla. Acompañe las flechas indicativas y encontrará un (•) en cada una de las posibles causas. En la misma línea de cada una de esas causas usted encontrará el número del ítem relativo a la providencia necesaria a ser tomada para sanar el defecto. Busque en el Manual el ítem correspondiente a dicha providencia y buen trabajo.

**Ejemplo: PROBLEMA El refrigerador refrigera mucho. (1ª columna de la Tabla de los Principales Problemas del Refrigerador –**

Parte 1).

POSIBLE CAUSA Conexión equivocada en la caja de conexiones (primer (•) en la 1ª columna).

PROVIDENCIAS Item 2.2. Al buscar ese ítem en el Manual usted encontrará: Verifique las conexiones con auxilio del esquema eléctrico del refrigerador. Si las conexiones estuvieran correctas, vuelva a la Tabla y encontrará en la 1ª columna otro

(•). Esa será otra posible causa del problema: Termostato no desconecta. En la misma línea usted encontrará la providencia a tomar (ítem 4.3). Busque en el Manual ese ítem y allí estará la providencia a ser tomada: Verifique si el bulbo del termostato fue fijado correctamente. Gire el botón del termostato para el punto mínimo (menos frío) y verifique si el compresor se desconecta. Si el problema continúa, sustituya el termostato. Si fuer preciso, usted encontrará todavía otras posibles causas para el problema, siempre con las providencias necesarias a ser tomadas. Pruebe. Usted verá que es mucho más fácil de lo que parece. IV Manual de Aplicación de Compresores 13 Tabla de los Principales Problemas del Refrigerador



Tabla A2: Principales problemas del refrigerador parte 2.

REFRIGERA MUCHO		REFRIGERA POCO		CHOQUE ELÉCTRICO		RUIDOS		SUDOR EXTERNO EN EL GABINETE		SUDOR INTERNO EN EL GABINETE		ALTO CONSUMO DE ENERGÍA		NO FUNCIONA. COMPRESOR NO ARRANCA/PROTECTOR TÉRMICO NO ACTÚA		NO FUNCIONA. COMPRESOR NO ARRANCA/PROTECTOR TÉRMICO ACTÚA		NO FUNCIONA. COMPRESOR ARRANCA/PROTECTOR TÉRMICO ACTÚA								
																			PROVIDENCIAS VER ÍTEM DEL CAP. IV							
																			POSIBLES CAUSAS - ORIGEN MECANICA							
																					●	Condensador mal instalado - tubos metálicos en contacto	8.1			
																					●	●	Obstrucción parcial de la tubería	8.2		
																					●		Obstrucción del tubo capilar por humedad	8.3		
																					●	●	●	Condensador sucio/cubierto o con falta de circulación de aire	8.4	
																					●			Nivelación incorrecta del refrigerador o de la base del compresor	9.1	
																					●			Ruidos provocados por otros componentes	9.2	
																					●			Compresor en contacto con la pared o el gabinete	9.3	
																					●	●	●	●	Hermeticidad inadecuada de la puerta	10.0
																					●		●	●	Localización inadecuada del refrigerador	11.0
																					●				Humedad relativa del aire muy elevada (superior al 85%)	12.0
																					●	●	●	●	Refrigerador sin bandeja divisoria del congelador	13.0
																					●		●	●	Refrigerador utilizado en exceso	14.0
																					●				Refrigerador utilizado incorrectamente	15.0
																					●	●	●	●	Encharcamiento del aislamiento (lana de vidrio)	16.1
																					●	●	●	●	Deterioración o falta de aislamiento térmico	16.2
																					●				Expansión de fluido refrigerante en el evaporador	17.1
																					●		●	●	Exceso de carga de fluido refrigerante en el refrigerador	17.2
																					●		●		Falta de fluido refrigerante	17.3
																					●				Fuga de fluido refrigerante	17.4
																							●	●	Utilización de válvula de expansión	18.0
																					●				Colocación inadecuada del compresor	19.4
																					●		●	●	Compresor inadecuado al sistema	19.5
																					●		●		Compresor con baja capacidad	19.6
																					●				Compresor con ruido interno	19.7
																						●		●	Compresor trancado (agarrado)	19.8

## **1 - Problemas y Providencias 1.1**

### **- Voltaje 1.1.1**

- Falta de voltaje en el tomacorriente Verifique con un voltímetro o lámpara de prueba.

**1.1.2 - Voltaje muy baja** Para eliminar los problemas de voltajes inferiores a 103 V (nominal 115 V) y 198 V (nominal 220 V), en la parte final del Manual recomendamos el uso de un estabilizador de voltaje. Cuando el compresor no arranca, en la mayoría de las veces el problema puede ser resuelto con un capacitor de arranque adecuado (consulte la Tabla de Aplicación de Compresores).

**1.1.3 - Voltaje muy alta** Para eliminar el problema de voltajes superiores a 132 V (nominal 115 V) y 240 V (nominal 220 V) recomendamos el uso de un estabilizador de voltaje.

## **2 - Componentes Eléctricos**

**2.1 - Cable de fuerza o cableado** interrumpido Con una lámpara de pruebas o con un ohmímetro, verifique si el cable de fuerza o el cableado no están interrumpidos. Verifique también el enchufe.

**2.2 - Conexión errada en la caja de conexiones** Verifique las conexiones con auxilio del esquema eléctrico del refrigerador.

**2.3 - Cableado o componentes eléctricos en contacto con partes** metálicas Verifique si existe falla en el aislamiento de un componente eléctrico que esté en contacto con partes metálicas. Elimine la falla.

**2.4 - Componentes eléctricos que no dejan pasar la corriente al compresor** Defecto en componentes como termostato, transformador auxiliar, temporizador etc. Verifique.

**2.5 - Lámpara interna no se apaga** Verifique si el interruptor de la lámpara presenta algún problema como mal contacto, colocación incorrecta etc.

**2.6 - Transformador inadecuado** Verifique si el transformador es el especificado, conforme la tabla del capítulo VI, ítem 4.

### 3 - FALTA DE PUESTA A TIERRA O PUESTA A TIERRA INADECUADA

3.1 - **Descarga eléctrica** Verifique la conexión a tierra. Caso sea necesario, vuelva a hacer la puesta a tierra.

### 4 - TERMOSTATO

4.1 - **Termostato desconectado** Gire el botón del termostato hasta el punto máximo (más frío) y observe si el compresor arranca.

4.2 - **Termostato sin pasaje de corriente por los contactos** Instale un conductor puente entre los terminales del termostato. Si el compresor arranca, sustituya el termostato.

4.3 - **Termostato no desconecta** Verifique si la colocación del bulbo del termostato está correcta. Gire el botón del termostato hasta el punto mínimo (menos frío) y verifique si el compresor se desconecta. Si el problema continúa, sustituya el termostato.

4.4 - **Termostato regulado en la posición máxima (más fría)** Gire el botón del termostato hasta el punto mínimo (menos frío) y verifique si el compresor se desconecta dentro del rango de uso. Regule el termostato e instruya al usuario en relación a su correcta utilización.

4.5 - **Termostato regulado en la posición mínima (menos fría)** Regule el termostato en la posición adecuada e instruya al usuario con relación a su correcta utilización. IV 18 Manual de Aplicación de Compresores

4.6 - **Termostato generando ruido** Informe al usuario que es normal producirse un estallido en la operación de conexión y desconexión del termostato. Pero verifique si el termostato está correctamente instalado.

4.7 - **Termostato con bulbo suelto** Fije correctamente el bulbo del termostato.

4.8 - **Termostato con bulbo fuera de la posición original** Coloque el bulbo de acuerdo con lo que fue previsto por el fabricante.

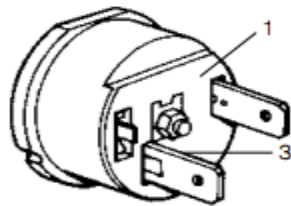
4.9 - **Termostato con actuación irregular o con defecto** Sustituya el termostato.

**4.10 - Termostato inadecuado** Verifique si el modelo del termostato utilizado es el indicado por el fabricante. Si es necesario, consulte al fabricante del sistema de refrigeración.

## 5 - PROTECTOR TÉRMICO

**5.1 - Protector térmico incorrecto** Verifique si el protector térmico es el recomendado. Si no lo es, sustituya el conjunto relé de arranque y protector por el especificado. Si es necesario, consulte al revendedor autorizado o a la Empresa Embrocó. IV Manual de Aplicación de Compresores 19

**5.2 - Protector térmico defectuoso** Protector térmico de 3/4" Verifique si hay oxidación en los terminales y si el disco bimetalico del protector térmico no está deformado. Verifique también si existe pasaje de corriente entre los terminales 3 y 1 (imagen 38). En caso de avería o de no haber pasaje de corriente, sustituya el protector y el relé de arranque.



– Imagen A1: Protector térmico de 3/4 sin cordón

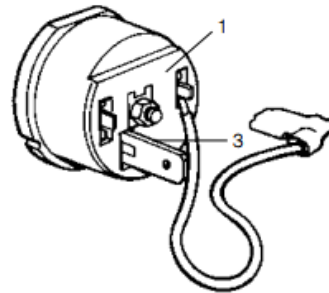


Imagen A2: Protector térmico de 3/4 con cordón

Protector térmico 4TM Verifique si hay oxidación de los terminales (hembra y macho) y si hay pasaje de corriente entre los mismos. En caso de avería o de no haber pasaje de corriente, sustituya el protector 4TM

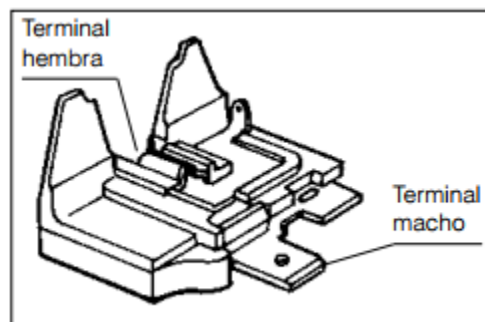


Imagen A4: Protector térmico 4TM

## 6 - RELÉ DE ARRANQUE

Retire el relé del compresor, verifique si el relé de arranque es el recomendado. Los relés para compresores de alto torque de arranque, modelos "X" (por ej.: FF 8.5BX / FF 10BX y FFI 12HBX), no deben tener puente (conductor de cobre) entre los terminales 11 y 13. Esta conexión, obligatoriamente, debe ser realizada a través del capacitor de arranque. Ya para los demás modelos donde el uso del capacitor no es obligatorio, los relés deben tener un puente conectando los terminales 11 y 13

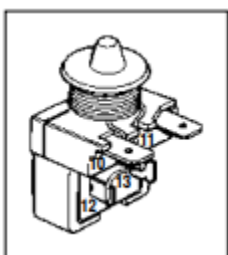


Imagen A5: Relé corto

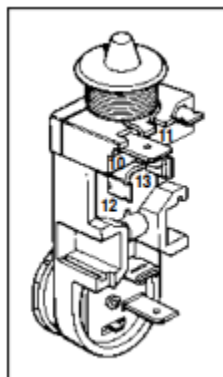


Imagen A6: Relé largo

### 6.1 - Relé electromecánico "F, EG y PW"

6.1.1 - Con el relé en la posición vertical, bobina hacia abajo, verifique si hay continuidad entre los terminales 10 y 11 del relé. Si no la hay, sustituya el relé. Figura 12 – Relé Largo F y PW. Figura 11 – Relé Corto F, EG y PW

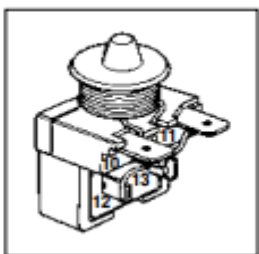


Imagen A7: Relé cortó,  
EG y PW"

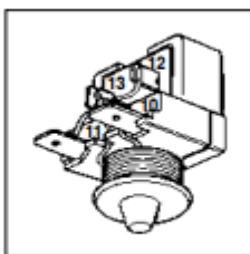


Imagen A8: Relé cortó,  
EG y PW"

6.1.2 - Con el relé en la posición vertical, bobina hacia arriba, verifique si hay continuidad entre los terminales 10 y 11 del relé. Si la hay, sustituya el relé y repita el ítem 6.1.1.

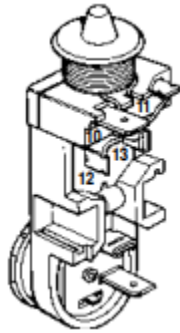


Imagen A9: Relé largo F y PW

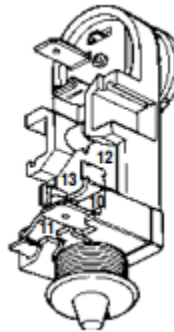


Imagen A10: Relé largo F y PW "otra vista"

## 6.2 - Relé electromecánico "EM"

6.2.1 - Con el relé en cualquier posición (fig. 15 o 16), verifique si hay continuidad entre los terminales 1 y 2 del relé. Si no la hay, sustituya el relé.

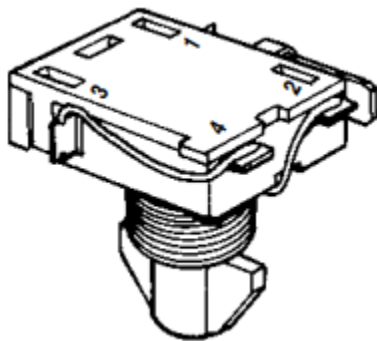


Imagen A11: Relé EM

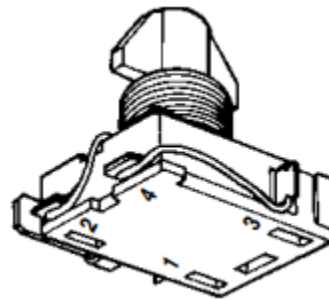


Imagen A12: Relé EM "diferente vista"

6.2.2 - Con el relé en la posición vertical, bobina del relé hacia arriba (fig. 16), verifique si hay continuidad entre los terminales 1 y 3 del relé. Si no la hay, sustituya el relé y



repita el ítem 6.2.1. 6.2.3 - Con el relé en la posición vertical, bobina hacia abajo, verifique si hay continuidad entre los terminales 1 y 3. Si la hay, sustituya el relé (fig. 15).

**6.3 - Relé PTC** Con ayuda de un ohmímetro, mida la resistencia óhmica entre los terminales 2 y 3 (fig. 17). En temperatura ambiente, los valores deben estar próximos a los presentados en la tabla siguiente:

Relé – PTC*	Resistencia Óhmica ( $\Omega$ = OHMS)
8EA1BX	2,8 a 5,2 $\Omega$
7M4R7XXX / 8M4R7XXX / 8EA14CX	3,8 a 5,6 $\Omega$
8EA4BX / 8EA3BX / 8EA21CX	3,5 a 6,5 $\Omega$
8EA5BX	14 a 26 $\Omega$
7M220XXX / 8M220XXX / 8EA17CX	17,6 a 26,4 $\Omega$

\* El (X) podrá ser un número o una letra.

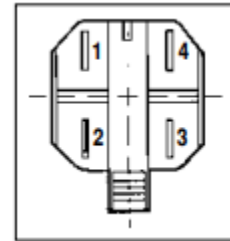


Imagen A13: PTC

### Relé EM con puente eléctrica externa

De la misma forma que ya ocurre con los relés de las familias PW y F/EG, los relés de los compresores EM son adecuados para el uso de capacitor de arranque (fig. 18). El uso de capacitor de arranque, en las aplicaciones donde este componente sea necesario, debe ser realizado retirando el puente entre los terminales 3 y 4, y conectando el capacitor entre estos terminales. Esa modificación no altera las características de desempeño de los relés.

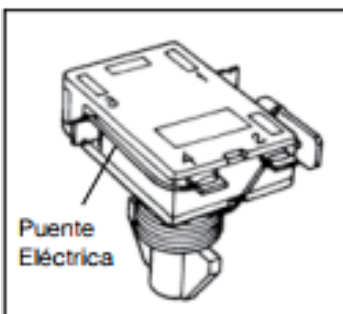


Imagen A14: Situación nueva

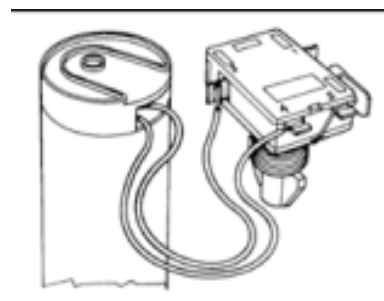


Imagen A15: Con capacitor

## 7 - CAPACITOR DE ARRANQUE

### 7.1 - Capacitor de arranque incorrecto

Verifique si los valores de capacitancia y del voltaje son adecuados para el compresor. Consulte la Tabla de Aplicación de los Compresores Embraco o al fabricante del sistema de refrigeración. Si el valor de la capacitancia estuviese incorrecto, sustituya el capacitor por el indicado.

### 7.2 - Capacitor de arranque defectuoso

Certifíquese de que el voltaje en el tomacorriente es la misma indicada en el capacitor.

En seguida conecte el capacitor en serie con una lámpara de prueba y observe:

- Luminosidad normal de la lámpara: con defecto. Placas del capacitor en cortocircuito.
- Lámpara no enciende: con defecto. Placas del capacitor en circuito abierto.
- Luminosidad menor de la lámpara - el capacitor está en buen estado. Si el capacitor presenta fugas o alguna rajadura, este debe ser sustituido.

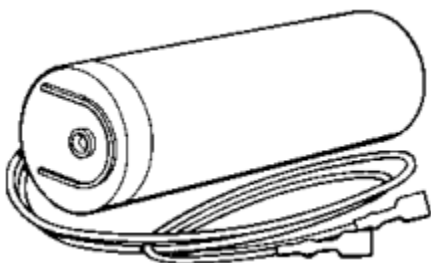


Imagen A16: Capacitor de arranque



**No toque en las terminales de un capacitor cargado pues eso puede ser fatal.**

## 8 - TUBERÍAS Y COMPONENTES

**8.1 - Condensador mal instalado - tubos metálicos en contacto** Con el compresor funcionando, verifique las partes metálicas en contacto. Ex.: el capilar en contacto con el filtro secador, condensador mal instalado al gabinete etc.

**8.2 - Obstrucción parcial de la tubería** Las obstrucciones en la tubería generalmente ocurren en función de una soldadura por brazaje mal hecha (exceso de material de adición), de partículas sólidas provenientes de la deterioración del desecante del filtro secador o tubo excesivamente doblado. La solución para este tipo de problema requiere una investigación con mucho criterio. Verifique los puntos críticos como el filtro secador (telas) y la entrada del tubo capilar.

**8.3 - Obstrucción del tubo capilar por humedad** Verifique si hay formación de hielo en la entrada del evaporador. Caliente ese local y verifique si el fluido refrigerante vuelve a circular. Si funciona, es señal de que hay humedad en el sistema. En ese caso, debe retirar la humedad del circuito y colocar una carga nueva de fluido refrigerante. (Vea los procedimientos necesarios a partir de la pág. 34 de este manual).

**8.4 - Condensador sucio, cubierto o con falta de circulación de aire** Limpiar el condensador y desobstruir los pasajes de aire.

## **9 - RUIDO PROVOCADO POR OTROS COMPONENTES O PROBLEMAS**

**9.1 - Nivelación incorrecta del refrigerador o de la base del compresor** Se hay ruido, verifique si desaparece cuando se nivela el refrigerador.

**9.2 - Ruidos provocados por otros componentes** Verifique si el ruido tiene origen en otros componentes como: ventilador, termostato, transformador, estabilizador etc.

**9.3 - Compresor en contacto con la pared o el gabinete** Si el compresor se encuentra en esas condiciones, sus vibraciones pueden transformarse en ruido. Apártelo y el ruido debe desaparecer.

## **10 - HERMETICIDAD INADECUADA DE LA PUERTA**

**10.1 - Puerta o junta** Verifique si la puerta está mal ajustada o si la junta (tira de caucho para mantener hermética la puerta) está damnificada, despegada etc. Ajuste la puerta y/o sustituya la junta.

## 11 - LOCALIZACIÓN INADECUADA DEL REFRIGERADOR

**11.1 - Ventilación y otras causas** El sistema de refrigeración no debe estar localizado próximo de cocinas, paredes expuestas al sol o en locales sin ventilación. Bajo esas condiciones mencionadas, el sistema de refrigeración pierde rendimiento.

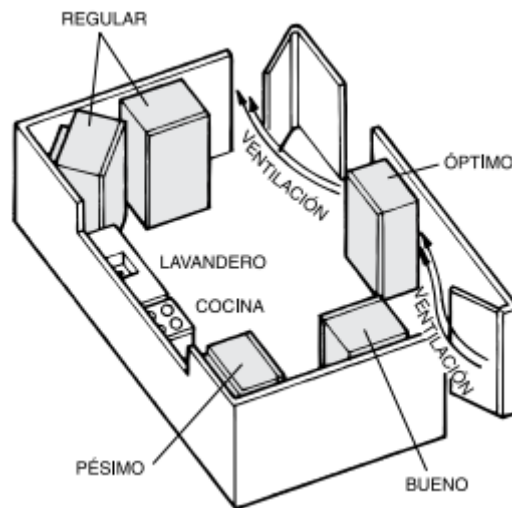


Imagen A17: Sugerencia para la colocación de un sistema de refrigeración.

## 12 - HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE MUY ELEVADA (SUPERIOR AL 85%)

**12.1 - Condiciones climáticas** Explique al cliente que no se trata de defecto del refrigerador y sí de una característica del clima de la región.

## 13 - REFRIGERADOR SIN BANDEJA DIVISORIA DEL CONGELADOR

**13.1 - Ausencia o uso indebido de la bandeja** Verifique si la bandeja divisoria está siendo utilizada y si está instalada correctamente (en refrigeradores de 1 puerta).

## 14 - REFRIGERADOR UTILIZADO EN EXCESO

**14.1 - Apertura frecuente de la puerta** Instruya al usuario para evitar la apertura de la puerta con mucha frecuencia.

## **15 - REFRIGERADOR UTILIZADO INCORRECTAMENTE**

**15.1 - Falta de circulación interna de aire** Instruya al usuario para no usar tapetes plásticos en los anaqueles, no usar el deflector de la bandeja en la posición de descongelar, etc.

## **16 - AISLAMIENTO TÉRMICO**

**16.1 - Encharcamiento del aislamiento (lana de vidrio)** Localice el punto de pasaje de la humedad y corríjalo.

**16.2 -Deterioración o falta de aislamiento térmico** Localice y sustituya o complete el aislamiento térmico.

## **17 - FLUIDO REFRIGERANTE**

**17.1 - Expansión de fluido refrigerante en el evaporador** Explique al cliente que es normal y que la expansión se hace con un cierto ruido. El nivel de ruido varía conforme el tipo de evaporador y del refrigerador.

**17.2 - Exceso de carga de fluido refrigerante** en el refrigerador Verifique si hay condensación en la línea de retorno. Caso exista, coloque la carga correcta del fluido refrigerante.

**17.3 - Falta de fluido refrigerante** Generalmente se forma una capa irregular de hielo en el evaporador. Coloque una nueva carga del fluido refrigerante en el sistema.

**17.4 - Fuga de fluido refrigerante** Verifique el punto de fuga, eliminándolo o sustituyendo el componente. Coloque una nueva carga del fluido refrigerante.

## **18 - UTILIZACIÓN DE VÁLVULA DE EXPANSIÓN**

**18.1 - Alto torque de arranque** Verifique si el sistema de refrigeración utiliza válvula de expansión. En caso positivo deben ser utilizados compresores Embraco cuya denominación incorpora la letra "X" IV 30 Manual de Aplicación de Compresores (FF BX y FF HBX) o compresores FG con el relé específico para transformarlo en tipo HST

## 19 - COMPRESOR

**19.1- Compresor conectado a un voltaje diferente a la especificada** Utilice un transformador o sustituya el compresor.

**19.2 - Bobina del motor del compresor interrumpido o quemado** Con el auxilio de un ohmímetro, mida las resistencias de las bobinas principal y auxiliar.

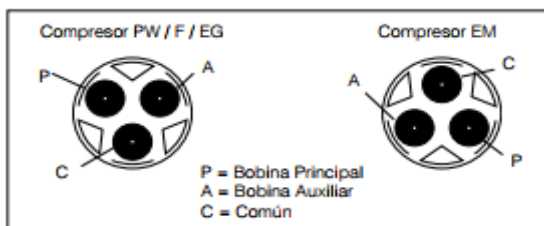


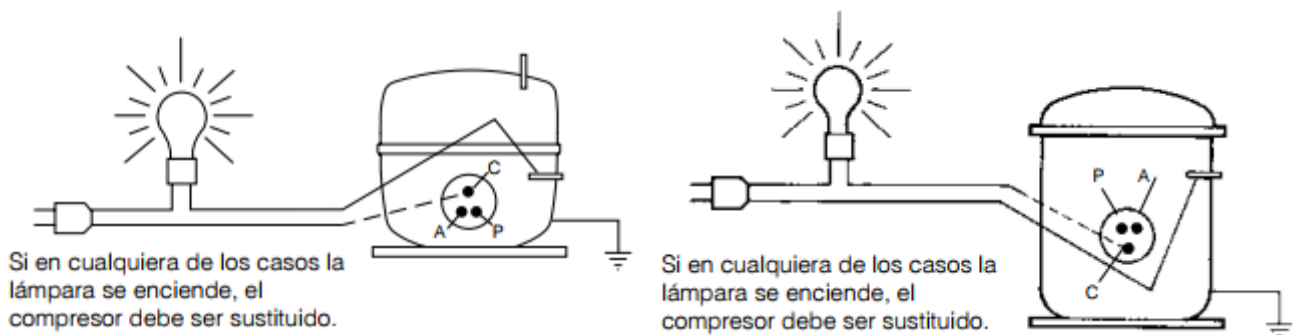
Imagen A18: Prueba de las bobinas del compresor Nota: si la lámpara se enciende la bobina no está interrumpida



### IMPORTANTE

La resistencia óhmica puede variar más o menos 8%. En caso de no poseer un ohmímetro, con una lámpara de prueba, verifique si hay interrupción en las bobinas del motor. Coloque una de las puntas de prueba en el borne común y otra en el borne principal o auxiliar. Si en cualquiera de los casos, no se enciende la lámpara, sustituya el compresor.

**19.3 - Compresor con pasaje de corriente para la carcasa** Conecte los terminales del megohmetro, al pino común del terminal hermético y al terminal de puesta a tierra del compresor. Con un voltaje de 500V/DC la lectura deberá indicar una resistencia superior a los 2.0MΩ. En la ausencia del megohmetro, use una lámpara de prueba de la siguiente manera: conecte una de las puntas de prueba al borne común del terminal hermético y otra al terminal de puesta a tierra del compresor. Si la lámpara se enciende, sustituya el compresor



**19.4 - Colocación Inadecuada del Compresor** Verifique si los amortiguadores de caucho están muy apretados. Si así estuvieren, aflójelos, pues de lo contrario la amortiguación de las vibraciones será perjudicada.

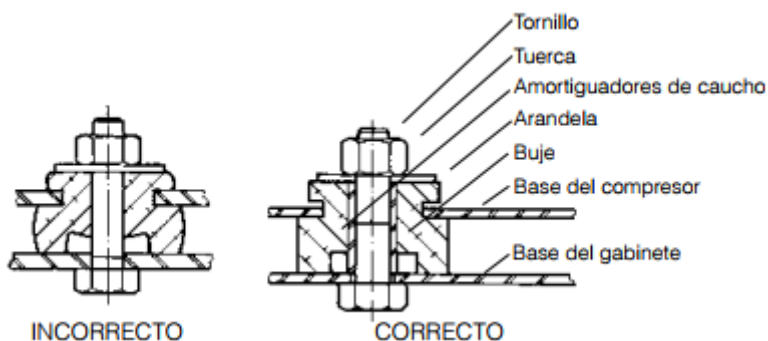


Imagen 57: Amortiguadores de caucho

**19.5 - Compresor inadecuado al sistema** Consulte la Tabla de Aplicación de los Compresores Embraco. Sustituya el compresor por el modelo adecuado.

**19.6 - Compresor con baja capacidad** Es un defecto raro. Si usted no está absolutamente seguro de que el defecto es ese, repase las otras causas posibles. No siendo ninguna de ellas, sustituya el compresor. Manual de Aplicación de Compresores 33

**19.7 - Compresor con ruido interno** Si después de analizar todos los aspectos anteriormente descritos y el ruido todavía persiste, su origen puede estar en el compresor. En este caso, sustitúyalo. Sólo podemos considerar Alto Amperaje si el protector térmico está actuando. ¡Importante! No confunda ruidos internos del compresor con ruidos del sistema de refrigeración (ver ítems 8.1, 9.1, 9.2 y 9.3)  
Importante



**IMPORTANTE**

**No confunda ruidos internos del compresor con ruidos del sistema de refrigeración (ver ítems 8.1, 9.1, 9.2 y 9.3)**

**19.8 - Compresor trancado** Verifique todas las causas posibles indicadas anteriormente. Si es necesario, sustituya el compresor.

**19.9 - Compresor con alto amperaje** (corriente elevada) Verifique todas las causas posibles indicadas anteriormente. Caso sea necesario, sustituya el compresor.

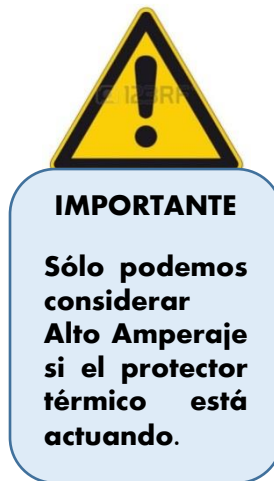




Tabla A3: Del ejercicio 1 de donde se sacan las diferentes entalpías y entropías

Refrigerante 134a sobrecalentado																
$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
P = 0.06 MPa ( $T_{sat} = -36.95$ °C)				P = 0.10 MPa ( $T_{sat} = -26.37$ °C)				P = 0.14 MPa ( $T_{sat} = -18.77$ °C)								
Sat.	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446				
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.66	239.50	0.9721								
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724				
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.58	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031				
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331				
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624				
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912				
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195				
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474				
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749				
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020				
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288				
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553				
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814				
P = 0.18 MPa ( $T_{sat} = -12.73$ °C)				P = 0.20 MPa ( $T_{sat} = -10.09$ °C)				P = 0.24 MPa ( $T_{sat} = -5.38$ °C)								
Sat.	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346				
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380								
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9519				
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831				
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.36	1.0134				
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429				
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718				
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12766	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001				
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13206	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280				
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554				
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825				
90	0.16149	305.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.60	333.49	1.2092				
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.60	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356				
P = 0.28 MPa ( $T_{sat} = -1.25$ °C)				P = 0.32 MPa ( $T_{sat} = 2.46$ °C)				P = 0.40 MPa ( $T_{sat} = 8.91$ °C)								
Sat.	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.55	0.9269				
0	0.07282	230.44	250.83	0.9362												
10	0.07646	238.27	259.68	0.9680	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	256.58	0.9305				
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628				
30	0.08338	254.06	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937				
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.60	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236				
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528				
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.96	1.0814				
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094				
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369				
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640				
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.26	341.57	1.1907				
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.53	1.2171				
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431				

## **FUESTES DE INFORMACIÓN**

**1.-TERMODINÁMICA-SÉPTIMA EDICIÓN-YUNES A CENGEL-MICHAEL A. BOLES**

**2.-TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA-CUARTA EDICIÓN-YUNUS A. CENGEL-AFSHIN J. GHAJAR.**