



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

**ANÁLISIS, DISEÑO Y CÁLCULO DE
UNA CÁMARA FRIGORÍFICA PARA PRODUCTOS
PERECEDEROS**

TESIS

**Para obtener el título de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Presenta:

JOSÉ OSWALDO CÁZARES MORALES

México, D.F a 29 de enero de 2013

Director de Tesis: Ing. Dámaso Velázquez Velázquez



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE	Pág.
OBJETIVO	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I. REFRIGERACIÓN	
1.1 Antecedentes de la refrigeración.	9
1.2 Conceptos básicos de refrigeración.	12
1.3 Los tres principios básicos de la transferencia de calor	16
1.4 Unidades de medición que se utilizan en refrigeración.	18
1.5 Ciclo de Carnot.	20
1.6 Gráfico de Mollier.	21
1.7 Refrigeración mecánica.	24
CAPÍTULO II. REFRIGERANTES	
2.1 Antecedentes de los refrigerantes.	27
2.2 Propiedades de un refrigerante.	27
2.3 Refrigerantes de la familia de los hidrocarburos halogenados.	28
2.4 Propiedades de los gases.	31
2.5 Recuperación y reciclaje de refrigerantes.	31
2.6 Los gases y su cambio de estado.	34
CAPÍTULO III. COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN	
3.1 Antecedentes de los componentes de los equipos de Refrigeración.	37
3.2. Condensador.	38
3.3 Evaporador.	40
3.4 Dispositivo de expansión.	43
3.5 Accesorios del Sistema de Refrigeración.	44
CAPÍTULO IV. COMPRESORES	
4.1 Antecedentes de los compresores.	48
4.2 Proceso del sistema de refrigeración.	49
4.3 Ciclo de refrigeración.	50
4.4 Elemento principal.	52
4.5 Compresor centrífugo.	53
4.6 Compresor helicoidal rotatorio “tornillo”.	54
4.7 Compresor scroll.	56
4.8 Compresor recíprocante tipo abierto	59
4.9 Compresores recíprocantes tipo semi-hermético	60
4.10 Compresores recíprocantes tipo hermético.	61

CAPÍTULO V. CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA

5.1 Antecedentes de las cámaras de refrigeración.	66
5.2 Ecuaciones de la energía y su aplicación al ciclo de refrigeración.	67
5.3 Terminología de compresión simple.	69
5.4 Cálculo de la carga térmica.	73
5.4.1 Ubicación del almacén frigorífico.	73
5.4.2 Datos para cálculo de cámara de refrigeración.	73
5.4.3. Solución.	75

CONCLUSIONES	87
---------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	88
MESOGRAFÍA	89
GLOSARIO	90

DEDICATORIA:

Simplemente a Dios por haberme dado la capacidad y puesto en mi camino a toda esta gente para darme el ejemplo y enseñarme el no rendirme y el poder seguir superándome ante cualquier adversidad.

**José de Jesús Cázares Márquez
Carmen Norma Morales Cortes
Teresa Moreno Bañuelos
Víctor Villegas
Sergio Villegas Flores
Dolores Pinedo Rodríguez
Manuel Antonio Gordillo Méndez**

**Padre
Madre
Madre II
Maestro
Jefe y Maestro
Jefa y Maestra
Jefe y Maestro**

OBJETIVO.

Seleccionar un equipo de refrigeración para los alimentos destinados al consumo humano y poderlos mantener en óptimas condiciones, teniendo siempre una temperatura promedio de 4° C. Utilizando los conocimientos adquiridos en el curso de ingeniería mecánica eléctrica de la Facultad de Estudios Superiores Aragón asimismo aplicar los principios y leyes que rigen los fenómenos termodinámicos; en la selección adecuada del equipo de refrigeración para la conservación de los productos antes mencionados, Para tal efecto se requiere determinar la carga térmica en un espacio destinado al consumo de alimentos.

Contribuir al conocimiento de las diferentes aplicaciones de la Ingeniería, del Aire Acondicionado y Refrigeración.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemorables el hombre siempre ha tratado de entender y comprender la naturaleza, para poder manipularla a su conveniencia. Esto ha llevado al hombre a desarrollar una gran capacidad de comprensión para la solución de problemas que se han presentado a lo largo de su historia.

Cabe mencionar que en la actualidad el hombre se ha encontrado con dos problemas que son: el calentamiento global y el poder mantener alimentos en buen estado por mucho tiempo sin agredir el medio ambiente.

En referencia a la información contenida en este trabajo es el resultado del constante contacto con este tipo de problemas de refrigeración.

Por lo tanto, se hará un diseño con sus respectivos cálculos y selección del equipo atendiendo los siguientes puntos:

En el capítulo I se abordan los temas:

Principios Termodinámicos usados en la Refrigeración.

En el capítulo II se abordan los temas:

Las Propiedades de los Refrigerantes

En el capítulo III se abordan los temas:

Componentes de los equipos de refrigeración comercial

En el capítulo IV: Compresores

Y finalmente en el capítulo V se destina al cálculo y diseño de una cámara de refrigeración.

Del análisis de los temas se concluyó que el orden de los capítulos permite proporcionar el adecuado cálculo de una cámara de refrigeración y su respectivo medio refrigerante, ya que el lector puede conocer, identificar y complementar sus conocimientos con aspectos teórico – prácticos, cumpliendo de esta forma uno de los objetivos que se buscan en este trabajo.

CAPÍTULO I REFRIGERACIÓN

1.1. ANTECEDENTES DE LA REFRIGERACIÓN

Antes de que se inventaran los sistemas de refrigeración mecánica, las personas Conservaban alimentos como pescados y carnes mediante procesos de salado ahumado. Pronto descubrieron que los alimentos sometidos a bajas temperaturas se conservaban sin deteriorarse y en los primeros tiempos se empleaba el hielo con ese propósito.

Las personas enfriaban alimentos en arroyos fríos o cuevas profundas. Las primeras bodegas fueron hoyos cavados en el suelo, forrados con madera o paja y cubiertos con nieve o hielo que se encontrara en el lugar o que se trajera de montañas cercanas. Ésta fue la única forma de refrigeración durante casi toda la historia humana.

Los chinos ya tenían técnicas de cortado y almacenamiento de hielo en el año 1000A.C., quinientos años después los egipcios e indios fabricaban hielo en noches heladas, dejando a la intemperie agua en ollas de barro, que después mantenían mojadas.

En el continente Americano, los emperadores mexicas mandaban a traer nieve de los volcanes cercanos para prepararla con miel y jugos de fruta, algo parecido a los “raspados” que encantamos en puestos ambulantes hoy en día.

En Inglaterra durante el Siglo XVIII, los sirvientes de los ricos recolectaban hielo durante el invierno; las láminas eran empacadas en sal, envueltas en tiras de franela y almacenadas bajo tierra en casas de hielo subterráneas, para conservarlas congeladas hasta el verano, cuando las bebidas frías eran un verdadero lujo.

Al principio del siglo XIX, los ingleses comenzaron a usar las cajas de hielo o neveras. El hielo natural era recolectado, distribuido y usado tanto en el comercio como en los hogares hasta mediados de ese siglo. Cajas de madera forradas con hoja lata o zinc y aisladas con variados materiales que incluían corcho, aserrín y algas marinas eran usadas para mantener los bloques de hielo y refrigerar la comida entre ellos. Una charola de escurrimiento recogía el agua derretida y debía ser vaciada diariamente.

El término “refrigerador fue acuñado en 1800 por Thomas Moore, un ingeniero de Maryland, Estados Unidos. Su artefacto era lo que se llamaría una hielera, que consistía en una tina de cedro, aislada con una piel de conejo llena de hielo, que rodeaba un contenedor metálico. Moore la diseñó para transportar mantequilla a la cercana capital, Washington D.C.

Un refrigerador es cualquier tipo de recinto o recipiente, como una caja, un mueble un cuarto, cuya temperatura interior es mantenida sustancialmente menor que la del ambiente que lo rodea. Entre los pioneros de la refrigeración está el Dr. William Cullen, un escocés de la Universidad de Glasgow, cuyos estudios de 1748 trataban

sobre la evaporación de los líquidos en el vacío. Sin embargo, no usó sus descubrimientos para ningún propósito práctico.

En 1800, el inglés Michael Faraday licuó amoníaco para provocar enfriamiento. El moderno sistema de refrigeración opera con un concepto adaptado de los experimentos de Faraday. Involucra la compresión de un gas hasta convertirlo en un líquido que absorba el calor. Al hacerlo, vuelve a convertirse en gas.

En 1805, el inventor estadounidense Oliver Evans diseñó la primera máquina refrigerante. Diez años después, su compatriota el Dr. John Goorie, un médico de Florida, construyó un refrigerador basado en el diseño de Evans para hacer hielo que enfriara el aire para sus pacientes de fiebre amarilla.

El primer aparato diseñado por el inventor francés Ferdinand Carré, construido en 1858, utilizaba agua, pero poco después la cambió por amoníaco, que resultaba mucho más eficaz.

El Ingeniero alemán Carl Von Linde patentó en 1876 el proceso de licuar el gas, básico en la tecnología de la refrigeración. Modificando un modelo industrial que había diseñado para la fábrica de cerveza Guinness en Irlanda, fabricó el primer refrigerador doméstico mecánico.

Durante todo el Siglo XIX numerosas personas trataron de diseñar refrigeradores mecánicos. Los esfuerzos de los científicos habían puesto en claro que sí se licuaba un gas y luego se le dejaba evaporar, su temperatura descendería y también lo que le rodeara. Si se condensaba el vapor mediante presión y se le dejaba evaporar de nuevo, una y otra vez, el calor sería bombeado fuera del refrigerador, al aire circundante.

La refrigeración es el proceso de remover el calor de un espacio cerrado o de una sustancia para bajar su temperatura en el rango de 0°C a 10° C. Un refrigerador usa la evaporación de un líquido para absorber calor. El líquido o refrigerante usado se evapora a una temperatura extremadamente baja, creando temperaturas heladas en su interior.

Todo está basado en la Física: un líquido es rápidamente vaporizado mediante la compresión, el vapor que se expande requiere de energía cinética o de movimiento y la toma del área inmediata, que pierde energía y se enfría. El enfriamiento causado por la rápida expansión de los gases es el principio de la refrigeración actual.

Los inviernos inusualmente cálidos 1889 y 1890 crearon una severa escasez de hielo natural en los Estados Unidos. Esto estimuló el uso de la refrigeración mecánica para congelar y almacenar pescados, así como en las industrias cerveceras, lácteas y de empacado de carnes. Las técnicas de refrigeración comercial también fueron aplicadas a vagones de ferrocarril, enfriadores en tiendas de abarrotes y de diversas maneras en las industrias manufactureras.

Los primeros refrigeradores eran voluminosos e incómodos y el amoníaco es una sustancia corrosiva y tóxica, por lo que sólo se utilizaban en la industria o para la

producción de hielo. Se necesitaron años de perfeccionamiento antes de que resultaran prácticos y de uso casi universal en los hogares.

El uso del refrigerador en el hogar comenzó en el siglo XX. Uno de los primeros refrigeradores caseros fue una unidad inventada por un monje francés que presentó la compañía General Electric en 1911.

Los modelos Kelvinator y Servel estuvieron entre las dos docenas de refrigeradores caseros que fueron introducidos en el mercado estadounidense en 1916. Cuatro años después, el número había aumentado a más de 200. Los compresores funcionaban generalmente mediante bandas unidas a motores localizados en el sótano de la casa o en una habitación contigua a la cocina, por lo que se requería de un enorme espacio disponible.

En 1918, Kelvinator introdujo el primer refrigerador con un control automático. En 1923, Frigidaire presentó la primera unidad compacta. Los gabinetes de acero y porcelana comenzaron a salir al mercado a mediados de los años veintes. En esta década se usaban los refrigeradores a combustión, especialmente diseñados para aquellos lugares que no poseían electricidad, que aún no estaba al alcance de todos los hogares.

Hasta 1929, los refrigeradores usaban gases tóxicos como amoníaco, cloruro metílico y dióxido sulfúrico como refrigerantes. Hubo muchos accidentes cuando alguno de ellos se filtraba fuera del aparato. Tres corporaciones de Estados Unidos decidieron colaborar en una investigación para desarrollar un método menos peligroso de refrigeración; sus esfuerzos llevaron al descubrimiento del gas Freón.

En muy pocos años, los refrigeradores con compresores que usaban el Freón se convirtieron en el estándar para casi todas las cocinas del mundo.

En 1930, los consumidores conocieron los congeladores cuando aparecieron en el mercado los primeros refrigeradores eléctricos con compartimientos para cubos de hielo.

Aunque mucha gente comenzó a almacenar comida congelada, la producción masiva de los refrigeradores modernos no empezó hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

La tecnología de refrigeración tuvo innovaciones en los años cincuentas y sesentas como el descongelado automático y los primeros modelos para hacer cubos de hielo.

El medio ambiente se convirtió en una prioridad durante los años setentas y ochentas, cuando el científico mexicano Mario Molina y su colega el estadounidense Sherwood Rowland descubrieron que los clorofluoro carbonos o CFCs como el Freón se habían estado acumulando en la atmósfera y su uso ponía en peligro la capa de ozono de todo el planeta. Publicaron sus resultados en la revista Nature en junio de 1974. Los años siguientes fueron agitados, ya que decidieron comunicar el problema

de los CFCs y el Ozono no solamente a otros científicos, sino también a la comunidad política y a los medios de comunicación. Pensaron que era la única manera de asegurar que la sociedad tomara las medidas necesarias para aliviar el problema.

El Protocolo de Montreal de 1987 sirvió como un acuerdo internacional para eliminar paulatinamente dichas sustancias en todo el mundo y a partir de la década de los noventas, todos los refrigeradores y aparatos de aire acondicionado usan refrigerantes menos dañinos para el ambiente y que también los hacen más eficientes en su consumo de energía. Fue un ejemplo de que es posible que la humanidad resuelva los problemas que ella misma genera.

En 1995, Mario Molina y Sherwood Rowland fueron galardonados con el Premio Nobel de Química por “su trabajo en la Química atmosférica, particularmente concerniente a la formación y descomposición del Ozono”, que compartieron con el científico Paul Crutzen.

Hoy en día, el refrigerador es el aparato electrodoméstico más usado del mundo y está presente en prácticamente todos los hogares de países desarrollados. Es sin duda uno de esos “milagros” de la modernidad que puede cambiar totalmente la vida. Sin refrigeración, tendríamos que salir diariamente a buscar alimentos frescos, no podríamos disfrutar de pescados y mariscos si vivimos lejos del mar, o de helados, quesos, yogures y otros productos lácteos que se producen en lugares lejanos. Además de que estaríamos desperdiciando una gran cantidad de comida al tener que tirar las sobras, en lugar de guardarlas para un sabroso “recalentado”.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN

Se entiende que la refrigeración está íntimamente ligada con la termodinámica; es decir relacionada con la transferencia de calor. Con el fin de entender bien la acción de los refrigerantes, funcionamiento y elementos que se utilizan dentro de un sistema de refrigeración, es necesario conocer las leyes que lo gobiernan, así como los conceptos utilizados en el proceso.

Aire acondicionado:

Es un sistema diseñado para calentar, enfriar, humidificar, deshumidificar, filtrar y controlar la velocidad del aire.

Calor:

Calor se define como la energía en tránsito de un cuerpo a otro como resultado de diferencia de temperatura entre los cuerpos.

Calor específico:

El calor específico en una sustancia tiene la capacidad relativa de absorber calor tomando como base la unidad del agua pura, y la podemos definir como la cantidad

de calor (Kcal. o BTU) necesitaría para aumentar la temperatura de un kilogramo (libra) de cualquier sustancia 1°C (1°F).

Calor latente:

El calor latente es el que se necesita para cambiar un sólido en líquido o un líquido en gas sin variar su temperatura de la sustancia. La palabra latente significa oculto, sea este calor requerido para cambiar el estado de la sustancia, no es percibido por los sentidos.

Calor sensible:

El calor que puede sentirse o medirse se llama calor sensible. Éste es el calor que causó un cambio de temperatura de un cuerpo o sustancia, pero en un cambio insertado.

Carga térmica:

Es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio por refrigerar, para reducir o mantener la temperatura deseada.

En la mayoría de los casos, la carga térmica es la suma de calor que se fuga al espacio refrigerado a través de paredes, rendijas, ranuras, etc. más el calor que produce algún producto por refrigerar, motores eléctricos, alumbrado y personas.

Densidad:

La densidad de una sustancia se define como el peso por unidad de volumen y se expresa normalmente en kilogramos por centímetro cúbico (libras por pie cúbico). Puesto que por definición la densidad está directamente relacionada al volumen específico, la densidad de un gas puede variar grandemente con los cambios de presión y de temperatura.

Humedad específica:

(Contenido de humedad o relación humedad) el peso del vapor de agua por libra de aire seco.

Humedad relativa:

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

Líquido subenfriado:

Cualquier líquido que tenga una temperatura inferior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión existente, se dice que se encuentra sub enfriado. El agua a cualquier temperatura por debajo de su temperatura de ebullición (100°C al nivel del mar) está sub.-enfriada.

Presión:

Fuerza que ejercen los vapores refrigerantes sobre una unidad de superficie; cambiando cuando se modifica la temperatura absoluta, $P=F/S$.

Presión manométrica:

Esta presión se mide en la escala de un manómetro. El cero de un manómetro equivale a 14.7 Psi es decir la presión atmosférica a nivel del mar. La presión manométrica es presión medida por encima o por debajo de la presión atmosférica se expresa en pulgadas de mercurio.

Presión absoluta:

Es la presión medida sobre la escala absoluta. El cero está a presión atmosférica cero. La suma de la presión atmosférica y manométrica se conoce como presión absoluta.

Propiedades termodinámicas:

Una propiedad es una característica física observable de un sistema (presión, volumen, temperatura, etc.). Una propiedad es independiente del proceso y es determinada por el estado final de un sistema, en consecuencia este es una función puntual. Una cantidad compuesta de diferentes propiedades es también una propiedad (entalpía, etc.). Un conjunto de propiedades define el estado de un sistema.

Refrigeración:

Es la técnica para la remoción de calor de un cuerpo o sustancia para llevarla una temperatura menor generalmente que la del medio ambiente 0°C - 10°C .

Refrigeración mecánica:

Es la utilización de componentes mecánicos arreglados en un sistema de refrigeración, con el propósito de extraer calor de un lugar determinado.

Refrigerante:

Los refrigerantes son los fluidos que conducen la energía calorífica del nivel de baja temperatura a nivel de alta temperatura donde en términos de transferencia de calor pueden ceder su calor.

Los refrigerantes son sustancias químicas o naturales que se usan para absorber calor por evaporación o ebullición, del estado líquido al estado de vapor y eliminan calor de estado de vapor ha estado líquido por condensación. Se emplean muy diversos refrigerante y la selección de un determinado depende a condiciones bajo las que se debe hacer trabajar.

Termodinámica.

La termodinámica es la ciencia que comprende el estudio de las leyes que gobiernan las transformaciones de la energía, y las relaciones entre las diferentes propiedades físicas de las sustancias que sufren esas transformaciones.

Toneladas de refrigeración:

La cantidad de calor que debe extraerse a una tonelada (inglesa) de agua a 0°C y convertirla en hielo a 0°C en un día a 1 atm.

Trabajo:

En un sentido termodinámico, es una interacción energética entre un sistema y sus alrededores, a través de aquellas porciones de los límites del sistema en que no hay transferencia de masa, como consecuencia de una propiedad intensiva diferente de la temperatura entre el sistema y sus alrededores.

TRABAJO = FUERZA X DISTANCIA

Temperatura:

Es la medición de la velocidad del movimiento de las moléculas de la sustancia. La temperatura se mide con un termómetro, usando ya sea la escala Fahrenheit o Celsius, cada escala tiene definido un punto de ebullición y un punto de congelación.

Temperatura de bulbo seco:

La temperatura de bulbo seco es una mezcla de aire-vapor, es simplemente la temperatura que indica un termómetro al ser colocado en una mezcla.

Temperatura de bulbo húmedo:

Una mezcla de aire - vapor con humedad relativa menor del 100%, se hace por medio de un termómetro cubierto con una gasa impregnada de agua. Bajo condiciones de equilibrio, la transferencia de calor del aire ambiente al agua en la gasa, es justamente igual al calor latente de evaporización requerido por el agua que se evapora y difunde en la mezcla. A la temperatura resultante en esas condiciones de equilibrio se le conoce como la temperatura de bulbo húmedo.

Temperatura de saturación:

Saturación es la condición de temperatura presión en la que el líquido y el vapor pueden existir simultáneamente. Un líquido o vapor está saturado cuando está en un punto de ebullición (para una presión de 1.033 Kg/cm² o 14.7PSI. a nivel del mar, la temperatura de saturación del agua es de 100°C o 212°F). A presión más alta, la temperatura de saturación aumenta, y disminuye a temperaturas más bajas.

La temperatura a la que se condensa (o solidifica) el vapor de agua en una muestra de gas a un valor de presión se le llama temperatura de punto de rocío (o de escarcha) y su valor depende de la presión del gas.

El incremento en la presión del gas incrementa el valor de la temperatura de punto de rocío.

Vapor sobrecalentado.

Cuando líquido cambia vapor, cualquier cantidad adicional de calor aumentará la temperatura (calor sensible), siempre y cuando la presión a la que se encuentre expuesto se mantenga constante. El término de vapor sobrecalentado se emplea para denominar al vapor cuya temperatura se encuentra arriba de su punto de ebullición o saturación.

Volumen específico.

Es el volumen por unidad de masa de la sustancia

1.3. LOS TRES PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

1. La energía calorífica no puede ser destruida, esta solo puede ser transferida a otra sustancia.
2. El calor siempre fluye desde la sustancia de mayor temperatura a la sustancia de menor temperatura.
2. El calor puede ser transferido de una sustancia a otra.

Análisis de los tres principios básicos de la transferencia de calor.

1. Al producirse frío, el calor debe estar alejado desde una sustancia para transferir el calor a otra sustancia. Esto es muy común si nos referimos a los principios de la conservación de la energía. Los cubos de hielo en una bebida que se requiere enfriar se puede observar este principio al servirles agua a temperatura ambiente, por lo cual el líquido tiende a enfriarse. El calor se aleja de la bebida pero no se destruye, es instantáneamente absorbida por el hielo, el hielo se derrite de estado sólido a líquido.

2. La energía del calor fluye naturalmente desde una sustancia con alta temperatura a una sustancia de menor temperatura, en otras palabras, fluye de caliente a frío.

Por naturaleza el calor no puede fluir desde una sustancia fría a una sustancia caliente, esto si consideramos el ejemplo de la bebida con cubos de hielo. Por qué la temperatura de la bebida es más alta que la temperatura de los cubos de hielo, el calor debe siempre fluir de la bebida a los cubos de hielo.

3. La energía del calor es transferida desde una sustancia a otra por uno de los tres procesos: conducción, convección, o radiación.

Figura 1 Ejemplo de la transferencia de calor.

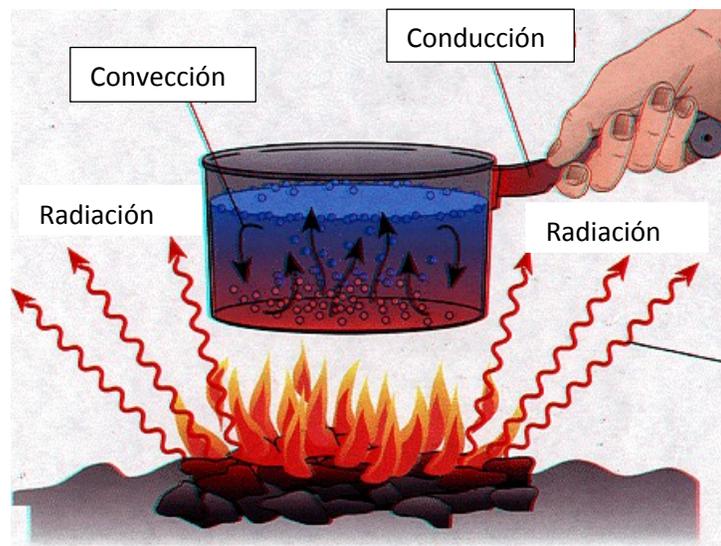


Figura 1

Conducción:

Es la transmisión de calor que se da a través de una sustancia. Para que exista transmisión de calor entre dos cuerpos de esta manera, se requiere que haya contacto físico real. En forma más específica podemos decir, que es la transmisión de calor entre las moléculas cercanas de una sustancia, o entre sustancias que se encuentran en rozamiento uno con el otro.

El concepto de conducción es aplicado en el cálculo de transmisión de calor a través de las paredes, donde el calor es transferido a través de las moléculas de las paredes de la cámara frigorífica desde el exterior hacia el interior, provocado por la diferencia de temperaturas.

Convección:

Otro medio de transferencia de calor es por el movimiento del material calentado en sí mismo cuando se trata de un líquido o un gas.

La convección se presenta cuando los objetos están a diferentes temperaturas y se encuentran en contacto con algún fluido.

En una cámara de refrigeración, por lo general se utiliza la circulación forzada del aire frío proveniente del evaporador por medio de motoventiladores integrados en el mismo.

Radiación térmica:

Es la transmisión de calor a través de ondas electromagnéticas, éstas son similares a las de la luz o a las ondas de sonido. Cuando el calor radiante o energía es absorbido por algún material o sustancia, se convierte en energía térmica.

Uno de estos ejemplos son los focos del alumbrado dentro de la cámara frigorífica los que emiten ondas por radiación que inyecta calor al producto que se encuentra almacenado.



Figura 2 Tipos de lámparas utilizadas para el alumbrado de cámaras frigoríficas

1.4. UNIDADES DE MEDICIÓN QUE SE UTILIZAN EN REFRIGERACIÓN

La unidad que mide la cantidad de calor es la **Unidad Térmica Británica 'BTU'**. Y se define como la cantidad de energía calorífica requerida para elevar la temperatura de 1 Lb de agua en 1°F.

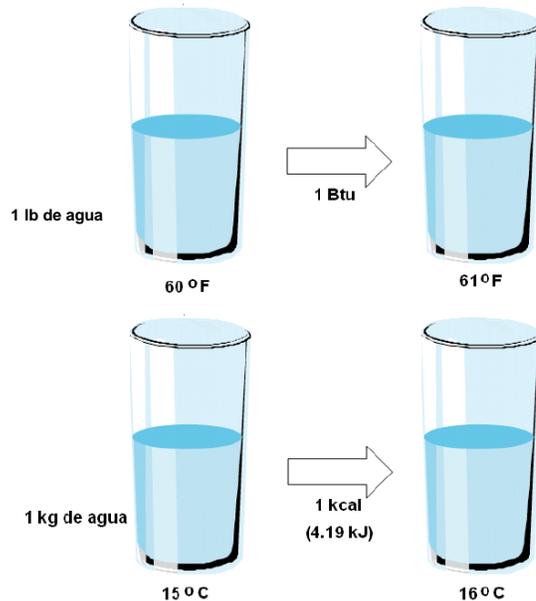


Figura 3 Unidades de la cantidad de calor.

De forma similar, sucede en el Sistema Internacional SI, la cantidad de calor puede estar expresada usando la unidad Kilo Joule KJ. Una Kcal se define como la cantidad de energía calorífica requerida para elevar la temperatura de 1 kg agua 1 °C. Una Kcal es igual a 4.187 KJ.

Presión:

Es la fuerza por unidad de superficie. Se mide en dos escalas: PSIA es la presión medida sobre la escala absoluta; el punto cero equivale a la presión atmosférica cero. PSIG (Lb/plg^2 ó Kg/cm^2) es la presión medida sobre un manómetro; el punto cero es de 14.7 PSI, o sea, la presión atmosférica normal.

Tonelada americana de refrigeración:

Es la unidad americana del efecto frigorífico de la fusión del hielo, es decir es la cantidad de calor que absorbe al fusionarse una tonelada de hielo sólido en un tiempo de 24 horas.

El calor latente de fusión de 1 lb de hielo es de 144 BTU, el calor latente de una tonelada 2000 lb de hielo es de 288,000 BTU por cada 24 horas. Para obtener el calor por hora se divide entre 24 horas, por lo que obtenemos 12,000 BTU/hora, y es igual a una Tonelada de Refrigeración.

Calor sensible:

Es la energía calorífica, que agregamos o quitamos desde una sustancia, resultando en una medida de cambio en la temperatura de bulbo seco.

Calor latente:

Son cambios en el contenido de calor latente de una sustancia que se asocian con la ganancia o pérdida de humedad.

El calor latente se define como la energía calorífica “oculta”, ésta es absorbida o liberada cuando el estado de una sustancia se cambia. Por ejemplo, cuando el agua es convertida a vapor, o cuando el vapor es convertido en agua.

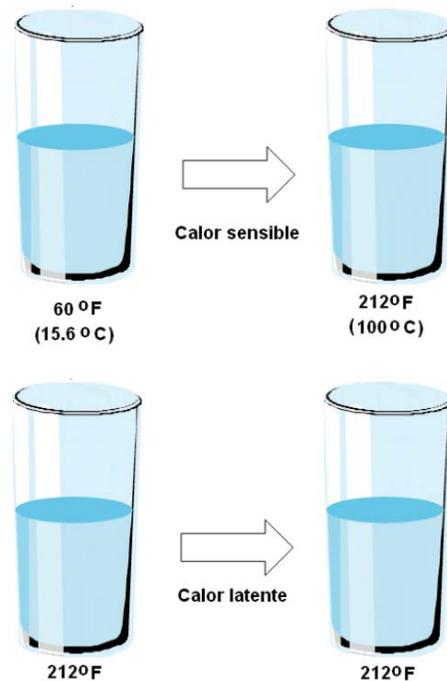


Figura 4 Calor Sensible y Calor Latente.

1.5. CICLO DE CARNOT

Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), demostró que cualquier máquina térmica que tiene como objetivo producir trabajo mecánico mediante un ciclo termodinámico tiene que absorber de una fuente térmica de alta temperatura y rechaza calor a un sumidero térmico de baja temperatura. También propuso un ciclo termodinámico de mayor rendimiento para cualquier máquina térmica, operando entre dos niveles de temperaturas. Este ciclo termodinámico se conoce como de "ciclo de Carnot"; está formado por cuatro procesos reversibles (dos isentrópicos y dos isotérmicos); es el ciclo termodinámico ideal de las máquinas térmicas y ha servido durante 150 años para marcar el límite teórico del rendimiento termodinámico.

Esta situación indica que los ciclos de Carnot marcan límites imposibles de alcanzar, porque los procesos de las máquinas térmicas, así como de los sistemas de refrigeración y de bomba de calor reales, ocurren en tiempos finitos, del orden de milisegundos, generando en consecuencia irreversibilidades.

El ciclo reversible de Carnot es la teoría básica para cualquier sistema de refrigeración como se muestra a continuación.

El ciclo de Carnot por lo tanto, se emplea en sistemas de refrigeración y de calefacción.

En los sistemas de refrigeración se cede calor en la zona de menor temperatura del medio a enfriar y en las inmediaciones se eleva a temperaturas a través del medio de trabajo (refrigerante). En los sistemas de calefacción, en cambio, en la zona de menor temperatura se toma del exterior y se lleva de la zona de mayor temperatura al espacio a calentar.

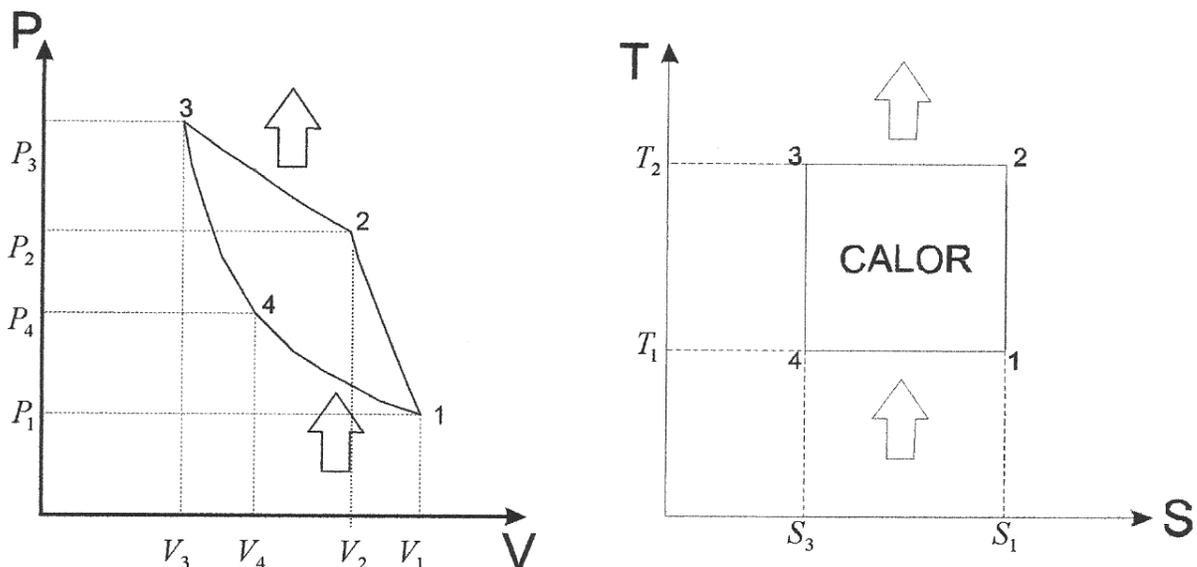


Figura 5 Relación Presión-Temperatura y Relación Temperatura-Entropía

1.6. GRÁFICO DE MOLLIER

Todos los gases refrigerantes tienen tabuladas sus propiedades en función de la temperatura, presión y volumen. Además se han diseñado herramientas de ayuda para facilitar el entendimiento y cálculo del comportamiento de ellos durante los cambios de estado o en cualquier condición que se encuentren.

Para ello es necesario conocer la Presión o la temperatura si el gas está en cambio de fase, o conocer presión y temperatura si es un gas sobrecalentado.

El gráfico de Mollier es una ayuda de gran valor tanto para calcular como para visualizar un proceso y/o analizar un problema en cualquier equipo que se esté diagnosticando.

Aquí es importante destacar que de la comparación entre gráficos de distintos gases, permite apreciar las diferencias de presiones y temperaturas de operación que se lograrán en un mismo sistema si se efectúa una sustitución de refrigerante y las consecuencias en cuanto a seguridad, pérdida o ganancia de eficiencia y logro de la temperatura de trabajo deseada.

A continuación se muestra en la figura 6 el diagrama de Mollier con las propiedades del gas refrigerante R12:

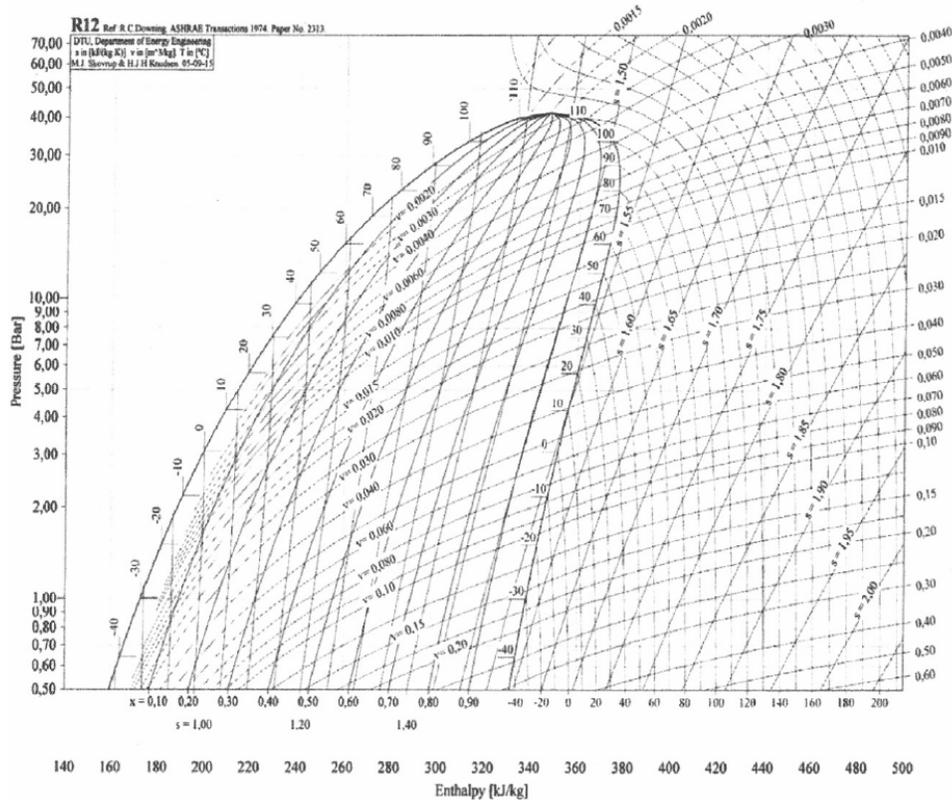


Figura 6 Gráfica presión - entalpía

Análisis del diagrama o gráfico

El gráfico tiene en su ordenada la presión absoluta [psi o en Kg/cm^2 absolutos] a escala logarítmica y en la abscisa, la entalpía en BTU/lb o en Kcal/kg a escala lineal. Ahora bien, en este gráfico encontramos tres zonas bien definidas:

- Zona de líquido.
- Zona de vapor (o cambio de estado de líquido a gas en la ebullición).
- Zona de gas.

La línea izquierda de la curva indica el inicio de la evaporación y se denomina línea de líquido saturado. En este punto se inicia la evaporación del líquido (en nuestro caso del refrigerante) y varía según la presión y la temperatura.

La zona de vapor indica el paso de líquido a gas y ocurre a presión y temperatura constante, hasta que todo el fluido se haya evaporado. Por consiguiente, durante este proceso vemos que la cantidad de líquido va disminuyendo mientras que el vapor va aumentando, cambiando solamente la entalpía.

La línea derecha de la curva indica el fin de la evaporación, se denomina línea de vapor saturado y en este punto se inicia el proceso denominado de recalentamiento y por lo tanto todo el gas es sobrecalentado. Después de esa línea todo el fluido o refrigerante poseerá otras condiciones que dependen de la temperatura y la presión. El punto de unión de las líneas de líquido saturado y de vapor saturado se denomina punto crítico y en él, tanto la temperatura como la presión se denominan temperatura crítica y presión crítica respectivamente. En este punto el refrigerante puede estar como líquido o como vapor y no tiene un valor determinado de calor latente de vaporización. Por encima de este punto el gas no pasa a fase líquida a pesar de la presión.

El proceso de evaporación bajo las condiciones de presión o temperatura predeterminada, es progresivo y un punto cualquiera de él identifica porcentualmente la cantidad de líquido convertido en vapor y se define como calidad del vapor y en el gráfico podemos leer la entalpía [h] que le corresponde, o sea la entalpía que el refrigerante tiene en ese punto. Esas líneas están dibujadas en la zona de evaporación de arriba hacia abajo y naturalmente está contenida entre 0 (totalmente líquido) y 1 (totalmente vapor). La suma de puntos de calidad 1 corresponde a la línea de vapor saturado.

Por fuera de la curva de vapor, las líneas de temperatura constante están dibujadas casi verticalmente hacia arriba en la zona de líquido y casi verticalmente hacia abajo en la zona de gas sobrecalentado.

Las líneas de entropía [s] constante están dibujadas en la zona de gas sobrecalentado. En el caso de un ciclo de refrigeración, representan el proceso de compresión del refrigerante, el cual sucede isoentrópicamente.

Las líneas de volumen específico constante del gas refrigerante están indicadas en metros cúbicos por kilogramo del material [m^3/kg] y están dibujadas en la zona de gas sobrecalentado. Esta información nos permite conocer las características del gas en un punto y en particular, en el ciclo de refrigeración, para conocer el volumen o la masa manejados por el compresor.

La historia de la refrigeración es tan antigua como la civilización misma. Se pueden distinguir dos períodos:

Figura 7 Periodo 1 Refrigeración natural. Relacionada totalmente con el uso del hielo.



Figura 8 Periodo 2 Refrigeración artificial. Mediante el uso de máquinas.



Nota : En este apartado se refiere únicamente a la refrigeración mecánica.

1.7 REFRIGERACIÓN MECÁNICA

Se define la refrigeración mecánica como aquella que incluye componentes fabricados por el hombre y que forman parte de un sistema, o bien cerrado (cíclico), o abierto, los cuales operan en arreglo a ciertas leyes físicas que gobiernan el proceso de refrigeración.

Así, se disponen de sistemas cerrados de refrigeración mediante el uso de refrigerantes halogenados como los CFC, HCFC, HFC y otros (sistemas de absorción de amoníaco, de bromuro de litio, entre los más usuales); máquinas de aire en sistemas abiertos o cerrados (muy ineficientes); equipos de enfriamiento de baja capacidad (hasta 1 ton de refrigeración) que usan el efecto Peltier o efecto termoeléctrico; otros sistemas refrigerantes a base de propano o butano y para refrigeración de muy baja temperatura se utiliza CO₂.

La criogenia en sí constituye un área altamente especializada de la refrigeración para lograr temperaturas muy bajas hasta cerca del cero absoluto (-273 °C), cuando se trata de licuar gases como helio, hidrógeno, oxígeno, o en procesos de alta tecnología y energía atómica.

La refrigeración mecánica se usa actualmente en acondicionamiento de aire para el confort así como congelación, almacenamiento, proceso, transporte y exhibición de productos perecederos. Ampliando estos conceptos, se puede decir que sin la refrigeración sería imposible lograr el cumplimiento de la mayoría de los proyectos que han hecho posible el avance de la tecnología, desde la construcción de un túnel, el enfriamiento de máquinas, el desarrollo de los plásticos, tratamiento de metales, pistas de patinaje, congelamiento de pescados en altamar, hasta la investigación nuclear y de partículas, aplicaciones en el campo de la salud y otros.

Clasificación según la aplicación:

1. Refrigeración doméstica.
2. Refrigeración comercial.
3. Refrigeración industrial.
4. Refrigeración marina y de transporte.
5. Acondicionamiento de aire de confort.
6. Aire acondicionado automotriz
7. Acondicionamiento de aire industrial.
8. Criogenia.

Objetivo de una refrigeración mecánica

El objetivo de la refrigeración mecánica es transferir el calor de un objeto o ambiente por medio de los dispositivos desarrollados por el ser humano a otro lugar.

Para lograr este propósito se parte de conocimientos de la física de los materiales y en particular, los gases, el calor, como forma de energía; siempre tiende a fluir hacia un contorno más frío. Este proceso físico se efectúa a mayor o menor velocidad según las características de resistencia que oponga el material por el que el calor circula, si es un sólido; o según la velocidad, forma, posición, densidad y otras propiedades, si se trata de un fluido como el aire o el agua.

Por consiguiente, se ha hecho necesario definir una serie de fenómenos que involucran el proceso de enfriamiento y también crear herramientas que faciliten tanto el uso de esas definiciones como la comprensión directa a partir de las características de cada fenómeno representado. Tal es el caso de los diagramas, gráficos y ecuaciones, por citar algunos.

CAPÍTULO II

REFRIGERANTES

2.1. ANTECEDENTES DE LOS REFRIGERANTES

La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el transcurso del tiempo y el avance de la civilización; al igual que la mayoría de las ciencias y técnicas, ha sido el resultado de las necesidades que la misma sociedad va creando a medida que avanzan los inventos en diferentes campos.

La refrigeración contribuye a elevar el nivel de vida de los pueblos de todos los países. Los avances logrados en refrigeración en los últimos años son el resultado del trabajo conjunto de técnicos, artesanos, ingenieros, hombres de ciencia y otros que han unido sus habilidades y conocimientos.

La base sobre la que se fabrican nuevas sustancias y materiales la suministra la ciencia. Estos conocimientos son aplicados al campo de la refrigeración por aquellos que diseñan, fabrican, instalan y mantienen equipos de refrigeración.

Las aplicaciones de la refrigeración son muy numerosas, siendo unas de las más comunes la conservación de alimentos, acondicionamiento ambiental (tanto de temperatura como de humedad), enfriamiento de equipos y últimamente en los desarrollos tecnológicos de avanzada en el área de los ordenadores.

Gases refrigerantes:

Los refrigerantes son los fluidos de transporte que conducen la energía calorífica desde el nivel a baja temperatura al nivel a alta temperatura donde pueden ceder su calor.

Los atributos que deben considerarse en los sistemas de compresión de vapor son:

- El punto de ebullición normal.
- El punto de condensación normal.

Ambos deben encontrarse a temperaturas y presiones manejables y seguras para reducir los riesgos de entrada de aire al sistema. Adicionalmente, el punto crítico debe ser lo más alto posible para hacer más eficiente el proceso de evaporación.

2.2. PROPIEDADES DE UN REFRIGERANTE

Las propiedades térmicas deseadas en los refrigerantes son:

- Presiones convenientes de evaporación y condensación.
- Alta temperatura crítica y baja temperatura de congelamiento.
- Alto calor latente de evaporación y alto calor específico del vapor.
- Baja viscosidad y alta conductividad térmica de la película.

Otras propiedades deseables son:

- Bajo costo.
- Químicamente inerte bajo las condiciones de operación.
- Químicamente inerte con los materiales con que esté construido el sistema de refrigeración.
- Bajo riesgo de explosión solo o al contacto con el aire.
- Baja toxicidad y potencial de provocar irritación.
- Debe ser compatible y parcialmente miscible con el aceite utilizado en el sistema.
- Las fugas deben ser detectadas fácilmente
- No debe atacar el medio ambiente ni actuar como agente catalizador que deteriore el equilibrio ecológico.

Los refrigerantes más usados son nombrados por una **R** y tres cifras:

- A la primera cifra se le suma 1 para obtener el número de átomos de carbono que contiene la molécula.
- A la segunda se le resta 1 para obtener el número de átomos de Hidrógeno.
- La tercera se refiere al número de átomos de Flúor.
- El resto de valencias salvo que se indique lo contrario queda cubiertas con cloro.

Por ejemplo la fórmula del R-245 sería:

Carbono: $2 + 1 = 3$ átomos

Hidrógeno: $4 - 1 = 3$ átomos

Flúor: 5 átomos

El resto de valencias cubiertas con cloro no existen.

Cuando solo aparezcan dos cifras se entiende que la primera no escrita será cero. Así tendríamos:

R-11

Carbono: $0 + 1 = 1$ átomos

Hidrógeno: $1 - 1 = 0$ átomos

Flúor: 1 átomos

Resto: Cloro

2.3. REFRIGERANTES DE LA FAMILIA DE LOS HIDROCARBUROS HALOGENADOS

Existen en la actualidad tres tipos de refrigerantes de la familia de los hidrocarburos halogenados:

CFC: (Flúor, Carbono, Cloro) Clorofluorocarbono totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su molécula química y, por lo tanto, es muy estable, esta estabilidad hace que permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero(R-11, R-12, R-115).

En referencia al Protocolo de Kioto estos refrigerantes ya no deben ser fabricados (protocolo de la CMNUCC El 11 de diciembre de 1997 en Kioto Japón).

HCFC: (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro), Es similar al anterior pero con átomos de hidrógeno en su molécula. La presencia de Hidrógeno le confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera y no llegará a la estratosfera. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición está prevista para el año 2015. (R-22).

HFC: (Hidrógeno, Flúor, Carbono) Es un fluorocarbono sin cloro con átomos de hidrógeno sin potencial destructor del ozono dado que no contiene cloro. (R-134a, 141b).

Los nuevos refrigerantes (HFC) tenderán a sustituir a los CFC y HCFC.

USO O SERVICIO CFC/HCFC HFC

Limpieza: R-11; R-141b

Temperatura media R-12, R-134a / R-409

Baja temperatura R-502, R-404/R-408

Aire Acondicionado R-22, R-407c

Tabla 1 Refrigerantes y su temperatura de servicio.

USO ó SERVICIO	CFH/HCFC	HFC
Limpieza	R-11	R-141b
Temperatura media	R-12	R-134a/R-409
Baja temperatura	R-502	R-404/R-408
Aire acondicionado	R-22	R-407c

Los refrigerantes pueden ser puros o mezcla de diferentes gases, las mezclas pueden ser azeotrópicas o no azeotrópicas.

Las mezclas azeotrópicas están formadas por tres componentes y se comportan como una molécula de refrigerante puro. Empiezan por 5 (R-500, R-502).

Las mezclas no azeotrópicas están formado por varios componentes pero la mezcla no se comporta como una molécula de refrigerante puro. Por lo tanto, la carga de refrigerante que funciona con estos gases se ha de realizar siempre por líquido ya que cada gas se comporta diferente en estado gaseoso. Empiezan por 4 (R-404, R-408, R-409). Aparte este tipo de mezclas tiene deslizamiento, lo que quiere decir que a la misma presión la temperatura es diferente si está en estado gaseoso o en estado líquido. Este deslizamiento puede ser desde 1° hasta 7°C.

Estos gases no son tóxicos en estado normal pero desplazan el oxígeno produciendo asfixia. Cuando están en contacto con llamas o cuerpos incandescentes, el gas se

descompone dando productos altamente tóxicos y capaces de provocar efectos nocivos en pequeñas concentraciones y corta exposición.

Los refrigerantes que empiezan por 7, indican que son fluidos inorgánicos. Por ejemplo, el amoníaco (NH_3) que se denomina R-717 o el R-744 que es el anhídrido carbónico (CO_2), el R-764 es el anhídrido sulfuroso (SO_2).

Los que empiezan por 6 son los isobutano como el R-600, se emplean en instalaciones domésticas. Son altamente inflamables.

Refrigerantes más usados y características.

- **R11 [CFC11]**, (punto de evaporación 23.8°C), empleado en chillers centrífugos y como agente espumante. SAO, cuya producción y empleo está actualmente siendo eliminado progresivamente.

- **R12 [CFC12]**, (punto de evaporación -29.8°C), se le ha empleado desde su desarrollo en una amplia variedad de sistemas de refrigeración y A/A; conocido como: Forane 12, Isotrón 12, Genetrón 12, Freón 12 o simplemente refrigerante F12; SAO, cuya producción y empleo está actualmente siendo eliminado progresivamente.

- **R22 [HCFC22]**, (punto de evaporación -40.8°C), empleado en A/A residencial. Si bien su PAO es menor que el de los CFC, su producción y empleo comenzará a reducirse a partir de 2016 y eliminada después de 2040.

- **R502**, mezcla azeotrópica de R22 (48,8%) y R115 (51,2%), (punto de evaporación 45.4°C), empleado en refrigeración industrial de baja temperatura. Ya casi no se lo utiliza debido a su escasez. Ha sido sustituido por otras mezclas con menor PAO.

- **R717 [NH_3]**, amoníaco, (punto de evaporación -33°C) se ha usado desde un principio en una amplia gama de aparatos y sistemas de refrigeración y recientemente se le sigue empleando en grandes instalaciones industriales y comerciales. Es tóxico, de acción corrosiva sobre las partes de cobre, zinc o sellos que contengan estos metales; tiene elevado calor latente de evaporación y relación de presión-volumen específico, convenientes.

- **R744**, [CO_2] dióxido de carbono, (punto de evaporación -78.5°C), fue usado mucho tiempo como refrigerante seguro; la exposición en recintos cerrados no es peligrosa a bajas concentraciones, pero tiene el inconveniente de requerir elevadas presiones.

- **R764**, [SO_2] dióxido de azufre, (punto de evaporación -10°C), sólo se usó en pequeños equipos de refrigeración. Es muy irritante y corrosivo, y su uso en grandes instalaciones resulta peligroso. Por tal razón, su uso fue discontinuado.

- **R40**, [CH_3Cl] cloruro de metilo, también conocido como clorometano o monoclорometano, (punto de evaporación -23.8°C), fue usado en unidades de aire acondicionado pequeñas y medianas. Es altamente inflamable (temperatura de ignición 632 de uso altamente peligroso, anestésico en concentraciones del 5 al 10%

por volumen y fue reemplazado por los CFC y HCFC). Pequeñas cantidades de humedad en el sistema producen congelamiento en la válvula de expansión.

2.4. PROPIEDADES DE LOS GASES

Para comprender bien un sistema de refrigeración es necesario conocer las propiedades fundamentales de los gases refrigerantes empleados. Las propiedades de presión, temperatura y volumen se dan por conocidos. Otras propiedades termodinámicas definidas son:

Energía interna: está identificada como U y se expresa como BTU/libra, o Kcal/kg. Es producida por el movimiento y configuración de las moléculas, los átomos y las partículas subatómicas. La parte de energía producida por el movimiento de las moléculas es llamada energía sensible interna y se mide con el termómetro y la energía producida por la configuración de los átomos en las moléculas es denominada calor latente y no se puede medir con termómetro.

- Entalpía: está identificada como h y se expresa en BTU/libra, o Kcal/kg. Es el resultado de la suma de la energía interna U y el calor equivalente al trabajo hecho sobre el sistema en caso de haber flujo. En estado estacionario es igual al calor total contenido o Q .

- Entropía: está identificada como S y se expresa en BTU/°F o Kcal/°C*kg. El cambio de entropía es igual al cambio de contenido de calor dividido por la temperatura absoluta.

2.5. RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE REFRIGERANTES

Cada día es más importante la recuperación y el reciclaje de los refrigerantes, para evitar las emisiones de gases que afectan al medio ambiente.

Para eso se emplean unidades de recuperación que extraen el gas de la instalación, lo deshidratan y extraen el aceite. Después este gas se puede emplear otra vez o almacenarse para su destrucción en el caso de los CFC.

Estos equipos llevan un pequeño compresor hermético, normalmente rotativo, además de los separadores de aceite y los filtros separadores, cuanto más grande más rápido extrae el refrigerante y más pesado.

Para evitar la liberación innecesaria de CFC's a la atmósfera, hoy en día existen una extensa variedad de máquinas recuperadoras de diferentes modelos y marcas. Las hay de dos tipos: las unidades de recuperación, que recuperan o remueven el refrigerante; y las unidades de recuperación y reciclado (R y R), que recuperan y reciclan el producto.

Existen dos métodos principales para la recuperación: en fase vapor y fase líquida, aunque algunas unidades pequeñas utilizan cilindros de recuperación, que permiten remover simultáneamente refrigerante líquido y vapor.

A continuación veremos una lista proporcionada por DuPont® de aquellos refrigerantes utilizados en la instalación de acondicionamiento de aire y refrigeración estacionaria.

REFRIGERANTE APLICACIÓN

Tabla 2 Selección para los refrigerantes marca Suva® (Equipo estacionario)

REFRIGERANTE	APLICACIÓN
Para reemplazar R-12 y R-500 Para reemplazar R-12 y R-500 Refrigerantes de servicio (HCFC) Marca Suva® MP39 (R-401) Suva® 409A (R-409A) Suva® MP66 (R-401B)	Reemplaza a R-12 – Temp. Media / Baja (mejor arriba de -26.11°C evap. (-15°F). Reemplaza a R-12 – Temp. Media / Baja (mejor arriba de -26.11°C evap. (-15°F). Reemplaza a R-500. Reemplaza a bajas temperaturas a R-12 para una mayor capacidad mejor debajo de -26.11°C (-15°F evap.).
A largo plazo (HFC) Suva® 134 ^a (R-134 ^a)	En equipos nuevos y reemplazos a R-12 a Temp. Media.

Tabla 3 Selección para los refrigerantes marca Suva® (Equipo estacionario).

REFRIGERANTE	APLICACIÓN
Para reemplazar R-500 Refrigerantes de servicio (HCFC) Marca Suva® HP80 (R-402A) Suva® 408A (R-408A) Suva® HP81 (R-402B)	Reemplaza a R-502, todas temperaturas. Reemplaza a R-502, todas temperaturas. Reemplaza a R-500, aplicaciones limitadas.
Largo plazo (HFC) Suva® HPC62 (R-404 ^a) Suva® 507 (R-507)	En equipos nuevos y reemplaza a R-502, todas temperaturas. En equipos nuevos y reemplaza a R-502, todas temperaturas.
Para reemplazar R-13, R-503 y R-23 A largo plazo (HFC) Suva® 95 (R-508B)	En equipos nuevos y reemplazos debajo de -40°F (-40°C).

Tabla 4 Selección para los Refrigerantes marca Suva® (Equipo estacionario).

REFRIGERANTE	APLICACIÓN
Para reemplazar R-22 A largo plazo (HFC) Suva® 407 Suva® 410 ^a (R-410A)	Equipos nuevos y reemplazo en aire acondicionado y bombas de calor. Conocido anteriormente como refrigerante Suva® 900. Únicamente para equipos diseñados para 410 ^a . Aire Acondicionado y bombas de calor. Anteriormente conocido como refrigerante Suva® 9100.
Para reemplazar R-11 Suva® 123	Para enfriadores de baja presión, se pueden requerir modificaciones de ingeniería.

Procedimiento para disponer y manejar adecuadamente los cilindros retornables de los refrigerantes

- Abrir lentamente las válvulas.
- No calentar arriba de 52°C (125°F).
- No dejar caer, marcar o abusar mecánicamente de los recipientes.
- No forzar las conexiones.
- No manipular indebidamente los dispositivos de alivio de presión.
- No usar cilindros desechables como tanques de aire.
- Protegerlos de la oxidación durante el almacenamiento.
- Verificar que la etiqueta concuerde con el código de color.

En el caso del manejo seguro de los refrigerantes Suva® de DuPont® se desarrollaron como reemplazos efectivos, seguros de los CFC's y HCFC-22. Estos refrigerantes alternos dan un servicio similar, y a menudo superior, comparado con los CFC's y HCFC-22, además resultan amables con el ambiente.

Al igual que los refrigerantes a los que reemplazan, los refrigerantes Suva® son de uso seguro cuando se manejan apropiadamente. Sin embargo, cualquier refrigerante puede causar daño, he incluso la muerte por un manejo inadecuado. Antes de usar cualquier refrigerante, refiérase a su hoja de datos sobre seguridad de materiales (MSDS) por sus siglas en inglés. Para tener información adicional sobre la seguridad de los refrigerantes marca Suva®.

2.6. LOS GASES Y SU CAMBIO DE ESTADO

Los cambios termodinámicos de un estado a otro tienen lugar de varias maneras, que se denominan procesos:

- Adiabático: es aquel en el cual no hay entrada ni salida de calor. El proceso de expansión de un gas comprimido se entiende como adiabático porque se efectúa muy rápido.

En un proceso adiabático : $Q = 0$, $C = 0$

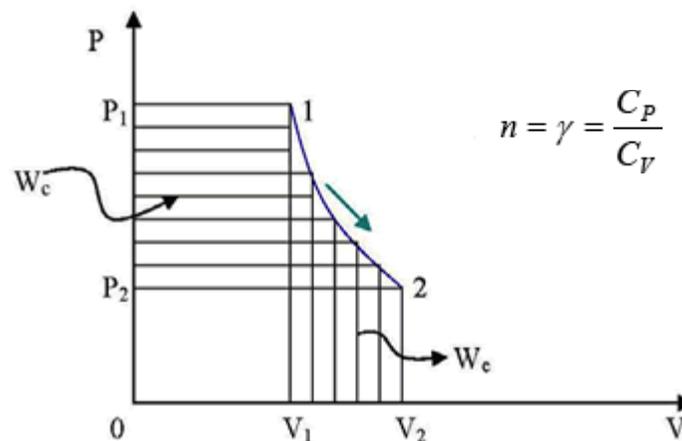
$$V \cdot P^\gamma = cte$$

Tomando T y V :

$$V \cdot T^{\gamma-1} = cte$$

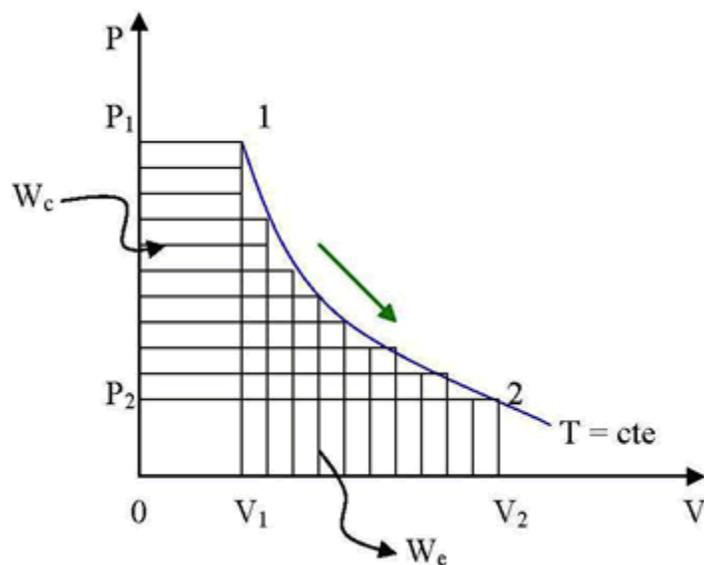
Tomando T y P:

$$T \cdot P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = cte$$



- Isotérmico: el cambio se efectúa a temperatura constante durante todo el proceso.

En un proceso isotérmico $T = \text{cte}$, $C = \infty$ $n = 1$



- Isentrópico: el cambio se efectúa a entropía constante.
- Politrópico: el cambio se efectúa según una ecuación exponencial.

CAPÍTULO III

COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

3.1 ANTECEDENTES DE LOS COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Al analizar los componentes que integran un sistema de refrigeración es necesario hacer referencia a los tres principios de transferencia de energía, ya que este capítulo tiene como propósito ubicar primero qué es un condensador, qué tipos de condensadores existen y cuál es el tipo de trabajo que desempeñan dentro de un sistema, recordemos que el refrigerante entra al condensador en forma de gas y, para que se condense, el aire absorbe el calor del refrigerante el cual sale del condensador en forma líquida. Debido a esto, la temperatura de condensación será mayor que la del aire y la diferencia entre ambas temperaturas en el condensador.

Otro elemento de igual importancia es el evaporador, podremos identificar los diferentes tipos y observar cómo absorbe éste el calor del aire caliente por medio de los tubos del serpentín que lo integran. Recordemos que se debe hacer un análisis del evaporador para saber si hay una caída de temperatura en el mismo y, si esta es alta o normal, esto depende en gran parte al diseño del sistema.

Los evaporadores del sistema de refrigeración comercial a baja temperatura tienen una gran área de superficie, por lo que su caída normal de temperatura es menor, pudiendo ser entre 5 y 8 °C, parecida a la caída normal de temperatura en refrigeración comercial de temperatura media, la que está entre 4 y 6 °C.

En nuestro caso, describiremos la válvula termostática de expansión, ya que tiene como objetivo principal regular la inyección de refrigerante líquido en los evaporadores, a través del sobrecalentamiento del refrigerante. Si el sobrecalentamiento es normal se obtiene la máxima eficiencia del evaporador y el mínimo costo de operación del sistema. Si el sobrecalentamiento es alto, la superficie del evaporador es ineficiente y se obtiene una baja capacidad del sistema de refrigeración y un alto consumo de energía y riesgo de daños al compresor. No olvidemos que estos componentes trabajan en conjunto con diversos accesorios como válvulas solenoides, filtros, señales de cristal por mencionar algunos.

3.2. CONDENSADOR

El primer componente principal que se discutirá es el condensador. El condensador es el cambiador de calor que rechaza calor del refrigerante al aire, al agua, o a un poco de otro líquido. Los tres tipos comunes de condensadores son refrigerados, refrigerados por agua y evaporativos.

Otra forma de explicar es: El condensador extrae el calor del refrigerante por medios naturales o artificiales (forzado). El refrigerante es recibido por el condensador en forma de gas y es enfriado al pasar por los tubos hasta convertir toda la masa refrigerante en líquido; su diseño debe garantizar el cumplimiento de este proceso, de lo contrario se presentarán problemas de funcionamiento.

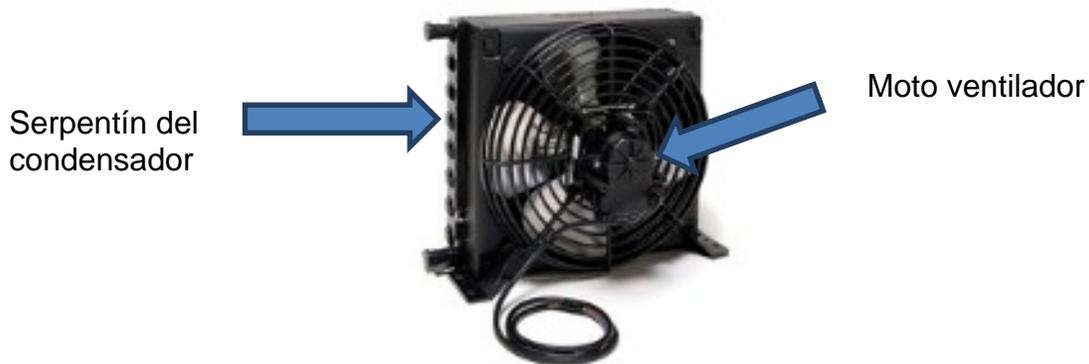


Figura 9 Ciclo del fluido de trabajo en el condensador.

Condensador evaporativo

Un tipo de condensador donde el refrigerante atraviesa los tubos y rechaza calor para ventilar. El aire se dibuja a través de los tubos, que son mojados en el exterior por el agua en circulación.

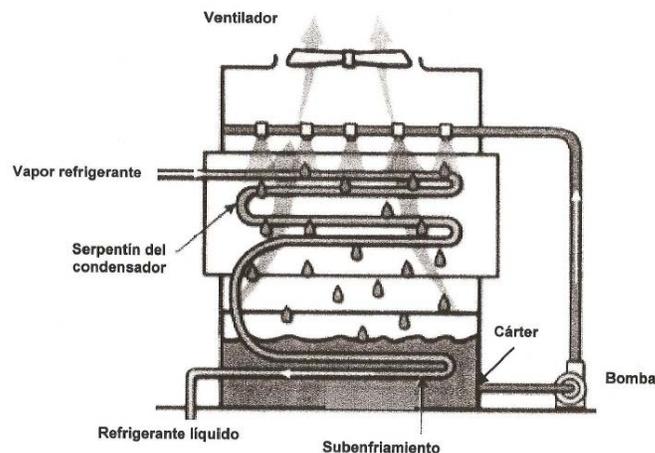


Figura 10 Ciclo del fluido de trabajo para un condensador evaporativo.

Condensador refrigerado

Un condensador refrigerado típico utiliza el propulsor tipo ventiladores para dibujar el aire al aire libre sobre una superficie del traspaso térmico del aleteado-tubo.

La diferencia de la temperatura entre el vapor refrigerante caliente que está atravesando los tubos y el aire libre más fresco induce traspaso térmico.

La reducción que resulta en el contenido de calor del vapor refrigerante lo hace condensar en líquido. Dentro del final, pocas longitudes de la tubería del condensador (el subenfriamiento), el refrigerante líquido se refrescan más a fondo debajo de la temperatura en la cual fue condensado.

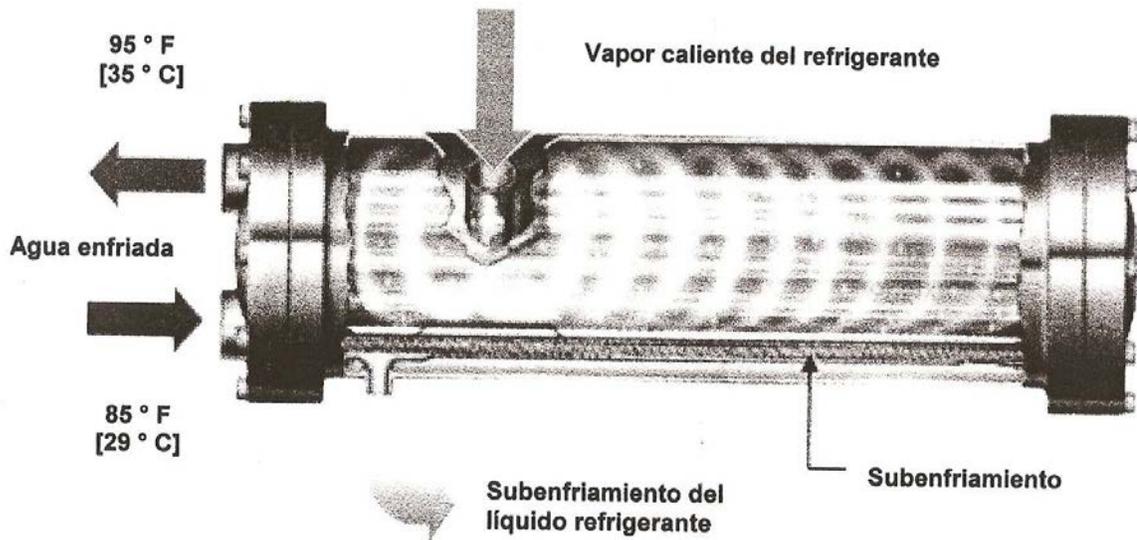


Figura 11 Funcionamiento del condensador refrigerado y los beneficios del subenfriamiento.

Condensador refrigerado con ventilador centrífugo

Un tipo de condensador refrigerado que utiliza un ventilador centrífugo en vez de un ventilador de propulsor, permitiendo que supere las presiones estáticas más grandes asociadas a la canalización.



Figura 12 Motoevaporador con motoventilador Centrífugo.

Torre de enfriamiento.

Es un dispositivo utilizado para eliminar el calor desde un condensador de agua refrigerada, roseando el agua condensada sobre aletas, dibujando una cortina de agua, por lo que, el aire exterior ascendente pasa por las aletas refrigerando el agua que llega al depósito.

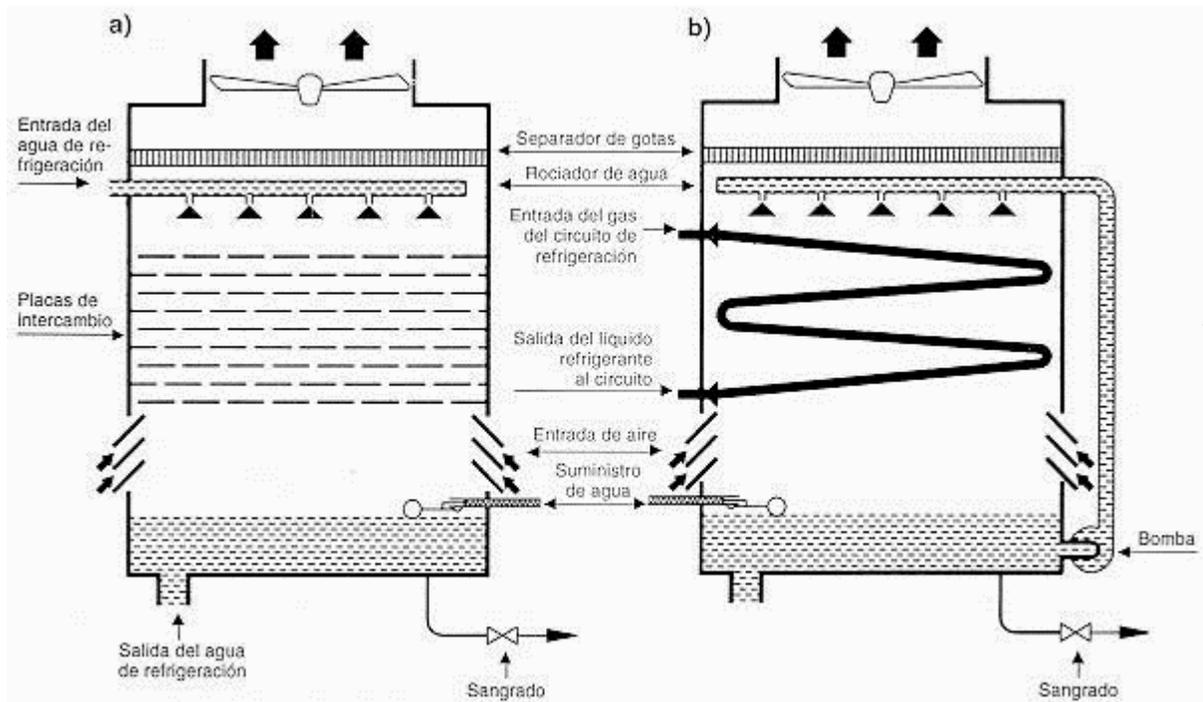


Figura 13 Ciclo del fluido de trabajo en una torre de enfriamiento.

3.3. EVAPORADOR

El segundo componente principal que se discutirá es el evaporador. El evaporador es un cambiador de calor que transfiere calor del aire, del agua, o de un poco de otro líquido al refrigerante líquido fresco. Dos tipos comunes de evaporadores son el aleta-tubo y el carcasa-tubo.



Figura 14 Evaporador automotriz de expansión directa.

Evaporadores de aleta-tubo

Un evaporador de aleta-tubo incluye los tubos que pasan a través de las hojas de aletas formadas. El refrigerante fresco líquido atraviesa los tubos, refrescando las superficies del tubo y de la aleta. Mientras que el aire pasa a través de la bobina y viene en contacto con las superficies frías de la aleta, el calor se transfiere del aire al refrigerante. Este traspaso térmico hace al refrigerante hervir y dejar al evaporador como vapor.

Para proporcionar traspaso térmico uniforme a través de la bobina, el refrigerante líquido se distribuye a los tubos de la bobina en varios circuitos paralelos. Un distribuidor se utiliza para asegurar la distribución refrigerante uniforme a través de estos circuitos múltiples de la bobina. Distribuye la mezcla refrigerante líquida del vapor a la bobina a través de varios tubos de la longitud y del diámetro iguales.

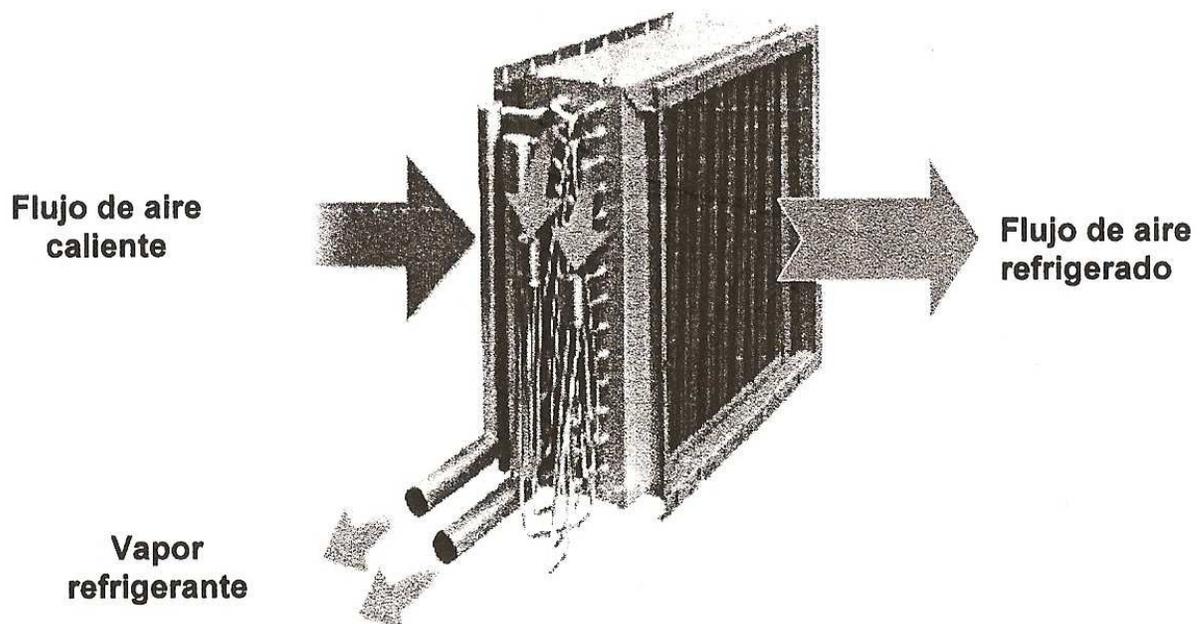


Figura 15

Mientras que el refrigerante pasa a través de los tubos del serpentín, el refrigerante líquido absorbe calor del aire al hervir en forma de vapor. El vapor refrigerante sale de los tubos de la bobina y regresa al compresor por el tubo de succión.

Evaporadores de carcasa-tubo

En vez de producir un aire más fresco, un evaporador de la carcasa y del tubo es usado para producir agua enfriada. En este tipo de evaporador, el refrigerante líquido fresco atraviesa los tubos y el agua llena el espacio de la carcasa que rodea los tubos. Mientras que el calor se transfiere del agua al refrigerante, las ebulliciones del refrigerante dentro de los tubos y del vapor que resulta se dibujan al compresor. El agua incorpora la carcasa en un extremo y se va al extremo opuesto. Esta agua enfriada se bombea a cambiadores de uno a más calor para manejar la carga que se

refresca del sistema. Estos cambiadores de calor podrían ser bobinas usadas para refrescar el aire o podrían ser una cierta otra carga que requiere el agua enfriada.

Los baffles dentro de la carcasa dirigen el agua en una trayectoria de levantamiento y que cae del flujo sobre los tubos que llevan el refrigerante. Esto da lugar a la turbulencia que mejora el traspaso térmico.

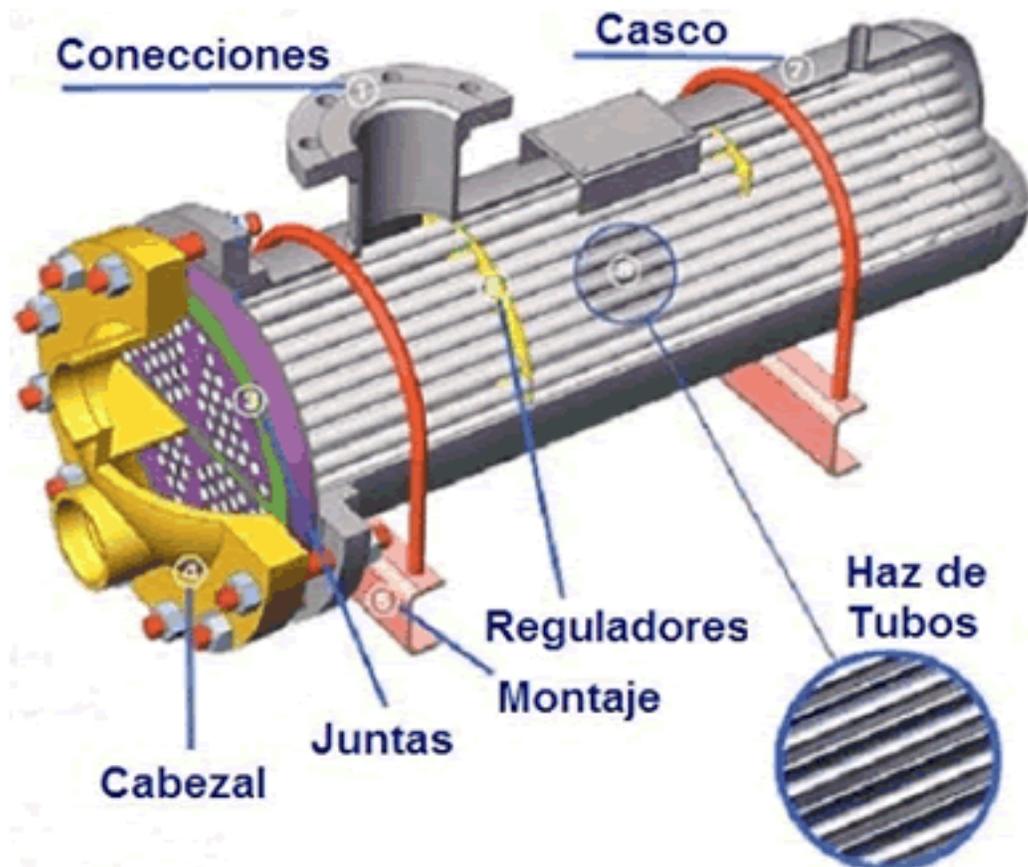


Figura 16 Evaporador de carcasa y tubo.

Control del evaporador

La capacidad del evaporador se rige por:

- La diferencia de la temperatura entre el refrigerante y aire o agua que son refrescados.
- Caudal del aire o del agua a través del evaporador.
- Caudal del refrigerante a través del evaporador.

3.4. DISPOSITIVO DE EXPANSION

La válvula de expansión realiza dos importantes funciones, la primera retiene la diferencia de presión establecida por el compresor entre el lado de alta presión y el lado de baja presión. Esta diferencia de presión provoca una temperatura de evaporación suficientemente baja para absorber el calor del aire interno, al mismo tiempo hace la función de permitir la condensación a la presión que se tiene en el condensador.

Debido a su fase de adaptación a cualquier tipo de aplicaciones de refrigeración, la válvula de expansión termostática es la más usada para el control del refrigerante.

La válvula de expansión ejecuta su función de dosificar el refrigerante midiendo las condiciones de vapor en el lado de salida del evaporador. La operación de la válvula termostática es el resultado de tres fuerzas de presión independientes:

- 1.-Presión del evaporador.
- 2.-Presión ejercida por el resorte.
- 3.- Presión debida al bulbo sensor.

Generalmente las válvulas de expansión termostáticas son ajustadas por el fabricante para un rango de sobrecalentamiento de 7 a 10°F, este ajuste no deberá cambiarse excepto cuando sea absolutamente necesario. La válvula se mantendrá a dicho sobrecalentamiento para todas las condiciones de carga independientemente de la temperatura y presión que se tenga en el evaporador.

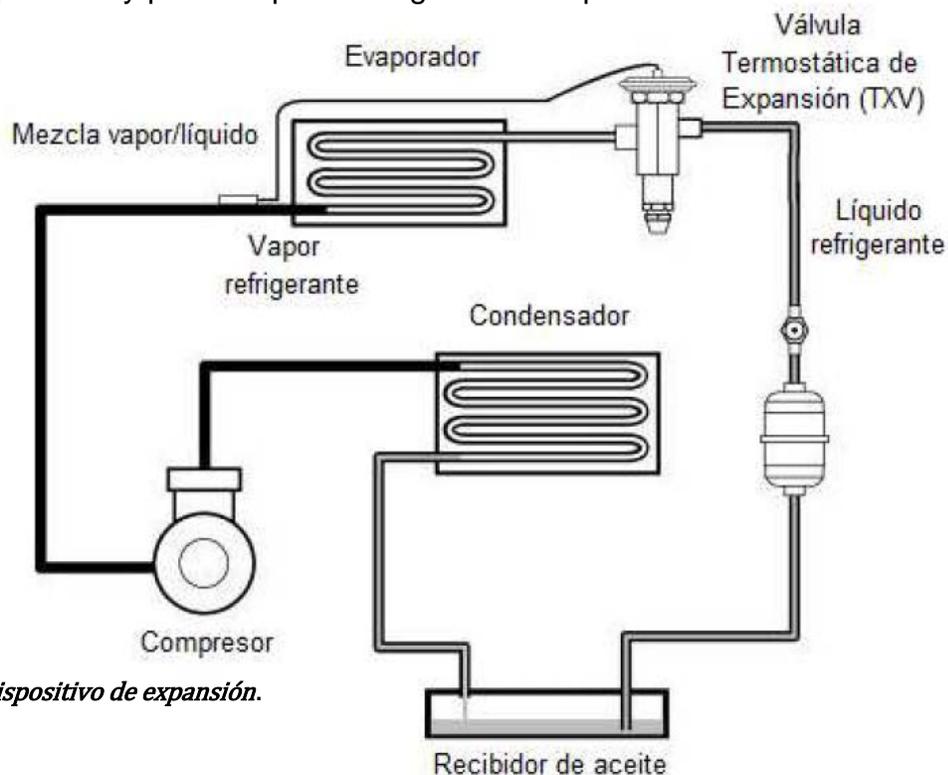


Figura 17 Dispositivo de expansión.

Fijar el sobrecalentamiento.

Insuficiente sobrecalentamiento:

- Riesgo del daño al compresor por el refrigerante líquido.

Demasiado sobrecalentamiento:

- Reducción de la eficacia del sistema.
- Escarache del serpentín.
- Riesgo del daño del compresor debido al recalentamiento.

Un típico y recomendado ajuste del sobrecalentamiento es a partir de los 4.4 a 6.7°C (8 a 12 °F). Insuficiente sobrecalentamiento es aventurado porque presenta un peligro de permitir que el refrigerante deje el evaporador en el estado líquido. Según lo mencionado anteriormente, el compresor se diseña para comprimir el vapor, no líquido. El refrigerante líquido puede causar daño al compresor.

Demasiado sobrecalentamiento daña la superficie del tubo y esto afecta a la producción, reduciendo eficacia del sistema. En casos extremos puede conducirse hasta el compresor ocasionando que se recaliente, posiblemente acortando su vida de servicio.

3.5. ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION.

Este periodo discute varios accesorios usados en el sistema de refrigeración comodidad que se refresca, incluyendo: Válvula de solenoide, línea-liquida secadora del filtro, humedad-indicando el cristal de la vista, la línea filtro de succión, el silenciador caliente del gas, la válvula de cierre y el puerto del acceso.

La válvula de solenoide se utiliza para parar el flujo del refrigerante dentro del sistema.

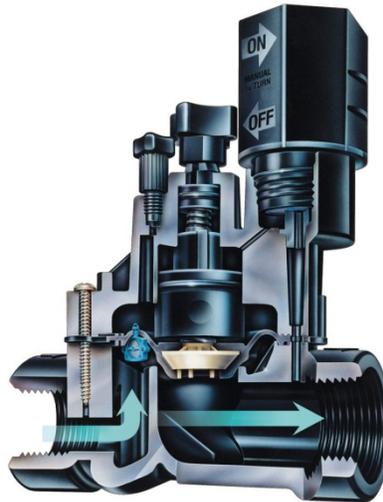


Figura 18 Válvula solenoide.

Línea-líquido secadora del filtro evita que la humedad y materia extraña al sistema dañen las válvulas o el compresor.



Figura 19 Línea líquida del filtro.

Mirilla de cristal, que indica la humedad, permite que el operador observe la condición del refrigerante dentro de la línea líquida antes que incorpore el dispositivo de la expansión.



Figura 20 Mirilla de cristal.

Línea filtro de succión, protege el compresor contra materia extraña en la línea de succión.



Figura 21 Tipos de filtro de succión.

Componentes del sistema de refrigeración

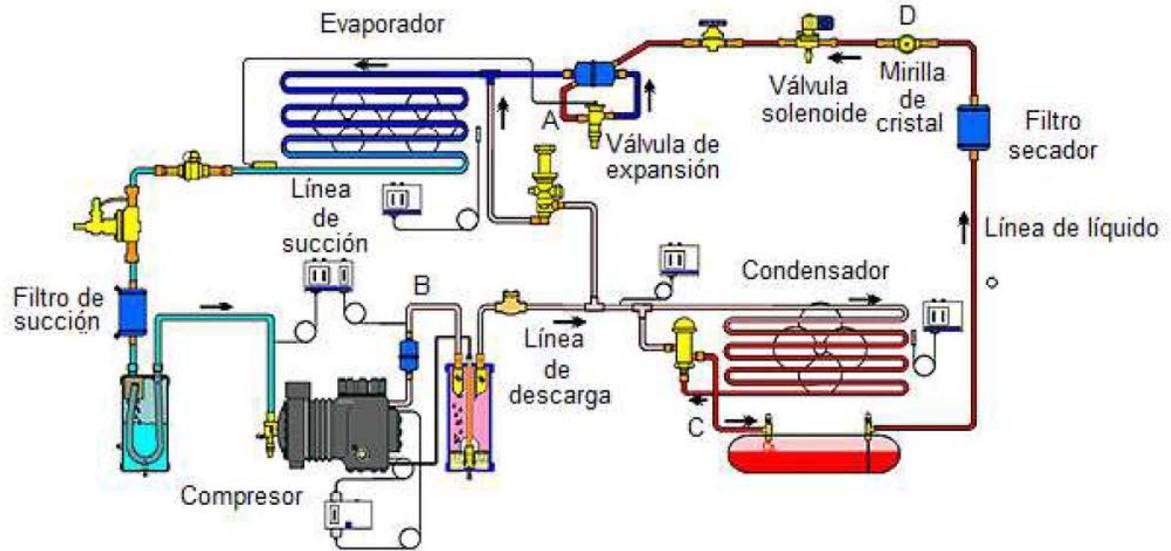


Figura 22 Disposición de accesorios del sistema de refrigeración mecánica.

CAPÍTULO IV

COMPRESORES

4.1. ANTECEDENTES DE LOS COMPRESORES

Se han escrito muchos artículos sobre las causas principales de las fallas mecánicas relacionadas a los compresores de refrigeración. Desarmando un compresor y analizando sus partes, un técnico puede típicamente determinar la falla dentro de cinco categorías:

1. Retorno de líquido: El refrigerante líquido vuelve al compresor mientras que éste está en funcionamiento.
2. Arranque inundado: El compresor arranca con líquido en el casco o en el cárter.
3. Recalentamiento: La temperatura de la línea de descarga tomada sobre la tubería a 6 pulgadas (15 cm.) de la válvula de servicio de descarga excede los 225 °F (107 °C).
4. Golpe de líquido: Compresión del líquido.
5. Pérdida de la lubricación: La cantidad de aceite que sale del compresor es mayor que la cantidad de aceite que retorna al compresor. Saber en cuál de estas categorías entra un compresor con fallas puede ayudar a los técnicos a resolver el problema antes de instalar otro compresor. Este conocimiento de fallas resulta crucial para detener la cadena de posibles fallas repetitivas.

Recordemos que el compresor es el mecanismo más importante dentro de un sistema de refrigeración.

Las estadísticas de fallas que guardan los fabricantes de compresores muestran que la mayoría de estas se manifiestan en los compresores de reemplazo. Esto indica claramente que la causa que originó el daño del compresor original continua ahí sin ser resuelta.

La mayoría de las fallas de los compresores se debe a deficiencias del sistema en el que están siendo aplicados. Estas deficiencias deben ser minuciosamente identificadas y corregidas, para que la falla no ocurra en el compresor ni en uno de reemplazo.

La inspección completa del compresor es imprescindible, ya que revela el origen del problema y en consecuencia, indica las correcciones que deben hacerse en el sistema. Por ejemplo el retorno del refrigerante líquido se manifiesta mientras el compresor está en funcionamiento. El refrigerante líquido se mezcla con el aceite alterando su capacidad de lubricar convenientemente.

En compresores semi-herméticos o reciprocantes, refrigerados por aire, la falla puede hacerse evidente al observar un desgaste pronunciado en los anillos del pistón mismo, producido por el “lavado” de las paredes de los cilindros ante la presencia del líquido refrigerante.

En el caso de un compresor refrigerado por refrigerante, el refrigerante líquido que esté retornando al compresor, se alojará en el fondo del cárter. La bomba de aceite tomará una mezcla de aceite rica en refrigerante y la bombeará a los bujes calientes del cigüeñal. El calor vaporizará el refrigerante presente en la mezcla destruyendo la película lubricante, lo cual generará roce de metal contra metal y el consiguiente desgaste. Este desgaste se manifestará en forma progresiva, haciéndose más pronunciado en los bujes que estén más calientes y que son los más cercanos al motor.

4.2. PROCESO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

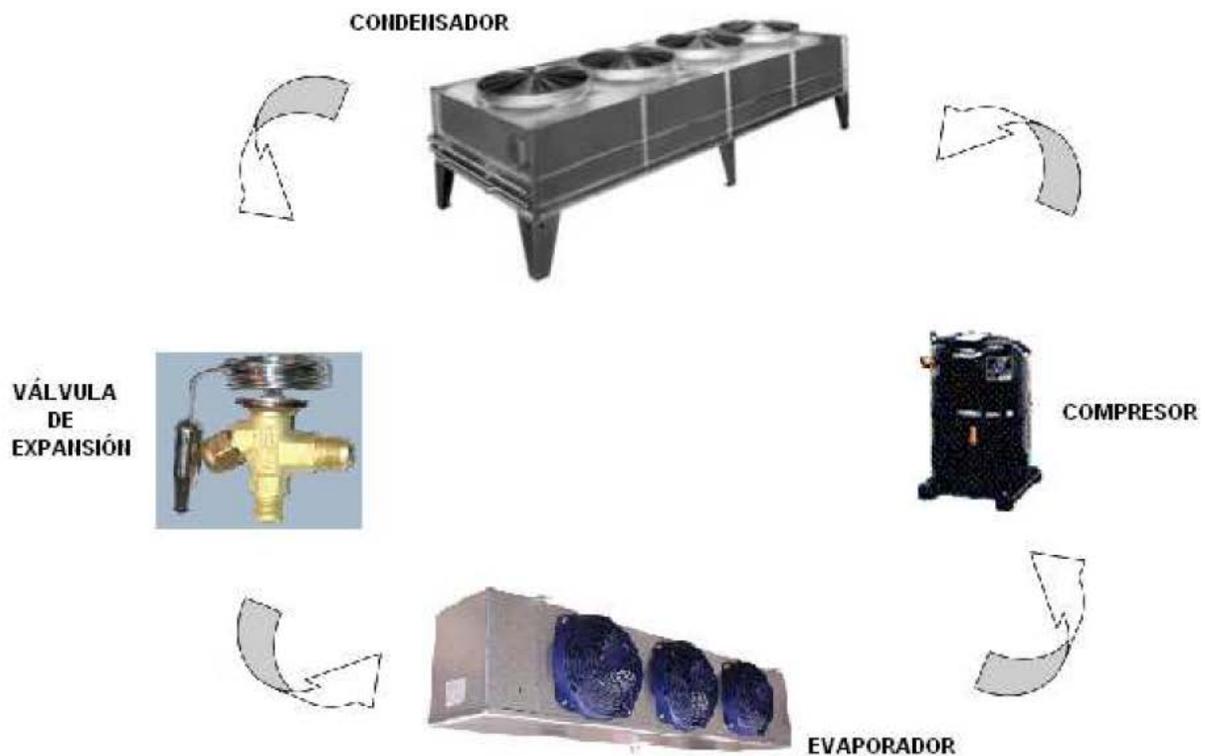


Figura 23 Sistema de refrigeración mecánica.

4.3. CICLO DE REFRIGERACIÓN.

En el gráfico siguiente se superpone un esquema de un sistema de refrigeración y un gráfico de Mollier para destacar la correlación que existe entre ambos cuando se identifican los procesos que se llevan a cabo en cada uno de los cuatro componentes principales de un sistema de refrigeración con los puntos característicos que identifican cada uno de los pasos en el diagrama de Mollier.

Diagrama de un ciclo básico de refrigeración

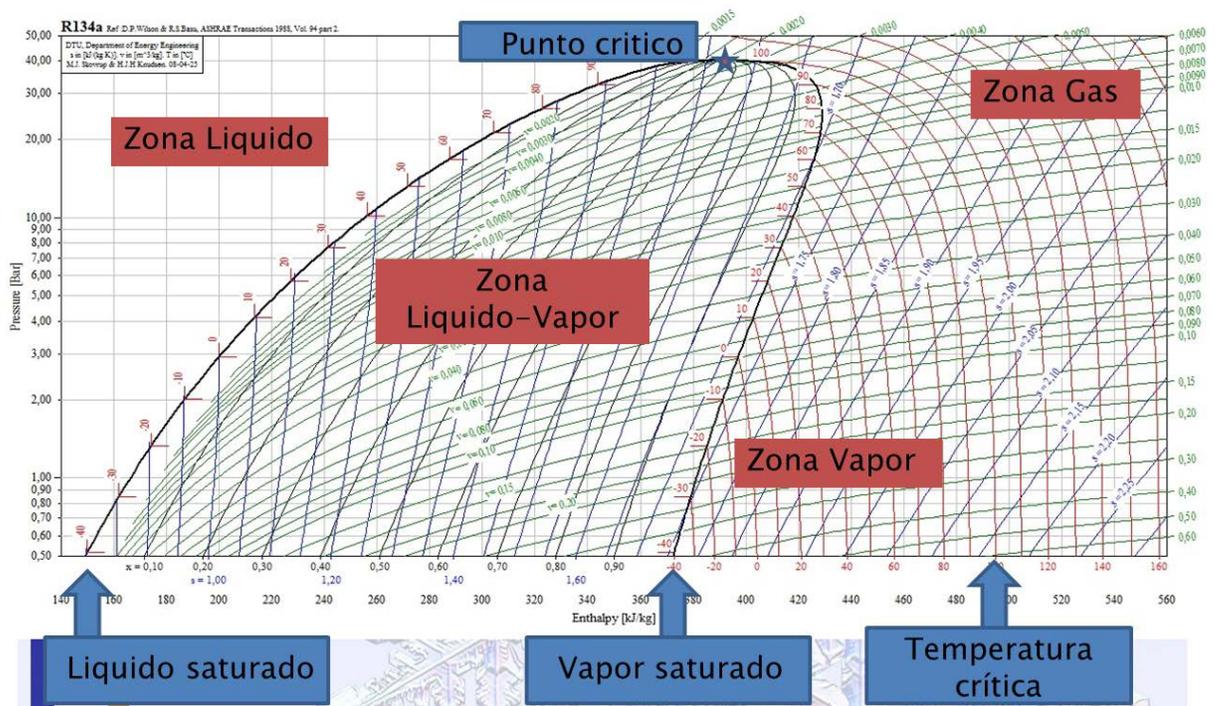


Figura 24 Diagrama de Mollier para refrigerante 134a.

Debemos recordar que el objeto de un proceso de refrigeración es extraer calor de los materiales: alimentos, bebidas, gases y de cualquier otro material que deseemos enfriar, valiéndonos de los principios de la física como del conocimiento del ingenio humano sobre el comportamiento de los fluidos y materiales desarrollados durante el avance de la tecnología.

Como su nombre, ciclo, lo indica, se trata de un proceso cerrado en el cual no hay pérdida de materia y todas las condiciones se repiten indefinidamente.

Dentro del ciclo de refrigeración y basado en la presión de operación se puede dividir el sistema en dos partes:

- Lado de alta presión: parte del sistema que está bajo la presión del condensador.
- Lado de baja presión: parte del sistema que está bajo la presión del evaporador.

El proceso básico del ciclo consta de cuatro elementos.

Lado de alta presión

Compresor: comprime el refrigerante en forma de gas sobrecalentado. Éste es un proceso a entropía constante y lleva el gas sobrecalentado de la presión de succión (ligeramente por debajo de la presión de evaporación) a la presión de condensación, en condiciones de gas sobrecalentado.

Dispositivo de expansión: es el elemento que estrangula el flujo del líquido refrigerante para producir una caída súbita de presión obligando al líquido a entrar en evaporación. Puede ser una válvula de expansión o un tubo de diámetro muy pequeño en relación a su longitud [capilar].

Lado de baja presión.

Evaporador: suministra calor al vapor del refrigerante que se encuentra en condiciones de cambio de estado de líquido a gas, extrayendo dicho calor de los productos o del medio que se desea refrigerar.

El evaporador debe ser calculado para que garantice la evaporación total del refrigerante y producir un ligero sobrecalentamiento del gas antes de salir de él, evitando el peligroso efecto de entrada de líquido al compresor, que puede observarse como presencia de escarcha en la succión, lo cual prácticamente representa una condición que tarde o temprano provocará su falla.

Cumpliendo el ciclo, el sistema se cierra nuevamente al succionar el refrigerante el compresor en condiciones de gas sobrecalentado.

Otros dispositivos

Usualmente se insertan a ambos lados de presión (alta/Baja) en el sistema, con fines de seguridad y de control, varios dispositivos como son:

Filtro secador: su propósito es retener la humedad residual contenida en el refrigerante y al mismo tiempo filtrar las partículas sólidas tanto de metales como

cualquier otro material que circule en el sistema. Normalmente se coloca después del condensador y antes de la entrada del sistema de expansión del líquido. La selección del tamaño adecuado es importante para que retenga toda la humedad remanente, después de una buena limpieza y evacuación del sistema.

Visor de líquido: su propósito es el de supervisar el estado del refrigerante (líquido) antes de entrar al dispositivo de expansión. Al mismo tiempo permite ver el grado de sequedad del refrigerante.

Separador de aceite: como su nombre lo indica, retiene el exceso de aceite que es bombeado por el compresor con el gas como consecuencia de su miscibilidad y desde allí lo retorna al compresor directamente, sin que circule por el resto del circuito de refrigeración. Solo se emplea en sistemas de ciertas dimensiones.

Existen otros dispositivos que han sido desarrollados para mejorar la eficiencia del ciclo de refrigeración, tanto en la capacidad de enfriamiento (subenfriamiento), como en el funcionamiento (control de ecualización); o para proteger el compresor como es el caso de los presostatos de alta y baja que bloquean el arranque del compresor, bajo condiciones de presiones en exceso o en defecto del rango permitido de operación segura, e impiden que el compresor trabaje en sobrecarga o en vacío, y los filtros de limpieza colocados en la línea de succión del compresor en aquellos casos en que se sospeche que el sistema pueda tener vestigios no detectados de contaminantes.

4.4. ELEMENTO PRINCIPAL

Compresor. Es el dispositivo mecánico en el sistema de refrigeración utilizado para incrementar la presión y la temperatura del vapor refrigerante. El compresor es el corazón del sistema de refrigeración. De acuerdo con el tipo de sistema se identifica al compresor y existen 4 tipos principales.



Figura 25
Tipos de compresores.

4.5. COMPRESOR CENTRIFUGO

Entre muchas aplicaciones industriales de compresión de gases, también se emplean compresores centrífugos en refrigeración a gran escala. Su primera utilización con este fin data de 1922.

Se los emplea principalmente en Chillers de agua helada de grandes instalaciones de aire acondicionado central de grandes edificios e instalaciones industriales.

Funcionan comprimiendo el gas por fuerza centrífuga impulsado por varios álabes que giran a alta velocidad y son máquinas de grandes dimensiones.

En este tipo de compresor el gas comprimido del impulsor de la primera etapa fluye a través de los álabes de entrada fijos de la segunda etapa y hacia el interior del impulsor de la segunda etapa. Aquí, el gas refrigerante se comprime nuevamente, descargándose a través de los álabes guía variables de la tercera etapa y hacia el interior del impulsor de la tercera etapa. Una vez que el gas se comprime por tercera vez, entonces se descarga al condensador.

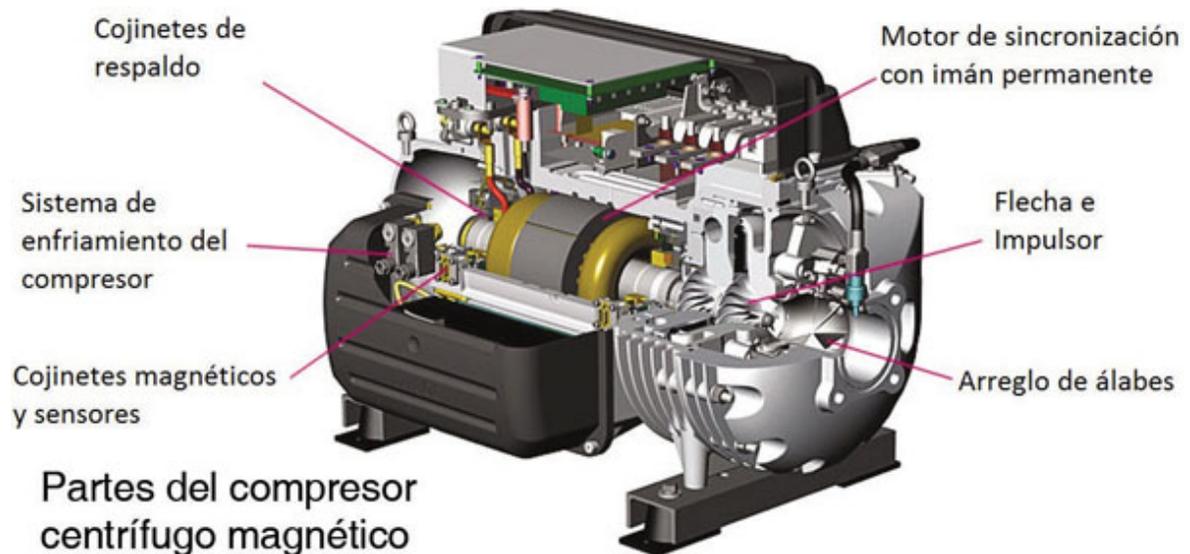


Figura 26 Compresor centrífugo. DANFOOS boletín MCQUAY

4.6. COMPRESOR HELICOIDAL ROTATORIO “TORNILLO”

El compresor de tornillo consiste en un juego de tornillos helicoidales, que pueden ser dos o tres, dependiendo del diseño, que giran sincronizadamente, con superficies de contacto sumamente pulidos, a distancias mínimas una de otras, separadas por la película de lubricante y que, en virtud del giro, crean una diferencia de presión entre un extremo y el otro de las helicoides, con lo cual se comprime el gas refrigerante.

Su aplicación principal es en equipos de gran tamaño, principalmente chillers y requieren de un cuidadoso mantenimiento, para asegurar ausencia de vibraciones por cojinetes o rodamientos y una presión de lubricación constante para asegurar la correcta compresión del gas.

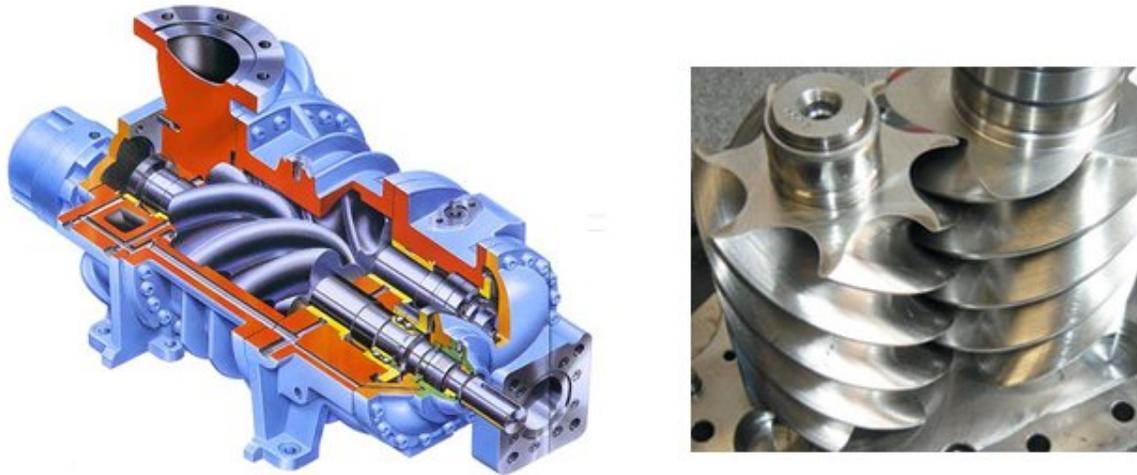
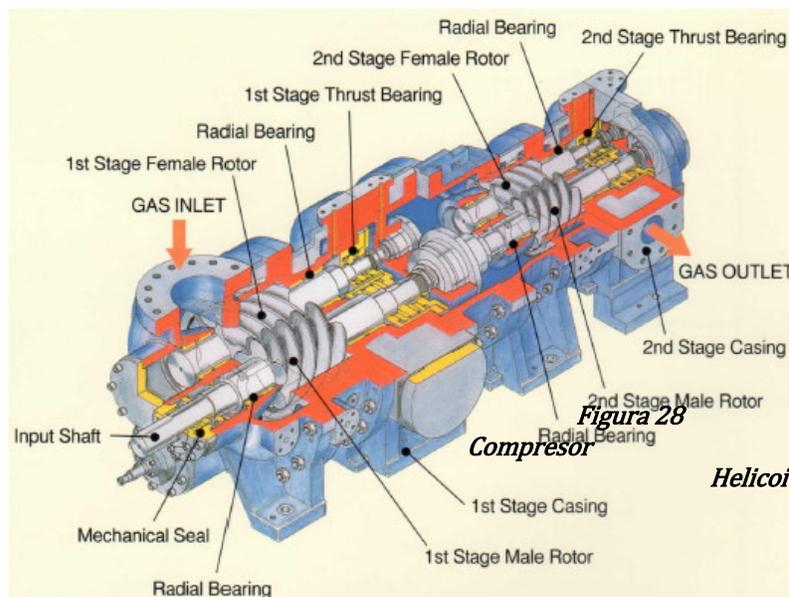


Figura 27 Compresor de tornillo.

Cada compresor tiene solamente cuatro piezas principales; dos rotores que proporcionan la compresión, las válvulas masculinas y femeninas del carga-control. El rotor macho se une al motor hembra es conducido por el rotor masculino. Los rotores y el motor son apoyados por los cojinetes.



No hay contacto físico entre los rotores y la cubierta del compresor. Los rotores entran en contacto con el punto donde ocurre la acción de los rotores. El aceite se inyecta en los rotores del compresor, cubriendo los rotores y el interior de la cubierta del compresor. Aunque este aceite proporciona la lubricación al rotor, su función primaria es sellar los espacios de la separación entre los rotores y la cubierta del compresor. Un sello positivo entre estas piezas internas realiza la eficacia del compresor limitando la salida entre las cavidades de las presiones.

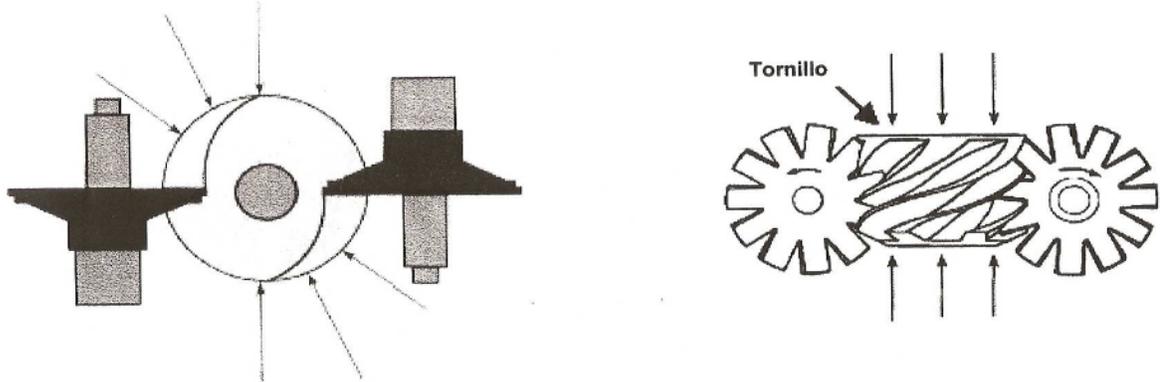


Figura 29 Acción y balance de las fuerzas radiales (izq.) y axiales (der.).

El compresor rotatorio helicoidal es un dispositivo positivo de desplazamiento. El vapor refrigerante del evaporador se aspira dentro de la abertura de la succión del compresor (estado 1), a través de una pantalla del tamiz de la succión a través del motor (que proporciona el motor que se refresca) y en el producto de los rotores compresores. El gas después se comprime y se descarga a través de una válvula check y en la línea de descarga (estado 2).

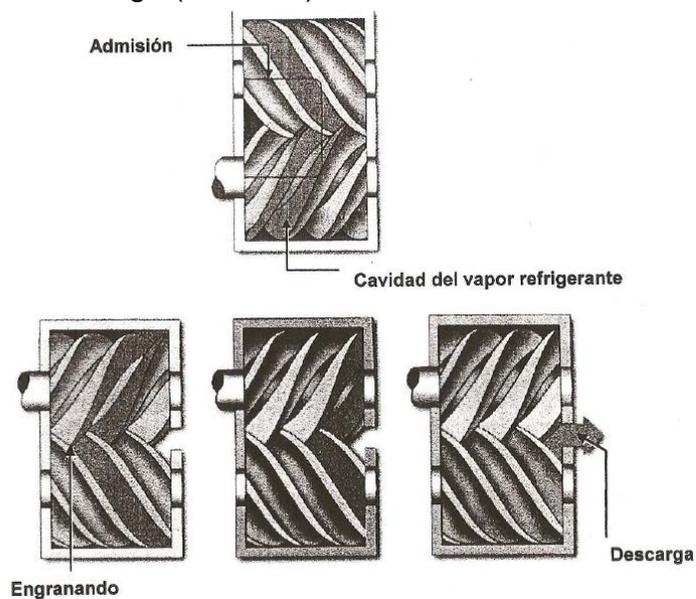


Figura 30 Comportamiento del vapor refrigerante en la admisión y la descarga.

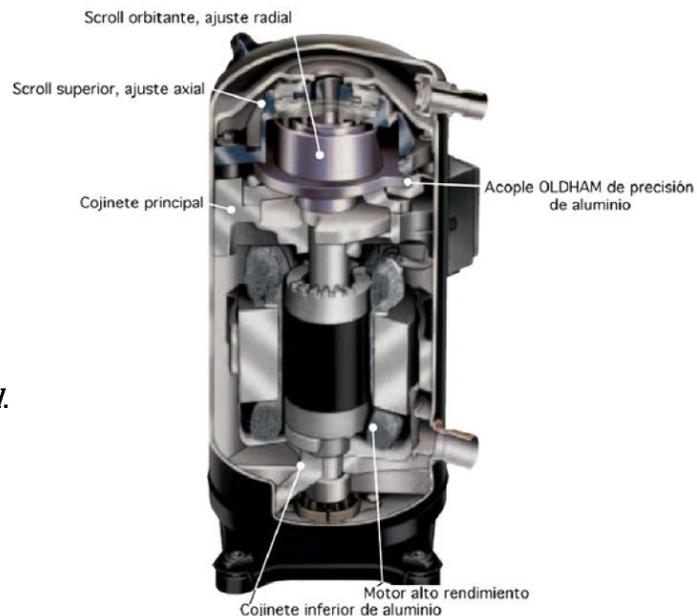
4.7. COMPRESOR SCROLL

Los compresores “scroll” consisten en dos espirales metálicas montados de tal manera que uno orbita excéntricamente manteniendo permanentemente una línea de contacto tangente con el otro espiral fijo. Esta línea de contacto se desplaza desde el extremo externo de ambas espirales hacia el centro, donde se encuentra la descarga. Este desplazamiento de la línea de contacto empuja una masa de gas desde la succión, ubicada junto al borde externo hacia la descarga que, como ya dijimos se ubica en el centro geométrico de ambas espirales, comprimiéndolo pues el volumen decrece a medida que los radios de las espirales disminuyen. Como el movimiento es rotativo y continuo, es silencioso y están siendo empleados con ventajas en aire acondicionado en sistemas domésticos.



Figura 31 Compresor scroll. Catalogo EMERSON

La operación de este compresor es la siguiente; el gas de la succión se dibuja dentro del compresor, el gas entonces pasa por el boquete entre el rotor y el estator refrescando el motor, antes de que entre en la cubierta del compresor. Aquí la velocidad del gas se reduce, causando una separación del aceite arrastrado de la corriente del gas. El gas, entonces, incorpora el comportamiento del producto, cerca las volutas.



*Figura 32
Características del compresor scroll.
CATALOGO EMERSON*

Finalmente, el gas de la succión se estira dentro del montaje de la voluta donde se comprime y se descarga en la cubierta del compresor. La cubierta de este compresor actúa de forma similar a un silenciador de gas caliente que humedece las pulsaciones antes de que el gas incorpore la línea de descarga. Inicia por la interacción de una espiral móvil y un espiral fija, en donde entra el gas por la parte externa a medida que la espiral gira. Cada voluta tiene paredes en una forma de espiral.

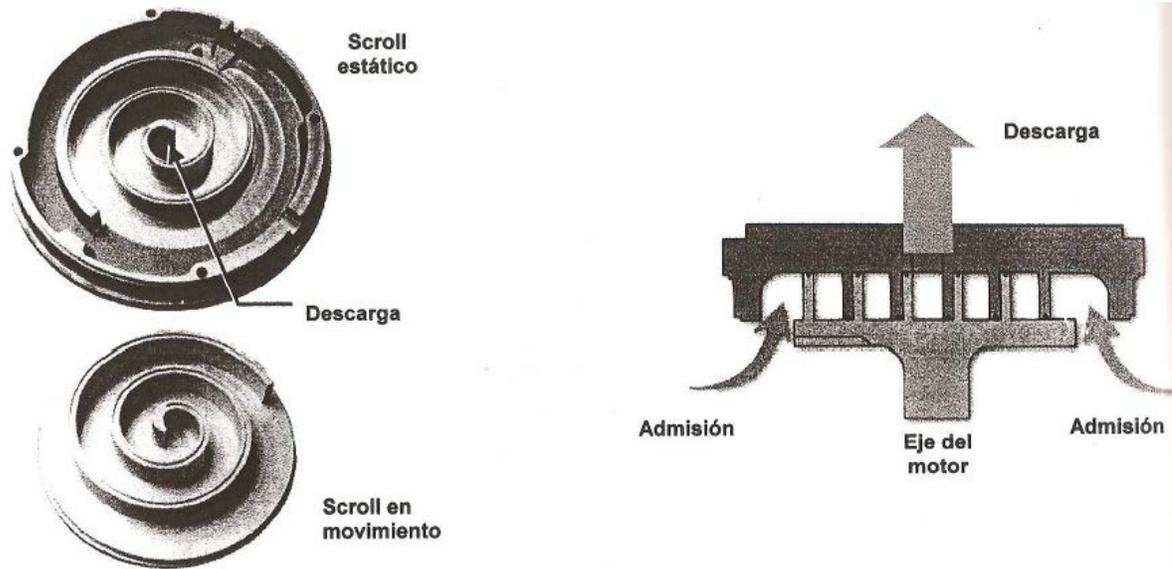


Figura 33. Componentes y desarrollo del movimiento del compresor scroll.

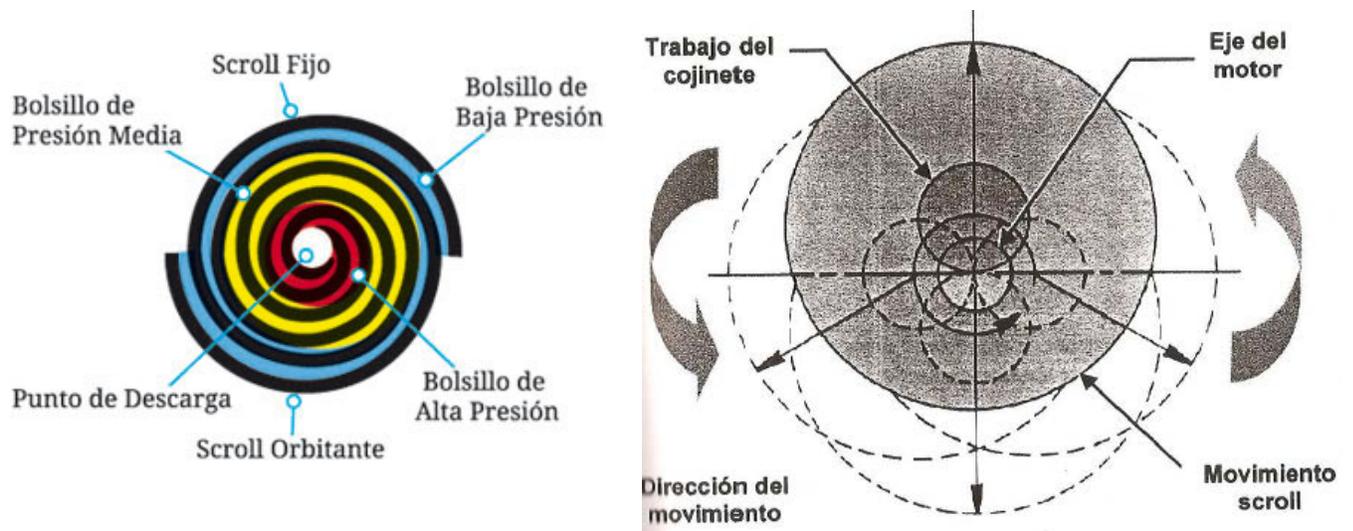


Figura 34 Comienzo del movimiento de rotación y fase de admisión.

Fases

Aspiración: En la primera órbita, 360°, en la parte exterior de las espirales se forman y llenan totalmente de vapor.

Compresión: En la segunda órbita, 360°, tiene lugar la compresión a medida que dichas celdas disminuyen el volumen del gas refrigerante, acercándolo hacia el centro de la espiral fija, alcanzándose al final de la segunda órbita.

Descarga: En la tercera y última órbita, puestas ambas celdas en comunicación con la lumbrera de escape, tiene lugar la descarga (escape) a través de ella.

Cada uno de los tres pares de celdas, estarán en cada instante en alguna de las fases descritas, lo que origina un proceso en el que la aspiración, compresión y descarga tienen lugar simultáneamente y en secuencia continua, eliminándose por esta razón las pulsaciones casi por completo.



Figura 35 Fases de trabajo del compresor scroll.

4.8. COMPRESOR RECIPROCANTE TIPO ABIERTO

Existen tres diseños básicos de compresores recíprocos para refrigeración: el abierto, el semi-hermético y el hermético.

El compresor de tipo abierto es impulsado por una fuente de energía externa, generalmente un motor eléctrico. El impulsor está acoplado a la flecha del compresor por medio de un cople flexible. Dado que la flecha sobresale por la caja del compresor, se utiliza un sello de anillo de anillo de carbón para sellar la abertura.

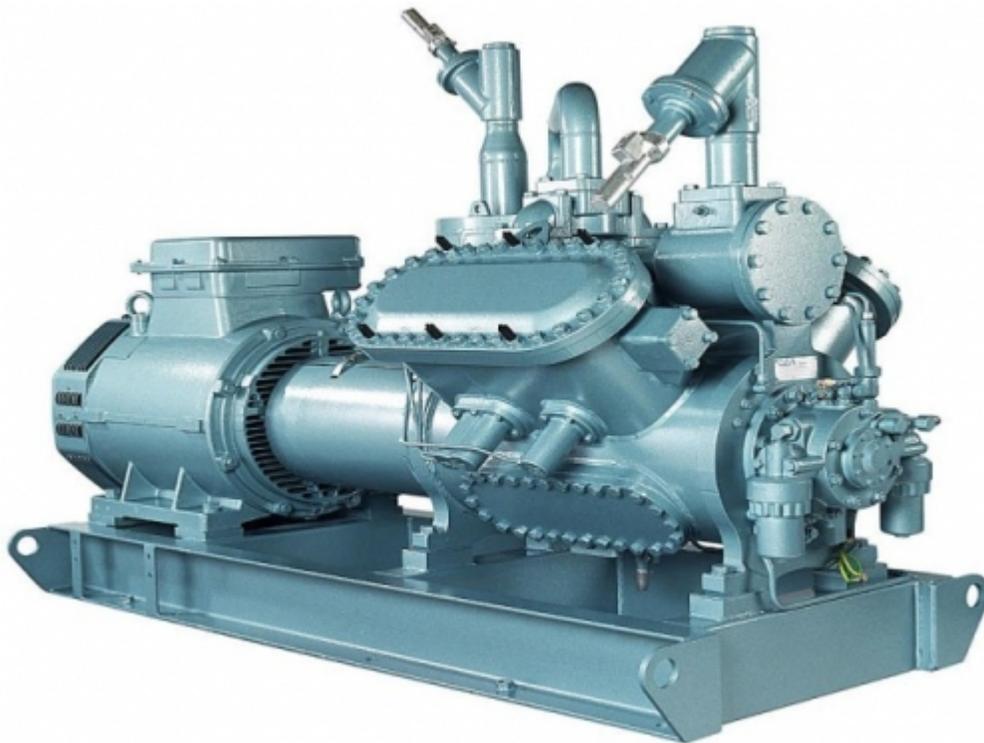


Figura 36 Elementos del compresor de tipo abierto.

4.9. COMPRESORES RECIPROCANTES TIPO SEMI-HERMÉTICO

El compresor semi-hermético tiene al motor impulsor sellado dentro de la caja del compresor. El motor se localiza en la corriente de gas de succión, donde se enfría con el paso del gas. El término 'semi-hermético' significa que la caja sellada puede abrirse para ajustar o reparar el compresor o el motor.

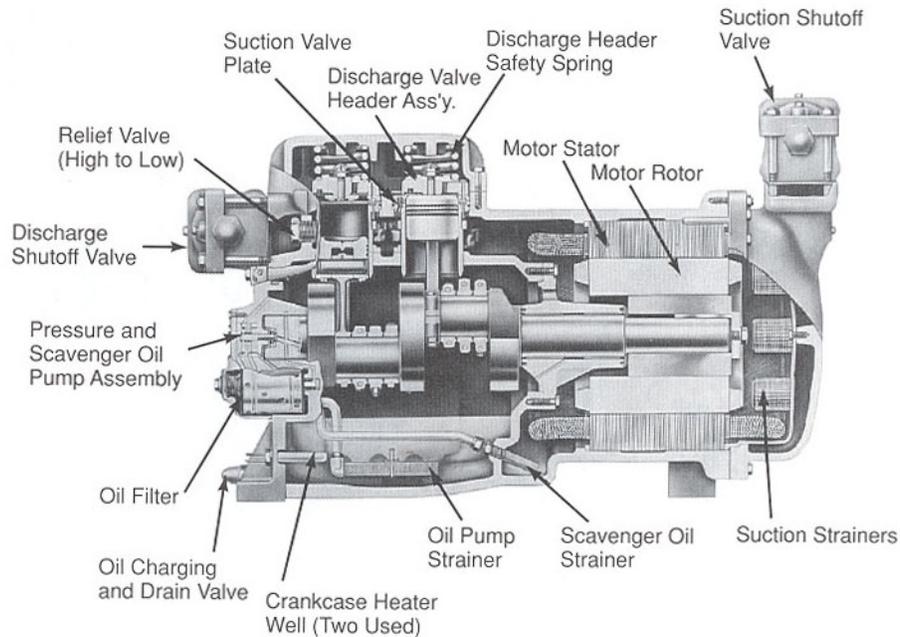


Figura 37 Elementos del compresor semi-hermético o recíprocante, observe el motor impulsor.

Los compresores semi-herméticos pueden considerarse como los más usados, después de los herméticos. Su precio es bastante más alto y se emplean en aquellas aplicaciones de servicio extra pesado, donde las expectativas de mantenimiento frecuente son inevitables y, como consecuencia de ello, se considera que pueda resultar menos costoso reparar un compresor semihermético que sustituir un hermético. Su principal ventaja es que son reparables y existen repuestos de fábrica o de terceros para su mantenimiento.

4.10. COMPRESORES RECIPROCANTES TIPO HERMÉTICO

Este componente, conocido también como unidad sellada, compresor o simplemente (es impropriamente así llamado) “motor”, consiste en un conjunto compresor-motor, ensamblados bajo estrictas normas de limpieza y con tolerancias y ajustes de alta precisión y sujetos dentro de una carcasa soldada herméticamente, la cual es previamente configurada habiéndose soldado eléctricamente a ella: un conector eléctrico de tres pines para la alimentación de las bobinas de marcha, arranque y común del motor; y unidos por soldadura fuerte un mínimo de tres (y un máximos de cinco) tubos destinados a conectar el compresor con el sistema de refrigeración en que vaya a ser empleado.



Figura 38 Compresor recíprocante tipo hermético.

Además de los compresores herméticos recíprocantes o alternativos descritos, empleados en refrigeración doméstica y comercial de capacidad reducida, existen un amplio surtido de compresores diseñados para adaptarse a diversas necesidades y condiciones de utilización, tales como: compresores herméticos recíprocantes o alternativos de motor trifásico, de más de un cilindro; compresores herméticos rotativos; compresores semiherméticos; enfriados por aire o enfriados por

refrigerante mono o multicilíndricos; de válvulas de lámina o de disco; compresores accionados por polea; compresores helicoidales "scroll" de uno o dos rotores; solo para mencionar los más conocidos. El diseño del compresor completamente hermético es de manera similar al semi-hermético, el compresor y los componentes están contenidos en una sola caja. La diferencia está en que el motor y el compresor hermético se encuentran dentro de un casco inaccesible, o 'cubierta metálica'.

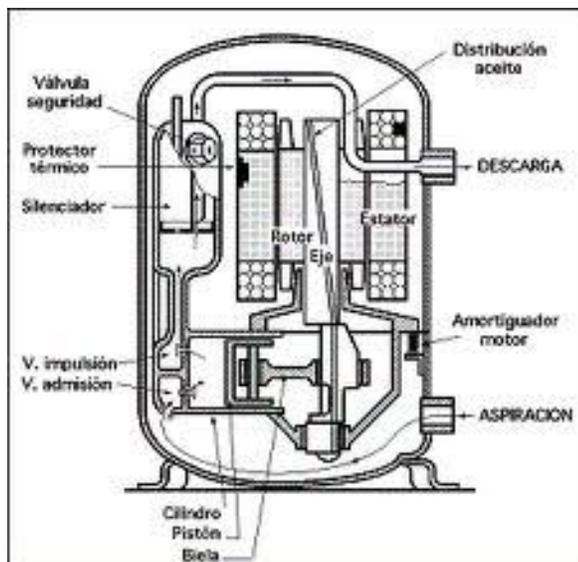


Figura 39 Elementos que conforman al compresor hermético.

Principio de operación de los compresores recíprocentes.

Principios de operación de todos los compresores recíprocentes son fundamentalmente los mismos. El gas de succión del evaporador entra al compresor por la abertura de succión y pasa inmediatamente a través de las mallas filtradoras. Las mallas separan del flujo al aceite lubricante y refrigerantes líquido que pudieran venir mezclados. Como el compresor recíprocente está diseñado para bombear solamente vapor de refrigerante, se deben eliminar estas gotas para evitar daños a las válvulas del compresor.

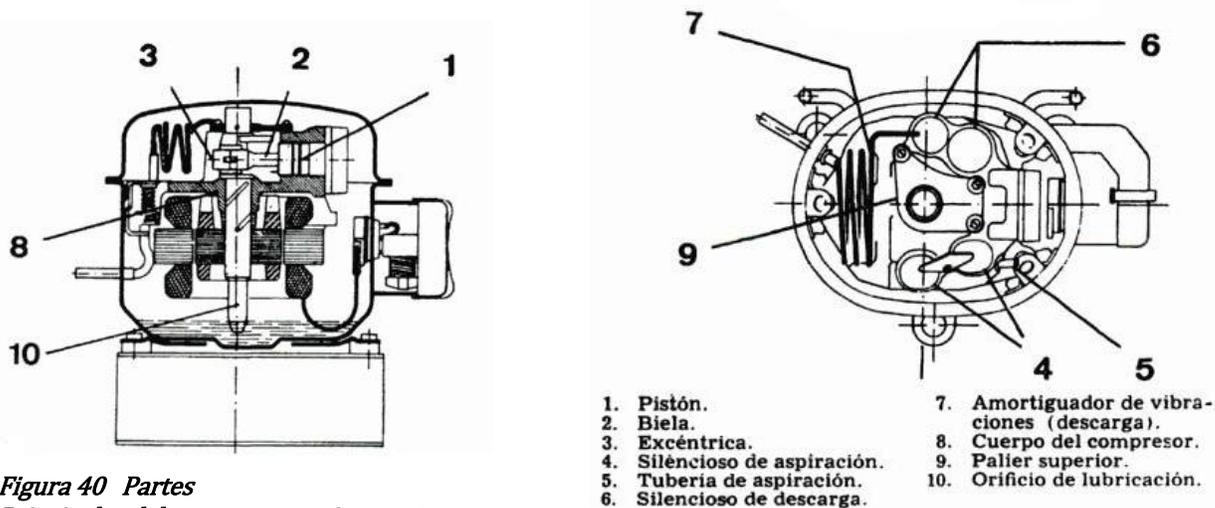


Figura 40 Partes Principales del compresor recíprocente.

Carrera de admisión

El gas de admisión, ya libre de aceite y de refrigerante, se acerca a los cilindros. En la carrera de admisión del pistón, la presión en el cilindro cae por debajo de la presión de succión. Esta diferencia de presión hace que la válvula de succión se abra, permitiendo que el gas de succión entre al cilindro.

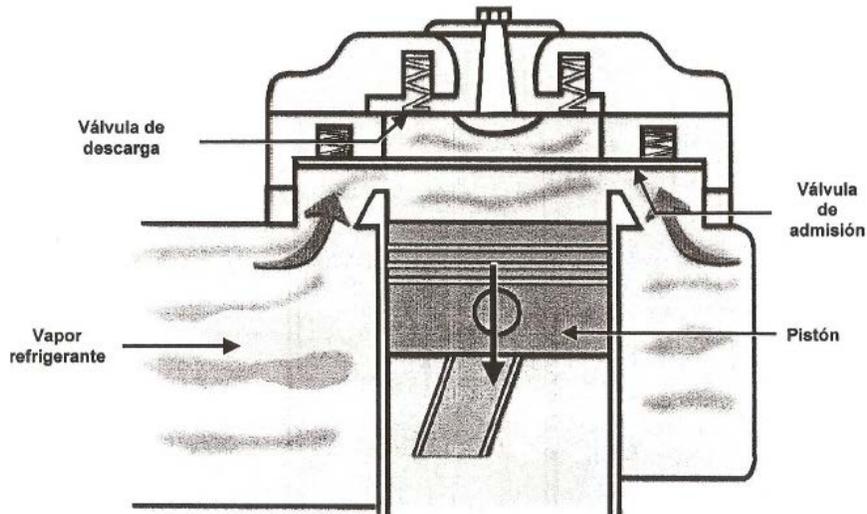


Figura 41 Comportamiento del cilindro en la fase de admisión.

Carrera de compresión.

La carrera de compresión del pistón aumenta la presión en el cilindro. Cuando la presión en el cilindro sobrepasa la presión de succión, la diferencia de presión que ejercen los resortes de la válvula, hacen que la válvula de succión se cierre. Así el gas queda atrapado entre la parte superior del pistón y la válvula de descarga.

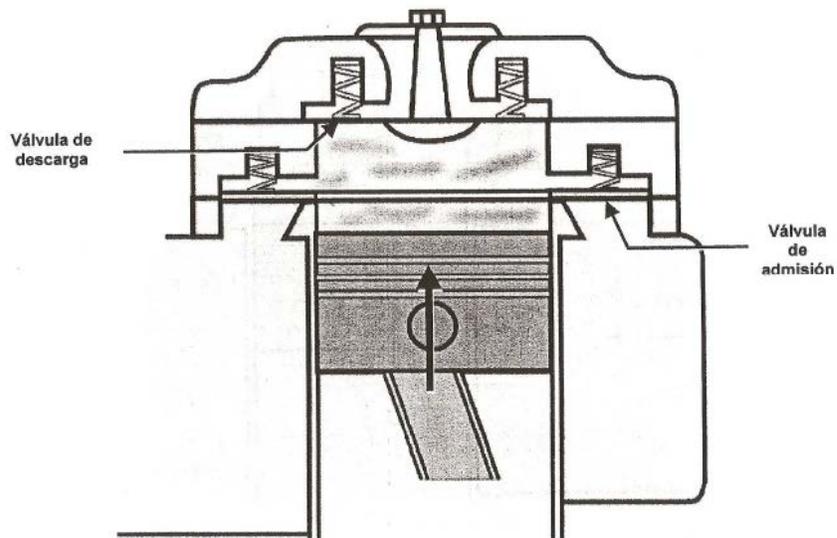


Figura 42 Comportamiento de las válvulas de admisión y descarga durante la fase de compresión.

Carrera de compresión.

Cuando la presión en el cilindro sobrepasa la presión de descarga, la válvula de descarga se abre, permitiendo que el gas comprimido entre al espacio de descarga de donde sale del compresor por la abertura de descarga. Este arreglo de válvulas es típico de ciertos modelos de compresores.

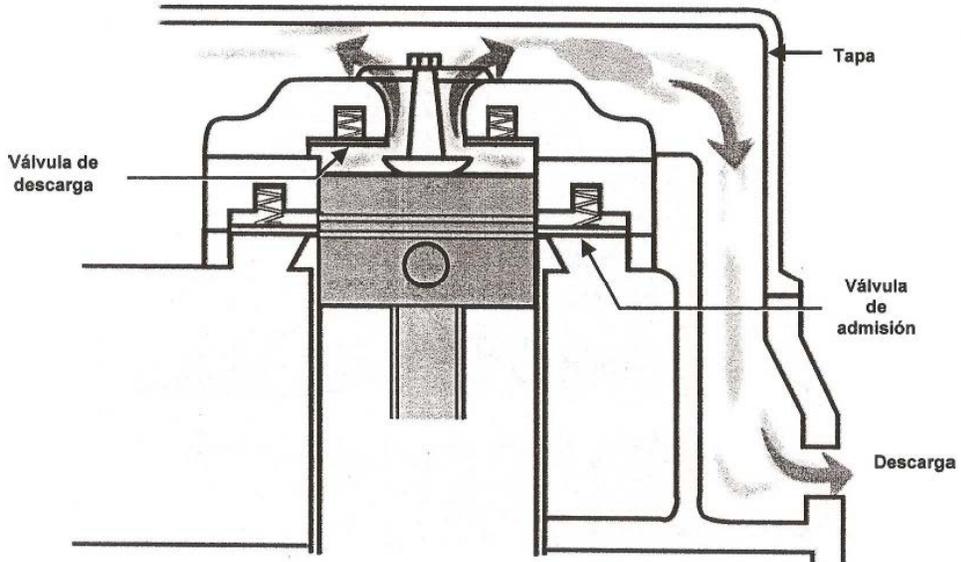


Figura 43 Desplazamiento del cilindro y descarga de los gases en la fase de compresión.

CAPÍTULO V

CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN

5.1. ANTECEDENTES DE LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

Este capítulo refiere a los cálculos matemáticos que se tienen que llevar a cabo en cualquier tipo de diseño de cámara de refrigeración (Cuarto frío), por ello, debemos de considerar muchos aspectos para un correcto diseño y una buena funcionalidad.



Figura 44 Cámara de refrigeración.

El diseñador de la cámara de refrigeración debe tener la capacidad de calcular adecuadamente la cámara para cualquier tipo de condición climática, debido a que no se puede decir que hay un diseño estándar para todos los sectores del país.

Actualmente hoy en día hay muchas empresas que adquieren este tipo de cámaras, también se abarca el sector comercial, debido a su demanda hay más competencia y esto provoca que no por el costo de la misma sea un buen diseño, sino que al contrario, al ver la competencia de otras empresas dedicadas a el diseño y fabricación de las mismas, reducen costos y en esto se ve reflejado la durabilidad y calidad.

5.2. ECUACIONES DE LA ENERGÍA Y SU APLICACIÓN AL CICLO DE REFRIGERACIÓN

La ecuación general de la energía en un sistema está representada por:

$$w+a+m_1 \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) = m_2 \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

W: intercambio de trabajo con el exterior por unidad de tiempo (kJ / s)

Q: intercambio de calor con el exterior por unidad de tiempo (kJ / s)

\dot{m} : Gasto másico (Kg m / s)

h: Entalpía (KJ / Kgm)

$\frac{v^2}{2}$: Energía cinética (m²/ s²)

gz: Energía potencial (m²/ s²)

Subíndice 1, condición de entrada

Subíndice 2, condición de salida

Si dividimos la ecuación 1 entre m y despejamos al trabajo

$$w = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

$$w = \frac{W}{m}$$

Y

$$q = \frac{Q}{m}$$

Si aplicamos la ecuación 2 para cada uno de los componentes del sistema de refrigeración, obtenemos las variaciones para cada uno.

1.- Compresor.

$$w = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1) - q$$

Como:

$$v_2 = v_1 \quad z_2 = z_1 \quad q \cong 0$$

$$w = h_2 - h_1$$

$$KJ / KG; Btu / lb; KCal / KG$$

$$w = \frac{W}{m}$$

W: Se denomina como equivalente de trabajo por unidad de masa KJ/Kg.

2.- Condensador.

$$w = (h_3 - h_2) + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2} + g(Z_3 - Z_2) - q$$

$$w = 0 \quad V_3 = V_2 \quad Z_3 \cong Z_2$$

Entonces

$$|q| = (h_3 - h_2); q = h_2 - h_3 \quad KJ/KG; Btu/lb; Kcal/Kg$$

$$q = \frac{Q}{\dot{m}}$$

Donde:

Q = Calor por unidad de tiempo

\dot{m} = gasto aglomeración

q = se denomina calor específico de condensador.

3.- Válvula de expansión.

$$w = (h_4 - h_3) + \frac{V_4^2 - V_3^2}{2} + g(Z_4 - Z_3) - q$$

$$w = 0 \quad V_4 \cong V_3 \quad Z_4 = Z_3$$

$$\therefore h_4 = h_3$$

4.- Evaporador.

$$w = (h_1 - h_4) + \frac{V_1^2 - V_4^2}{2} + g(Z_1 - Z_4) - q$$

$$w = 0 \quad q = q_0 \quad V_1 \cong V_4 \quad Z_1 = Z_4$$

Entonces

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad KJ / KG; Btu / lb; KCal / KG$$

$$q_0 = \frac{Q_0}{\dot{m}}$$

Donde:

Q_0 : Potencia frigorífica

\dot{m} : Gasto másico

A q_0 se le determina efecto refrigerante o producción frigorífica específica.

5.3. TERMINOLOGÍA DE COMPRESIÓN SIMPLE.

1.- Carga térmica o potencia frigorífica.

(Q_0 En KJ / h; Btu / h; TR; KW)

Es la cantidad de calor absorbido por Unidad de tiempo en el Evaporador, la cual se calcula por medio de la carga Térmica.

2.- Efecto Refrigerante o Producción Frigorífica Específica.

(E.R. = $h_1 - h_4$ En KJ / Kg; T.R; KW)

Es la cantidad de calor absorbido por Unidad de Masa del Refrigerante.

3.- Gasto Másico.

De la fórmula de Carga Térmica se despeja el Gasto Másico.

$$Q_0 = \dot{m} (h_1 - h_4);$$

$$\dot{m} = \left(\frac{Q_0}{h_1 - h_4} \right)$$

o

$$\dot{m} = \frac{Q_0}{q_{0t}}$$

En Kg / h; lb/h

4.- Producción Frigorífica Volumétrica.

$$q_{vt} = q_{0t} / v_{1t}$$

En

$$\text{KJ} / \text{m}^3; \text{Btu} / \text{ft}^3$$

En condiciones reales.

$$q_v = q_{0t} / v_1$$

Donde

$$v_1 = v_{1t} / \lambda$$

λ = Rendimiento volumétrico del diagrama de Linge.

$$q_v = \lambda q_{0t} / v_{1t} = \lambda q_{vt}$$

$$q_v = \lambda q_{vt}$$

5.- Gasto volumétrico.

$$V_t = Q_0 / q_{vt}$$

En

$$\text{m}^3 / \text{h}; \text{ft}^3 / \text{h}; V_t = m V_{1t}$$

$$V_t = Q_0 / q_{vt}$$

6.- Trabajo de compresión.

$$W = \dot{m}(h_2 - h_1);$$

$$\text{KJ} / \text{h}; \text{Btu} / \text{h}$$

7.- Potencia Indicada.

$$N_{it} = W; \text{En } KW; H. P.$$

Potencia indicada real está dada por:

$$N_i = N_{it} / \mu_1$$

Donde:

μ_1 = Rendimiento indicado, el cual se obtiene del diagrama de Linge y otros.

8.- Potencia del motor eléctrico.

$$N_{el} = N_i / \mu_m \times \mu_{el} \text{ (REAL)}$$

Dónde:

μ_m = Rendimiento Mecánico.

μ_t = Rendimiento de transmisión.

μ_{el} = Rendimiento Eléctrico.

9.- Potencia frigorífica específica. E.E.R. (Relación de eficiencia energética).

$$k_t = Q_0 / N_{it};$$

$$KJ/h - KW; Btu/h - KW; TTR/KW; Btu/h - hp$$

$$N_{it} = KW$$

$$1 KW = 3412.66 \frac{Btu}{h} = 860 Kcal/h$$

En condiciones reales:

$$K = \mu_1 K_t$$

$$K = \mu_1 Q_0 / N_{it}$$

10.- Coeficiente frigorífico.

$$E = Q_0 / W = m q_0 / m(h_2 - h_1) = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \text{ (real)}$$

COP (COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO)

$$COP = \frac{E.R}{W}$$

Dónde:

E.R. = Efecto Refrigerante

W= Trabajo de Comprensión

$$\varepsilon_{Carnot} = \varepsilon_c = \frac{T_0}{T_c - T_0}$$

Dónde:

T_c = Temperatura Absoluta de Condensación.

T₀ = Temperatura Absoluta de evaporación.

11.- Rendimiento Económico.

$$\eta = \varepsilon_{Real} / \varepsilon_{Carnot}$$

12.- Potencia del Condensador.

$$Q_c = Q_0 + W = \dot{m}(h_2 - h_3); KJ/h; \frac{Btu}{h}; T.R.$$

13.- Relación de Compresión.

$$r_c = \frac{P_{abs \text{ de descarga}}}{P_{abs \text{ de succión}}}$$

$r_c < 9.1$ Comprensión de una etapa

$r_c < 9.1$ Comprensión de dos etap

5.4. CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

5.4.1. Ubicación de la cámara frigorífica.

Se ubicará en Paseo de la Reforma No 211 col. Cuauhtémoc en México D.F; Cp. 06500. Cabe Mencionar que para el cálculo de la carga térmica se deben considerar las condiciones climatológicas del D.F. asimismo del promedio de temperatura de la cocina donde se va a instalar la cámara frigorífica.

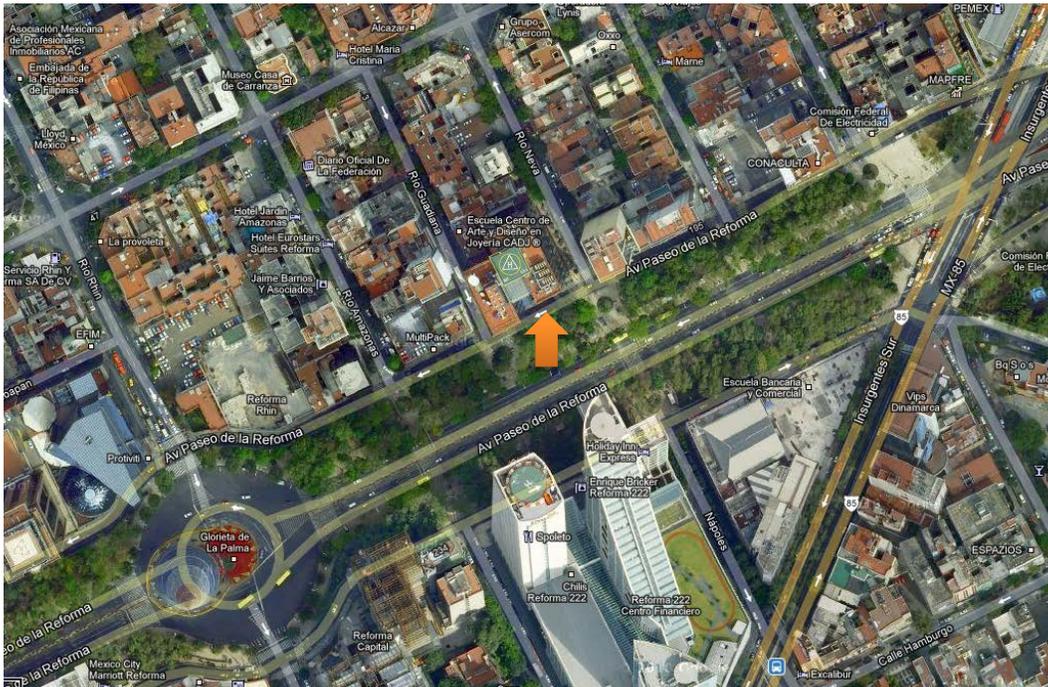


Figura 45 Imagen mostrando ubicación del inmueble que albergará la cámara Frigorífica.

5.4.2. Datos para cálculo de cámara de refrigeración.

1. **Ubicación:** México D.F. en la longitud
2. **Producto:** Alimentos Misceláneos.
3. **Temperatura de almacenaje:** 4°C (39.2°F).
4. **Flujo de recepción:** 2 TM (Toneladas Métricas).
5. **Condiciones Exteriores de diseño:**

- Temperatura de Bulbo Seco (T_{BS}): 28°C (84.2°F)
- Temperatura de Bulbo Humedo (T_{BH}): 17°C (62.6°F)
- Humedad Relativa (H.R): 50%
- Altitud 2217 m.s.n.m.

6. Aislamiento Térmico: Poliuretano Expandido

$$k = \frac{BTU \cdot pulg}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F}; k = 0.17 \text{ (tabla 1)}$$

7. Coeficiente de convección:

$$h_i = 1.6 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \qquad h_e = 6 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F}$$

8. Temperatura de entrada del producto: 28°C (84.2°F).

9. Infiltración: Considérese uso regular.

10. Carga de motores:

$$Q = (6) \left(\frac{1}{4}\right) \left(4250 \frac{BTU}{hr \cdot hp}\right) = 6375 \frac{BTU}{hr} \text{ (tabla 2)}$$

11. Carga de personal:

$$Q = (3) \left(848.8 \frac{BTU}{hr}\right) = 2546 \frac{BTU}{hr}$$

Tabla 3 calor disipado por las personas dentro del espacio refrigerado

Temperatura del Refrigerador en °F	Calor disipado/persona BTU/hora
50	720
40	840
30	950
20	1,050
10	1,200
0	1,300
- 10	1,400

12. Capacidad de almacenaje:

$$\text{Capacidad} = \frac{(\text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Alto}) \times (2) \times (0.453 \text{ kg})}{1 \text{ libra}} = 201 \text{ kg}$$

$$\text{Capacidad} = \frac{(10\text{m} \times 6\text{m} \times 3.7\text{m}) \times (2) \times (0.453 \text{ kg})}{1 \text{ libra}} = 201 \text{ kg}$$

13. Espesor:

$$e = \frac{1}{5}; \Delta T = \frac{1}{5}(29^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}) = 4.8 \text{ cm} \left[\frac{1 \text{ pulg } 1\text{g}}{2.54 \text{ cm}} \right] = 1.8 \text{ pulg} = 2 \text{ pulg}$$

14. Dimensiones de cámara:

	Interiores	Exteriores
Largo:	9.8384m	10m
Ancho:	5.8384	6m
Alto:	3.6492	3.70m
Puertas		
3 abatibles	0.90m x 1.90m	
2 corredizas	0.90m x 1.90m	

5.4.3. Solución.

Área y Muro

$$A_{\text{corto}} = (6\text{m})(3.6492\text{m}) = 21.83\text{m}^2 \left[\frac{10.76 \text{ ft}^2}{1\text{m}^2} \right] = 235.59 \text{ ft}^2$$

$$A_{\text{largo}} = (10\text{m})(3.6492\text{m}) = 36.492\text{m}^2 \left[\frac{10.76 \text{ ft}^2}{1\text{m}^2} \right] = 332.65 \text{ ft}^2$$

$$A_{\text{piso y techo}} = (10\text{m})(6\text{m}) = 60\text{m}^2 \left[\frac{10.76 \text{ ft}^2}{1\text{m}^2} \right] = 645.6 \text{ ft}^2$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{e}{k} + \frac{1}{he}} = \frac{1}{\frac{1}{1.6} + \frac{2}{0.17} + \frac{1}{6}} = 0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F}$$

Transferencia de calor con el exterior

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Perpendicular al dibujo

Q_{MUROS}

$$Q_{NORTE} = (235.59 ft^2) \left(0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \right) (84.2^\circ F - 39.2^\circ F) = 843.8834 \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{SUR} = (235.59 ft^2) \left(0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \right) [(84.2^\circ F + 2^\circ F) - (39.2^\circ F)] = 881.3893 \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{O+P} = (332.65 ft^2) \left(0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \right) [(84.2^\circ F + 4^\circ F) - (39.2^\circ F)] = 1297.4681 \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{PISO} = (645.6 ft^2) \left(0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \right) (62.6^\circ F - 39.2^\circ F) = 1202.5204 \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{TECHO} = (645.6 ft^2) \left(0.0796 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \right) [(84.2^\circ F + 9^\circ F) - (39.2^\circ F)] = 2775.047 \frac{BTU}{hr}$$

$$\text{SUBTOTAL } 7000.3082 \frac{BTU}{hr}$$

Producto.

Alimentos

Producto limitante: Repostería Fina (huevo y leche. Tabla 5)

$$\dot{m} = 2TM \left(\frac{2200 lb}{ITM} \right) = 44000 lb \left(\frac{1 día}{24hr} \right) = 1834 \frac{lb}{hr}$$

FLUJO DE RECEPCIÓN = 2TM

FLUJO DE RECEPCIÓN=2TM

$$Q_S = \dot{m} C_P \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{C_p \Delta T}$$

$$C_p = 0.85 \frac{BTU}{lb. ^\circ F} \text{ (tabla 8)}$$

$$Q_s = 1834 \frac{lb}{hr} \left(0.85 \frac{BTU}{lb. ^\circ F} \right) (84.2^\circ F - 39.2^\circ F) = 7012.5 \frac{BTU}{hr}$$

Subtotal.

$$Q_{TOTAL DEL PRODUCTO} = 701237 \frac{BTU}{hr}$$

NOTA:

Q_s = Calor sensible: Sube la temperatura pero mantiene su estado físico.

Q_L = Calor latente: No se percibe su cambio cuando aumenta la temperatura (solo se utiliza para congelación).

Infiltración.

Considerando uso intenso

$$V_{INT} = (9.84m)(5.84m)(3.65) = 209.75m^3 \left(\frac{35.31ft^3}{1m^3} \right) = 7406.27 ft^3$$

$$Q_{INF} = (7406.27ft^3) \left(\frac{5.79 \text{ cambios}}{24 hr} \right) \left(1.35 \frac{BTU}{ft^3} \right) = 2412.12 \frac{BTU}{hr}$$

TABLA 6

TABLA 7

CAMBIOS DE AIRE EN 24HR PARA CÁMARA DE AIRE DEBIDO A LA APERTURA DE PUERTAS E INFILTRACIÓN

TABLA 6

CALOR REMOVIDO EN AIRE DE ENFRIAMIENTO A LAS CONDICIONES DE CÁMARA DE ALMACENAMIENTO **TABLA 7**

Alumbrado.

$$Q = (57.46m^2) \left(\frac{10.7636ft^2}{1m^2} \right) \left(\frac{1watt}{ft^2} \right) \left(\frac{3.41 \frac{BTU}{hr}}{1watt} \right) = 2109 \frac{BTU}{hr}$$

Motor eléctrico.

$$Q = (6) \left(\frac{1}{4} \right) \left(4250 \frac{BTU}{hr * hp} \right) = 6375 \frac{BTU}{hr}$$

(TABLA 2)

Personal.

$$Q = (3) \left(848.8 \frac{BTU}{hr} \right) = 2546 \frac{BTU}{hr}$$

(TABLA 3)

Resumen.

TRANSMISIÓN = 7,000.3082 BTU/ hr
 PRODUCTO = 7,012.37 BTU/ hr
 INFILTRACIÓN = 2,412.12 BTU/ hr
 ALUMBRADO = 2,109.00 BTU/ hr
 MOTORES ELÉCTRICO = 6,375.00 BTU/ hr
 PERSONAL = 2,546.00 BTU/ hr
SUBTOTAL = 27,454.49 BTU/ hr
FS(10%) = 2,745.449 BTU/ hr
TOTAL = 30,199.939 BTU/ hr

$$30,199.939 \frac{BTU}{hr} \left(\frac{24 * hr}{20 * hr} \right) = 36239.9268 \frac{BTU}{hr} \times \left(\frac{1TR}{1200 \frac{BTU}{hr}} \right) = 3.0199$$

Selección de Equipo.

Unidad Condensadora

Con respecto a los 30,199.939 BTU/hr o 7,607.03 kcal/hr, se llegó a la conclusión deseleccionar una unidad **SJH-0301-M2C** (8,388 kcal/hr a Tamb=32.2 °C, Tss=-1.1°C).

CÁTALOGO BOHN DE UNIDAD CONDENSADORA SJH.

Unidad Evaporadora

Con respecto a las 8,388 kcal/hr de la Unidad Condensadora se seleccionaron 2 Unidades Evaporadoras **ADT-156-AKS** (3,929 kcal/hr, Tss=-4°C). CÁTALOGO BOHN DE UNIDAD EVAPORADORA.

Válvula de Expansión Termostática

Con respecto a las 3,929 kcal/hr de cada evaporador, se seleccionó una válvula termostática TIE2HW Orificio No. 2, por unidad evaporadora. TABLA 6.

Unidad Condensadora

Determinación del panel de cuerpo de cámara

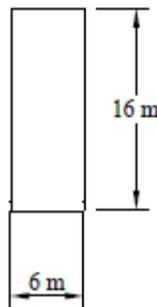
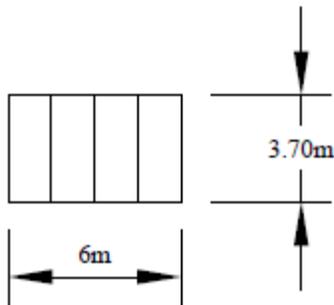
Panel de 2pulg

Altura = 3.70m

Costo = \$1433

Muros.

Muros cortos

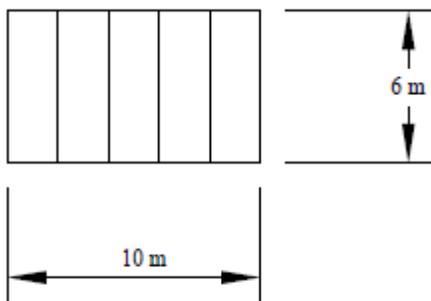


$$\frac{6m * 3.70m}{1.10m} = 20.18 \approx 21ml * 989 = \$2,058.00 * 2muros = \$4,116.00$$

Muros largos

$$\frac{10m * 3.70}{1.10} = 33.63 \approx 34ml * 989 = \$33,626.00 * 2 muros = \$ 67,252.00$$

Plafón



$$\frac{10\text{m} * 6\text{m}}{1.10 \text{ m}} = 54.54 \approx 55\text{ml} * \$989.00 = \$54,395.00$$

Total de panel de 2 pulgadas

$$\text{Total de panel de 2"} = \$4,116.00 + \$67,252.00 + 54,395.00 = \$125,763.00$$

MOLDURAS

$$\text{Desplante} = \left(\frac{\text{Perimetro} - \text{Pta de acceso}}{2.44 \text{ m}(\text{Largo de moldura})} \right)$$

$$\text{Desplante} = \left(\frac{32\text{m} - 4.5\text{m}}{2.44} \right) 11.27 \approx 12 \text{ pzas}$$

12 piezas \$83 .67 \$1,005 .00

$$\text{Codo} = \left(\frac{\text{Perimetro} - (\text{Lados con pared} + \text{Puerta de acceso})}{2.44 (\text{Largo de moldura})} \right)$$

$$\text{Codos} = \left(\frac{32\text{m} - (10\text{m})}{2.44} \right) = 9.01 \approx 10 \text{ pzas}$$

10 piezas*\$75.25=753.00

$$\text{Interior} = \left(\frac{\text{Perimetro} + (\text{Esquina interiores} * \text{altura})}{2.44 (\text{largo de moldura})} \right)$$

$$\text{Interior} = \left(\frac{32\text{m} + (4\text{m} * 3.70\text{m})}{2.44} \right) = 19.18 \approx 20 \text{ pzas}$$

20 piezas *\$102.09=\$2,041.8

$$\text{Exterior} = \left(\frac{\text{Perimetro} + (\text{Num. esq. exteriores} * \text{altura}) - (\text{Num. esq. con pared} * \text{altura})}{2.44\text{m} (\text{Largo de Moldura})} \right)$$

$$\text{Exterior} = \left(\frac{32\text{m} + (4 * 3.7\text{m}) - (2 * 3.70\text{m})}{2.44\text{m}} \right) = 16.14 \approx 17 \text{ pza}$$

17 piezas *\$131.55=\$2,236.35

$Puerta\ de\ acceso = \left(\frac{4.7m * 5puertas}{2.44} \right) = 9.63 \approx 10\ pzas.$

10 piezas *\$89.50 ≈ \$895.00

TOTAL DE MOLDURAS = \$6,931.15

Mat. Ensamble = (Total de panel + Molduras)

Mat. Ensamble = 10%(138,275.00 + 6,931.15) = \$14,520.61

Total Suministro Panel incluyendo molduras y Mat. de ensamble

Panel + Molduras + Mat. de ensamble = (\$138,275 + 6,931.15 + 14,520.61) = \$159,726.76

TOTALDE PANELDE 2"

LÁMPARA

Lámpara Zalux 2 X 58W = \$ 2,352.00

Por un área de 20m² con una altura de hasta 4m

$Núm.\ de\ lámparas\ a\ usar = (10m * 6m) = \frac{60m^2}{20m^2} = 3\ Lámparas$

3 Lámparas × \$2,352.00 = \$7,056.00

PUERTAS

Puerta Económica Abatible media Temperatura acabado en lámina

Pintro marca COREFRI de 0.90m 1.90m Tipo abatible \$7,000.00

*Puerta corrediza media Temperatura acabado lámina Pinto
marca COREFRI de 0.90m 1.90m \$9,966.66*

Núm. de puertas abatible a usar = 3ptas. Abatibles × \$7,000 = \$21,000.00

Núm. de puertas corredizas a usar = 2 ptas. Corredizas × \$9,966.66 = \$19,933.32

Tabla 6

TABLAS

Tabla 1 Factores de cálculo rápido para la transmisión de calor a través de paredes aisladas.

BTU por 1°F D.T. por pie cuadrado por 24 horas.

AISLANTE	Pulgadas de Aislante										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Poliuretano expandido. Factor k = 0.17	2.04	1.36	1.02	.815	.68	.58	.51	.45	.41	.37	.34
Fibra de vidrio, corcho, placa y relleno de lana mineral y poliestireno expandido. Factor k = 0.25	3.0	2.0	1.5	1.2	1.0	.86	.75	.67	.60	.55	.50
Aserrín. Factor k = 0.45	5.40	3.6	2.7	2.16	1.80	1.54	1.35	1.20	1.08	.98	.90

VIDRIO	BTU por 1°F D.T. por pie cuadrado por 24 horas
Vidrio Sencillo	17.52
Doble Vidrio Aislante	11.76
Triple Vidrio Aislante	9.12

Tabla 2 Calor Disipado por los Motores eléctricos *.

hp del Motor	BTU por (hp) (hora)		
	Motor y Ventilador dentro del cuarto	Motor fuera y Ventilador dentro	Motor dentro y Ventilador fuera
de 1/8 a 1/2	4,250	2,545	1,700
de 1/2 a 3	3,700	2,545	1,150
de 3 a 20	2,950	2,545	400

* Estos datos son válidos para motores que accionan tanto ventiladores como bombas.

Tabla 4 Características de Productos Alimenticios.

Producto	Temperatura Promedio de Congelación °F	Porcentaje de Agua	Calor Específico BTU/lb. °F		Calor Latente de Fusión BTU/lb.	Calor de Evolución BTU por (24 hrs.) (ton) a la Temp. indicada	
			Arriba del punto de Congelación	Abajo del punto de Congelación		°F	BTU
Peras	28.5	83.5	0.86	0.45	118	32	770
Piñas	29.4	85.3	0.88	0.45	123		
Plátanos	28	74.8	0.80	0.42	108	68	8,400 - 9,200
Sandías	29.2	92.1	0.97	0.48	132		
Toronjas	28.4	88.8	0.91	0.46	126	32	460
Uvas	26.3	81.7	0.86	0.44	116	40	1,070
Uva-espín	28.9	88.3	0.90	0.46	126	35	830
VARIOS							
Azúcar de maple		5	0.24	0.21	7	45	1,420
Caviar (enlatado)	20	55				40	3,820
Cerveza	28	92	1.00				
Crema (40%)	28	73	0.85	0.40	90		

Tomado del Manual de Fundamentos ASHRAE, 1967. Copiado con autorización.

Tabla 5 Factor de enfriamiento inicial de algunos alimentos seleccionados. Conservados por refrigeración (extraídos de Dossat, 1991, citando a Carrier Corporation).

ALIMENTO		FACTOR DE ENFRIAMIENTO
		cf
Frutas:		
	Manzanas	0.67
	Abaricoques	0.67
	Agustates	0.67
	Bananas	0.10
	Pitáanos	0.10
	Moras	0.67
	Uvas	0.80
	Toronjas	0.70
	Limonas	1.00
	Limas	0.90
	Naranjas	0.70
	Melocotonas	0.62
	Peras	0.80
	Piñas	0.90
	Ciuelas	0.66
Vegetales:		
	Espámagos	0.90
	Frijoles verdes	0.67
	Frijoles lima	0.78
	Remolacha	0.90
	Brócoli	0.80
	Coles de Bruselas	0.80
	Coles (repollo)	0.80
	Zanahorias	0.80
	Coliflor	0.80
	Maiz	0.80
	Pepinos	1.00
	Melones todos los tipos	0.90
	Cebollas	0.80
	Chirivías	0.80
	Guisantes	0.67
	Tomates verdes	1.00
	Nabos	0.80
	Vegetales cargas mixtas	0.70
Productos cárnicos:		
	Carne de vacuno	0.66
	Carne fresca	0.67
	Jamones ahumados	1.00
	Carne de cerdo	0.67
	Carne de cordero	0.75
	Vísceras	0.70
	Aves	1.00
	Salchichas	1.00
	Temera	0.75
Misceláneos:		
	Huevos frescos	0.85
	Huevos congelados en latas	0.67
	Hielados	0.75
	Leche	0.85

Calor latente de congelación (Q_c)

Este calor se calcula mediante la ecuación

$$Q_c = m L \quad (7-17)$$

siendo L : calor latente de congelación (Btu/lb).

Tabla 6 Cambios de aire cada 24 horas en cuartos fríos, debido a la apertura de puertas e infiltración.

Volumen metros ³	Volumen pies ³	Cambios de aire cada 24 horas
6	200	44.0
8	300	34.5
11	400	29.5
14	500	26.0
17	600	23.0
23	800	20.0
28	1,000	17.5
42	1,500	14.0
57	2,000	12.0
85	3,000	9.5
113	4,000	8.2
142	5,000	7.2
170	6,000	6.5
226	8,000	5.5
283	10,000	4.9
425	15,000	3.9
566	20,000	3.5
708	25,000	3.0
850	30,000	2.7
1133	40,000	2.3
1416	50,000	2.0
2124	75,000	1.6
2832	100,000	1.4

Nota: Para un uso intenso multiplicar por 2 los valores anteriores.
 Para almacenamientos prolongados multiplicar los valores por 0.6
 Del Manual de Fundamentos ASHRAE 1967. Copiado con autorización.

Tabla 7 Carga por Infiltración

(BTU por pie cúbico)

Temperatura de la cámara de almacenamiento en °F	Temperatura del aire exterior en °F							
	85		90		95		100	
	Porcentaje de la humedad relativa							
	50	60	50	60	50	60	50	60
65	0.65	0.85	0.93	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95
60	0.85	1.03	1.13	1.37	1.44	1.74	1.78	2.15
55	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44
50	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65
45	1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85
40	1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.06
35	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24
30	2.00	2.24	2.26	2.53	2.64	2.94	2.95	3.35

Temperatura de la cámara de almacenamiento en °F	Temperatura del aire exterior en °F							
	40		50		90		100	
	Porcentaje de la humedad relativa							
	70	80	70	80	50	60	50	60
30	0.24	0.29	0.58	0.66	2.26	2.53	2.95	3.35
25	0.41	0.45	0.75	0.83	2.44	2.71	3.14	3.54
20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.62	2.90	3.33	3.73
15	0.71	0.75	1.06	1.14	2.80	3.07	3.51	3.92
10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.93	3.20	3.64	4.04
5	0.98	1.03	1.34	1.42	3.12	3.40	3.84	4.27
0	1.12	1.17	1.48	1.56	3.28	3.56	4.01	4.43
-5	1.23	1.28	1.59	1.67	3.41	3.69	4.15	4.57
-10	1.35	1.41	1.73	1.81	3.56	3.85	4.31	4.74
-15	1.50	1.53	1.85	1.92	3.67	3.96	4.42	4.86
-20	1.63	1.68	2.01	2.09	3.88	4.18	4.66	5.10
-25	1.77	1.80	2.12	2.21	4.00	4.30	4.78	5.21
-30	1.90	1.95	2.29	2.38	4.21	4.51	4.90	5.44

(Tomado del Manual de Fundamentos ASHRAE, 1967, y copiado con autorización)

Tabla 7 de igualador externo, modelos HFES y TIE para evaporadores de "Refrigeración".
 Extraído de EMERSON. Climates Tecnoogies 2006.

Para climas templados y calurosos hasta 40°C (104°F) Temperatura de condensación 45°C (113°F)								
Difusor	Capacidad nominal (tons) de VTE's marca ALCO							
D. T. 5.55 °C	R-404a/507				R-22			
Rangos capacidad Kcal/hr	Evap. -29°C (-20°F)		Evap. -4°C (25°F)		Evap. -29°C (-20°F)		Evap. -4°C (25°F)	
	HFES_SZ	TIE_SW Orificio N°	HFES_SC	TIE_SW Orificio N°	HFES_HZ	TIE_HW Orificio N°	HFES_HC	TIE_HW Orificio N°
756-1260	1/2	0	1/4	0	1/2	-	1/4 y 1/2	-
1386-1764	1/2	1	1/2	0	1	1	1/2	-
1890-2016	1	1	1/2	1	1	1	1/2	1
2142-2520	1	1, 2	1/2	1	1	2	1	1
2646-2772	1-1/4	2	1	1	1-1/2	2	1	1
2898-3276	1-1/4	2	1	1	1-1/2	2	1	2
3402-3780	1-1/2	3	1 y 1-1/4	2	1-1/2	3	1 y 1-1/2	2
3906-4284	1-1/2	3	1-1/4	2	2	3	1-1/2	2
4410-5040	2	3	1-1/4 y 1-1/2	2	2	3	1-1/2	2, 3
5166-6048	2	4	1-1/2	3	2-1/2	3, 4	2	3
6174-7056	3-1/2	4	2	3	3	4	2	3
7182-8568	3-1/2	5	2	3	3	4	2-1/2	3, 4
8694-10080	3-1/2	6	3-1/2	4	3 y 5-1/2	4, 5	2-1/2 y 3	4
10206-12600	5	6	3-1/2	5	5-1/2	5, 6	3	4
12726-15120	5 y 7	-	3-1/2 y 5	6	5-1/2	6	3 y 5-1/2	5
15246-17640	7	-	5	-	8	-	5-1/2	6
17766-20160	7 y 10	-	5	-	8	-	5-1/2	-
20286-22680	10	-	7	-	10	-	8	-
22806-25200	10	-	7	-	10	-	8	-
25326-27720	10 y 13	-	7 y 10	-	10 y 15	-	8	-
27846-30240	13	-	10	-	15	-	8 y 10	-
30366-32760	13	-	10	-	15	-	10	-

CONCLUSIONES.

Es gratificante el poder concluir este trabajo gracias al conocimiento adquirido a lo largo de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista y de los maestros que me apoyaron a lo largo de la misma.

En este trabajo se concluye que el conocimiento de termodinámica me permite conocer los elementos a efecto de poder conocer su funcionamiento y aplicación para fabricar, diseñar y más tarde poder darle mantenimiento a una Cámara Frigorífica para alimentos misceláneos o alguna aplicación semejante.

Cabe mencionar que una cámara Frigorífica no solo se emplea para la conservación de alimentos, sino para una gran variedad de aplicaciones como son: en la industria cosmética, farmacéutica, agrícola, militar, etc.

Calcular la carga térmica y en cada caso es necesario
Saber las necesidades, partiendo del espacio y sus necesidades.

- a) Justificar el uso de refrigeración, indispensable para el manejo de los alimentos que garantice el buen estado del producto alimenticio que se ofrece a los trabajadores.
- b) Prevenir epidemias gastrointestinales
- c) Fomentar la cultura de una alimentación higiénica en los trabajadores
- d) Siguiendo las normas oficiales para el manejo de los alimentos como son la NOM-093-SSA1-1994.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Astrocel International. Filters HEPA, ULPA. Louisville Ky. Agosto 2005. pp. 8.
- 2.- Ashare Journal. Energy Conservation Showcase. Atlanta, GA. Abril de 1999. pp. 29.
- 3.- Catalogo de Productos McQuay 2006.
- 4.- Catalogo de Productos McQuay 2007.
- 5.- Catalogo Técnico de Productos Bohn 2008.
- 6.- Compresores Copeland. El Estandar de la Industria. Copeland Corporation. Sydney Ohio 2005. pp. 32.
- 7.- DuPont Suva refrigerantes. Suva noticias. DuPont México. México D. F. Abril de 2007. pp. 3.
- 8.- DuPont México, S. A. de C. V: DUMEXSA. Guía de información de productos.
- 9.- DuPont Suva refrigerantes. Suva noticias. DuPont México. Publicación trimestral. México D. F. Octubre de 2004. Número 16. pp. 3
- 10.- The Trane Company. Air conditioning Clinic. Cooling and Heating Load
- 11.- Estimation. An American System Group. La Crosse WI. Marzo 2006. pp. 94.
- 12.- The Trane Company. Air conditioning Clinic. Psychrometry. An American System Group. La Crosse WI. Marzo 2006. pp. 92.
- 13.- The Trane Company. Air conditioning Clinic. Refrigeration System Components. An American System Group. La Crosse WI. Junio 2005. pp. 53.
- 14.- The Trane Company. Air conditioning Clinic. Refrigeration. An American System Group. La Crosse WI. Junio 2006. pp. 53.
- 15.- 2006 ASHRE Equipment Handbook ASHRE, Atlanta, Ga.
- 16.- 2006 ASHRE Reffrigeration Handbook ASHRE, Atlanta, Ga.
- 17.- 2005 ASHRE Syatems Handbook ASHRE, Atlanta, Ga.
- 18.- 2004 ASHRE Fundamentals Handbook ASHRE, Atlanta, Ga.
- 19.- Principios de Termodinámica para Ingeniería

MESOGRAFÍA

1. <http://www.emerson.com/en-US/newsroom/news-releases/emerson-business-news/Pages/Emerson-Industry-Honors-Climate-Technologies.aspx-EMERSON>
- 2.- <http://www.daikinmcquay.com/McQuay/ProductInformation/AllProducts/AllProducts>
- 3.- http://www2.dupont.com/Refrigerants/en_US/products/Suva/#.UZVITbVTDTTo
- 4.- http://www.emersonclimate.com/en-us/products/electronics_compressors/Pages/electronics_compressors.aspx
<http://www.heatcrafttrpd.com/>
<https://www.ashrae.org/resources--publications/periodicals/ashrae-journal>
- 5.-<http://www.apolo69.com>
- 6.- http://www.caurium.com/clientes/rite2008/mod_002/unid_007a_000.html
- 7.- http://www.refrigeracionindustrial.com/imgs_contenido/ima_art_1.png
- 8.- http://conservacionenfrio.files.wordpress.com/2011/08/img_01.jpg
- 9.-<http://www.tecnoficio.com/electricidad/images/valvula%20solenoides%201.jpg>
- 10.-https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS94HScKBMJXO7i_M12mAXk-k4xdJ3CSUpE1ZxLicM1eLcE93HyNw
- 11.<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/wpcontent/themes/mundoHvacr/imagen.php?src=wp-content/uploads/2009/05/03.gif&w=200&h=170&zc=1>
- 12.- <http://es.gequality.com/media/images/Product/565.jpg>
- 13.- <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/wp-content/uploads/2010/02/83-refrigeracion2.jpg>
- 10.- <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/wp-content/uploads/2011/05/curva-3.jpg>
- 14.http://www.google.com.mx/imgres?hl=es&tbo=d&biw=1280&bih=890&tbm=isch&tbnid=3sOs8cy1ghFjM:&imgrefurl=http://www.siafa.com.ar/notas/nota27/calidadaire.htm&docid=pFSYFAnUvIaKwM&imgurl=http://www.siafa.com.ar/notas/nota27/n313_02.jpg&w=602&h=353&ei=j7L4UOzTDuHk2AWQvoGQBg&zoom=1&iact=hc&vpx=4&vpy=403&dur=654&hovh=172&hovw=293&tx=82&ty=87&sig=102104010014671779811&page=2&tbnh=126&tbnw=215&start=29&ndsp=39&ved=1t:429,r:29,s:0,i:168
- 15.- <http://pdf.directindustry.com/pdf/aaf-international/astrocel-i/16566-123157.html>

GLOSARIO

Calor.

Es la forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura.

Calor específico.

Es la cantidad de calor en BTU necesaria temperatura de una libra de la sustancia un grado fahrenheit.

Calor latente.

Es aquel calor que agregado o quitado de una sustancia provoca un cambio de estado físico, sin cambiar su temperatura.

Calor sensible.

Es aquel calor que agregado o quitado de una sustancia provoca un cambio en su temperatura, sin cambiar su estado físico.

Entalpía.

Es la energía almacenada en forma de temperatura y presión.

Flujo de calor (BTU).

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

Flujo de calor (Kilocaloría).

Es la cantidad de calor que se requiere para subir la temperatura de un kilo de agua un grado centígrado.

1 Kilocaloría = 4 BTU

Flujo de calor = peso (lbs) x cambio de temperatura CF)

Gravedad específica.

La gravedad específica de una sustancia, es la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua a 39°F, la densidad del agua a esa temperatura es 62.4 lbs/ft³.

Humedad específica.

Es el peso de vapor de agua por libra de aire seco, expresado en lb/lb de aire seco o en granos de agua por libra de aire seco.

Humedad relativa.

Es la relación entre la cantidad de agua que contiene el aire con la cantidad de agua que puede absorber para saturado 100% a las condiciones de temperatura y presión que existen.

Presión.

Es la fuerza que se ejerce por unidad de área, si la fuerza se mide en libras (lbs) y el área en pulgadas cuadradas (in²), las unidades de presión serán lbs/in², se usa la abreviatura psig.

Refrigerante.

Es un líquido volátil del que se aprovecha su calor latente de evaporación, para bajar la temperatura del medio que se está enfriando.

Temperatura.

Es la medida de la intensidad de calor que tiene una sustancia, esta intensidad de calor depende de la velocidad de las moléculas, mientras mayor sea la velocidad de las moléculas, mayor será la temperatura de la sustancia.

Teoría molecular.

Toda materia está compuesta de partículas llamadas moléculas, las moléculas de una sustancia están en constante movimiento, se atraen entre si por diversas fuerzas, mientras más próximas están las moléculas unas de otras, mayores son las fuerzas de atracción.

Cuando una sustancia se encuentra en estado líquido, sus moléculas están más próximas entre sí, que cuando se encuentra en estado gaseoso, por lo tanto en estado líquido las fuerzas de atracción son mayores, así mismo las moléculas en el estado gaseoso se mueven con mayor rapidez que en el estado líquido, por lo tanto tienen más energía, esto explica porque se requiere calor para que un líquido hierva.

Tonelada de refrigeración.

Es una unidad que mide la velocidad de transferencia de calor

1. tonelada de refrigeración = 3.51.7 kl/watts

1. tonelada de refrigeración = 1.2,000 btu/

1. tonelada de refrigeración = 3042 kf/oca/onas/hr

Temperatura de bulbo seco.

Es la temperatura del aire tal y como lo indica el termómetro.

Temperatura de bulbo húmedo.

Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada de agua en el seno de aire en rápido movimiento.

Temperatura de punto de rocío.

Es la temperatura a la cual el vapor de agua en el aire se comienza a condensar si se enfría el aire a presión constante.