



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“APLICACIÓN SOLAR EN UN
REFRIGERADOR DOMÉSTICO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

ALBERTO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ



FES Aragón

MÉXICO

2014



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.

Jurado Asignado

Presidente: M. en D.U. Julio Bernal Vázquez

Vocal: Ing. Alejandro Antonio Rodríguez Lorenzana

Secretario: M. en I. David Franco Martínez

Suplente: M. en I. María de Lourdes Marín Emilio

Suplente: Ing. Edgar Alfredo Cárdenas Pérez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí.

....A mi persona: porque hacer o no hacer algo, solo depende de nuestra voluntad y perseverancia [Einstein].

A Nataly, el amor de mi vida que siempre ha estado para levantarme cuando más lo he necesitado.

A mis hermanos: Salvador, Angélica y Cristina quienes comparten mis sueños y alegrías.

A mis sobrinos: Clau, Jess, Christian, Karen, Mari y Gael, quienes me hacen sonreír siempre con sus travesuras.

A mi asesor de tesis quien siempre me ha brindado su apoyo para la realización de este trabajo, M. en I. David Franco Martínez.

A mis sinodales por tomarse el tiempo para la revisión de esta tesis.

Agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (*COMECyT*) por el apoyo otorgado en el *Programa Becas Tesis de Licenciatura y Posgrado* del COMECYT 2012.

ÍNDICE

Introducción	i
Capítulo 1. Antecedentes históricos de la refrigeración	1
1.1 El frío natural.	1
1.2 Primeros métodos artificiales: las mezclas refrigerantes	2
1.2.1 La refrigeración mecánica	3
1.2.2 La máquina frigorífica de absorción.	5
1.3 Ciclo de carnot	7
1.4 Diagrama de mollier	9
Capítulo 2. Refrigeración doméstica	10
2.1 Conceptos básicos en la refrigeración doméstica	10
2.2 Componentes mecánicos de un refrigerador doméstico con motor-compresor	15
2.2.1 Condensador	17
2.2.2 Evaporador	20
2.2.3 Dispositivo de control de flujo	22
2.2.4 Tubo capilar	23
2.2.5 Filtro secador	24
2.2.6 Refrigerantes	26
2.3 Componentes eléctricos	26
2.3.1 Motor eléctrico	28
2.3.2 Relevador de corriente (relay)	29
2.3.3 Interruptor térmico	31
2.3.4 Capacitor	32
2.3.5 Control de temperatura (termostato)	33
2.3.6 Timer	34
2.3.7 La luz interior	36
Capítulo 3. Diseño y rediseño del prototipo	37
3.1 Diseño de un refrigerador doméstico convencional	37
3.1.1 Aislamiento	37
3.1.1.1 Puertas del refrigerador	38
3.1.2 Compresores	38
3.1.2.1 Compresores recíprocos	39
3.1.3 Refrigerantes	40
3.2 Rediseño del equipo	42
3.2.1 Energía solar	43
3.2.2 Colector solar	44
3.2.2.1 Diseño del colector parabólico compuesto cpc	45
3.2.3 Intercambiadores de calor	53
3.2.3.1 Intercambiadores de calor de un tubo	53
3.2.4 Adaptación del colector parabólico compuesto a un refrigerador doméstico	55

Capítulo 4. Resultados	58
4.1 Análisis completo del refrigerador doméstico con y sin adaptación del colector parabólico compuesto	58
4.2 Comparación de resultados	65
4.3 Análisis de resultados	67
4.4 Conclusiones	68
Anexo I	69
Referencias	71

INTRODUCCIÓN

La refrigeración consiste en extraer la energía térmica de un cuerpo para reducir su temperatura. Por las propiedades termodinámicas, dicha energía es transferida hacia otro cuerpo. Cabe destacar que el frío propiamente dicho no existe, sino que la temperatura es el reflejo de la cantidad de energía que posee un cuerpo. [1]

Los equipos blindados tienen el compresor y el motor eléctrico de accionamiento, completamente encerrados en una caja de acero en cuyo interior, una vez conectados todos los componentes del equipo, queda herméticamente cerrado, se le somete a un proceso de deshidratación, se le carga con el agente refrigerante y aceite lubricante, y se prueba su funcionamiento, con lo que se tiene una unidad compacta y en perfectas condiciones antes de instalarla en un refrigerador.

El refrigerante debe tener otras propiedades tales como la falta de toxicidad, además de no ser explosivo ni corrosivo. Con un refrigerante que posea estas y otras características, el diseñador y técnico puede proyectar y proporcionar servicio a un refrigerador en que la mayor parte de las piezas estén selladas en contra de la humedad y suciedad y que además se encuentren protegidas de la corrosión. [2]

La refrigeración doméstica es utilizada en la mayoría de los hogares y tiene su principal objetivo en conservar los alimentos un mayor tiempo a que si los tuviéramos a la intemperie, particularmente en este trabajo se pretende el aprovechar la energía solar para reducir el consumo eléctrico en los refrigeradores domésticos. Esta aplicación sería muy importante debido a que la mayoría de los hogares en México y demás partes del mundo el refrigerador es uno de los componentes básicos para la vida diaria del hombre y por si fuera poco este aparato tiene que estar conectado las 24 horas del día absorbiendo cantidades

exorbitantes de energía eléctrica y eso sin contar que para industrias como la alimenticia, la refrigeración es más que indispensable.

Lo que se pretende específicamente en este prototipo es el de aprovechar energía solar y de alguna forma adaptar está a la salida del evaporador consiguiendo así el aumento de temperatura y presión del gas refrigerante arrojándonos datos teóricos muy favorables ya que si se consigue esto de forma práctica se ahorrara hasta un cincuenta por ciento de energía eléctrica del motor compresor el cual evidentemente tendrá que trabajar menos debido al aumento de presión del refrigerante antes de entrar a esté.

Entonces si consideramos la cantidad de habitantes del mundo y su necesidad por utilizar un refrigerador se tiene que esta implementación de ahorro de energía al sistema de refrigeración doméstica puede ser bastante importante.

Ahora bien la energía solar es una energía que hace unos años ya empezó a tomar fuerza principalmente en calentamiento de agua y calefacción esto hablando de aplicaciones en los hogares, pero aun así falta mucho camino por recorrer ya que esta energía es renovable por lo cual la podemos explotar una y otra vez sin miedo a que se termine.

Así mismo, es importante destacar que en México se han venido realizando una serie de estudios sobre el aprovechamiento de las energías renovables tales como el aire acondicionado solar, diseño de diferentes aerogeneradores, entre muchas otras más aplicaciones con resultados muy positivos.

1

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA REFRIGERACIÓN

En este capítulo se explica de forma muy breve la historia de la refrigeración así como su desarrollo e importancia en la evolución que ha tenido el hombre en el área de conservación de alimentos.

1.1 EL FRÍO NATURAL.

La refrigeración basada en el hielo natural es muy antigua y se empezó a practicar mucho antes de que se construyera una máquina térmica.

La nieve y el hielo natural fueron los únicos medios de refrigeración por muchos siglos.

Desde civilizaciones tales como la romana y griega comprimían la nieve la cual se convertía en hielo y se utilizaba en la época de mayor calor.

Los egipcios, hindúes y otros pueblos, utilizaban métodos para producir hielo artificialmente, todos ellos muy similares. Colocaban sus líquidos dentro de recipientes de barro en los techos de sus casas durante la noche, de tal forma que la disminución de temperatura en la madrugada enfriaba el contenido. Desde ese

entonces la humanidad ya mostraba su gran capacidad para facilitar la vida cotidiana en el área de conservación de alimentos.

Fue hasta el siglo XIX donde los ingleses empezaron a utilizar las cajas de hielo mejor conocidas en la actualidad como hieleras.



Figura 1.1. Se muestra una fuente de hielo natural que nuestros antepasados utilizaban para conservar sus alimentos.

Fuente: http://www.elclima.com.mx/volcan_popocatepetl.htm

1.2 PRIMEROS MÉTODOS ARTIFICIALES: LAS MEZCLAS REFRIGERANTES

La utilización de los procesos químicos mediante mezclas refrigerantes se puede considerar como una etapa intermedia entre el frío natural y el artificial, un ejemplo de ello es la interacción del agua con nitrato de sodio para disminuir la temperatura del agua.

Fue en el año de 1607 d.C. que se descubrió que podía utilizarse una mezcla de agua con sal para congelar el agua, otro componente importante que fue utilizado como mezcla refrigerante fue el éter, el cual al ser expuesto al aire se evapora con la mayor prontitud y produce al evaporarse un frío muy sensible en el cuerpo.

En el siglo XIX numerosos científicos estudiaron las leyes que rigen las mezclas frigoríficas, y las mezclas de hielo y sal común, que permiten disminuir la temperatura hasta -20°C , se emplearon específicamente para congelar productos alimenticios.

Dichos métodos eran de capacidad muy limitada, por lo que no se puede hablar de refrigeración hasta la invención de los métodos continuos, como la refrigeración mecánica y la refrigeración por absorción.

1.2.1 LA REFRIGERACIÓN MECÁNICA

La refrigeración mecánica es la que se produce por un proceso continuo en donde se entrega trabajo a una máquina, bien puede ser de ciclo cerrado o abierto. A pesar de que los primeros intentos de obtener frío por el medio mecánico fueron por evaporación de un líquido volátil, la primera máquina realmente operativa fue de expansión de aire. Entonces se denomina máquina frigorífica de compresión.

La obtención de frío por evaporación se adjudica a William Cullen. Hacia 1750 se interesó en la evaporación de líquidos y realizó muchos experimentos en los que hervía líquidos bajo vacío, usando la mejor bomba de vacío de ese tiempo; se percató que independientemente de las condiciones ambientales, se podía producir hielo mecánicamente, evaporando líquidos volátiles, y en 1755, ocupando la cátedra de Química, publicó en Edimburgo un trabajo científico titulado Ensayo sobre el frío producido por los líquidos de evaporación, en el que escribió:

En un experimento hecho con éter nitroso, cuando el calor del aire estaba alrededor de los 43°F , colocamos la vasija que contenía éter dentro de otra, un poco mayor, que contenía agua. Después de hacer vacío y que las vasijas hubieran permanecido unos minutos en el mismo, encontramos la mayor parte del agua congelada y que la vasija que contenía éter estaba rodeada de una gruesa y firme capa de hielo. [3]

El ingeniero americano Jacob Perkins (Newburyport 1766-1848) que había inventado los tubos de agua para generador de vapor que actualmente llevan el nombre de Field, inventó la máquina destinado a ser la base de la actual industria de la refrigeración.

Perkins, en cuanto a la refrigeración se sabe que en agosto de 1834 obtuvo una patente de los Estados Unidos, descrita como mejora de los aparatos y medios de producción de hielo y en líquidos de refrigeración para una máquina de compresión que trabajaba en un ciclo cerrado. El éter hervía en un evaporador, a baja temperatura y presión, para congelar el agua. Luego el vapor de éter obtenido se comprimía y condensaba a mayor temperatura y presión; por último, el éter líquido del condensador se introducía, a través de una válvula de expansión, dentro del evaporador a baja presión, donde la temperatura descendía de nuevo a su valor inicial, cerrando así el ciclo.

En la descripción para la obtención de la patente, Perkins hablaba de su máquina como:

un aparato o medios mediante los cuales estoy capacitado de usar fluidos volátiles con el objeto de producir el enfriamiento o la congelación de líquidos y, al mismo tiempo, condensar constantemente dicho fluido volátil para usarlo una y otra vez, sin desperdicio.[3]

El posterior desarrollo de la refrigeración continua tuvo tres centros: Europa (destacando Gran Bretaña), Australia y los Estados Unidos.

Se considera que la primera máquina de refrigeración que funcionó comercialmente con éxito fue la de John Gorrie, era un médico que buscaba conseguir una máquina que produjera frío y hielo para componer pacientes con la fiebre amarilla.

Durante todo el siglo XIX una gran cantidad de personas trataron de diseñar refrigeradores mecánicos. Los esfuerzos de los científicos y estudiosos de la época habían puesto en claro que si se licuaba un gas y luego se le dejaba evaporar, su temperatura descendería y también la que le rodeara.

El uso del refrigerador en los hogares inicio a principios del siglo XX. Uno de los primeros refrigeradores domésticos fue presentado por la compañía General Electric en el año 1911.

En 1918, la compañía Kelvinator introdujo el primer refrigerador doméstico con control automático.

El éter como refrigerante dio paso al amoníaco, al dióxido de azufre y al dióxido de carbono; mientras tanto continuaba la búsqueda de refrigerantes más seguros y de mejor rendimiento. Esta búsqueda término en 1930 cuando Thomas Midgley, Jr. de Dupont, anunció el primer fluorocarbono, el Freon-12, que condujo a la familia que ha dominado la refrigeración por compresión hasta que a finales de los 80, su efecto notable sobre la capa de ozono (descubierto por Rowland y Molina en 1974) provocó que internacionalmente se haya acordado la extinción de su uso, en un plazo aun no claro.

1.2.2 LA MÁQUINA FRIGORÍFICA DE ABSORCIÓN.

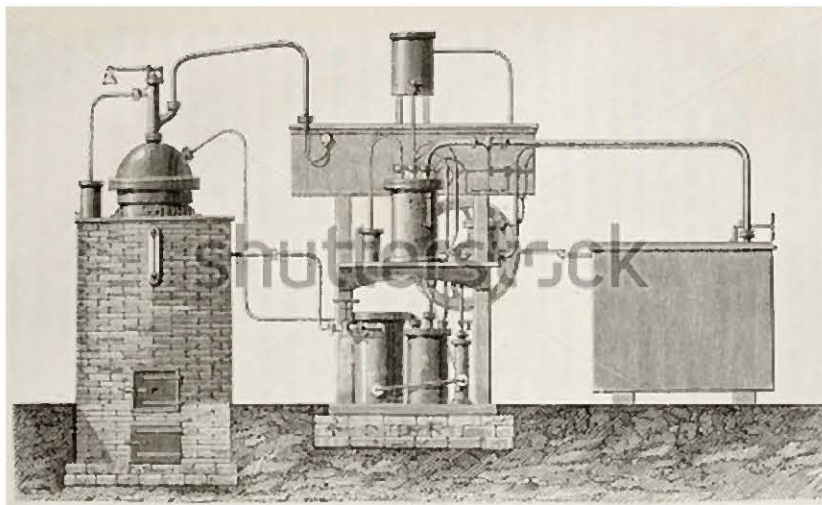
Joseph Priestley descubrió en 1774 el amoníaco y también había observado la gran afinidad de este nuevo gas. Esta propiedad condujo a Ferdinand Philippe Edouard Carré (Moislains 1824 – Poncet 1900) a idear una máquina de refrigeración que sólo consumía calor. El sistema fue conocido más tarde con el nombre de absorción.

Ferdinand Carré patentó su nueva máquina en 1859 y en los años siguientes registró numerosas patentes relacionadas con máquinas de refrigeración. Las

máquinas fabricadas que se arreglaron para esta patente fueron, una pequeña de operación intermitente, y otra grande de operación continua.

La máquina de menor capacidad, era de tipo doméstico y portátil. Podía hacer de 0,5 a 2 kg. De hielo en cada operación; tenía dos elementos principales que actuaban alternativamente, el primero como calentador y absorbedor y el segundo como condensador y evaporador. El aparato calentaba durante 35 a 70 minutos; la solución concentrada de amoniaco se calentaba hasta 130°C, el gas amoniaco abandonaba la solución acuosa y pasaba al condensador donde se licuaba. En la fase de enfriamiento, aproximadamente con el mismo tiempo de duración, una bandeja de metal con agua se ponía en esta misma parte del equipo, que ahora funcionaba con evaporador, y el agua se congelaba. Su funcionamiento aproximadamente requería 3 kg de carbón de madera por cada kilo de hielo producido.

En la máquina de operación continua, se tenían casi todas las características de las máquinas actuales.



www.shutterstock.com · 73922716

Figura 1.2. Aparato antiguo de enfriamiento por absorción inventado por Ferdinand Carré. Fuente: <http://goo.gl/qYhmYE>

La máquina de refrigeración por absorción elaborada por Carré fue rápidamente exportada a varios países, como Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos donde fue perfeccionada.

Cuando aparecieron otros refrigerantes distintos de los éteres y más tarde los compresores eléctricos, la máquina de absorción tuvo que ceder el primer puesto a la de compresión.

Al principio y durante muchos años, los escépticos opinaron que la refrigeración artificial jamás se convertiría en una industria importante.

1.3 CICLO DE CARNOT

Nicolás Leonard Sadi Carnot (1796-1832), demostró que toda máquina térmica con el objetivo de generar trabajo mecánico por medio de un ciclo termodinámico debe de absorber de una fuente térmica de alta temperatura y a su vez rechaza calor a un sumidero térmico de baja temperatura. Propuso el ciclo termodinámico ideal de las máquinas térmicas el cual es conocido como "ciclo de Carnot", el cual está formado por cuatro procesos reversibles (dos isentrópicos y dos isotérmicos). Esto indica que las leyes descritas para una máquina térmica perfecta propuestas por Carnot marcan límites imposibles de alcanzar, esto debido a que los procesos de máquinas térmicas así como sistemas de refrigeración ocurren en tiempos finitos, en el orden de milisegundos, generando así irreversibilidades. El ciclo de Carnot es empleado en sistemas de refrigeración por su teoría básica.

En los sistemas de refrigeración se cede calor en la zona de baja temperatura del medio a enfriar y en las inmediaciones se aumenta la temperatura a través del medio de trabajo que en este caso es el refrigerante.

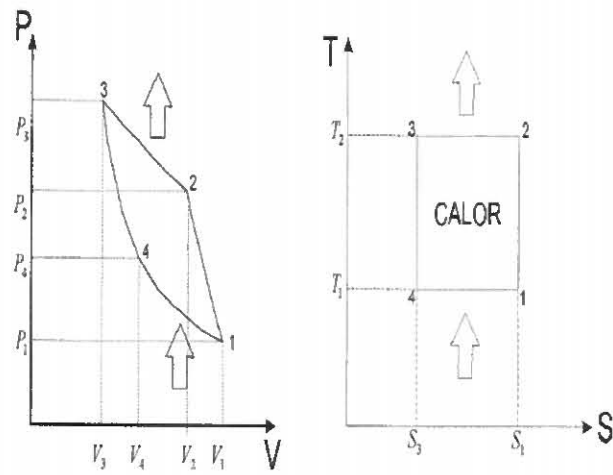


Figura 1.3. Relación Presión-Volumen y relación Temperatura-Entropía. [4]

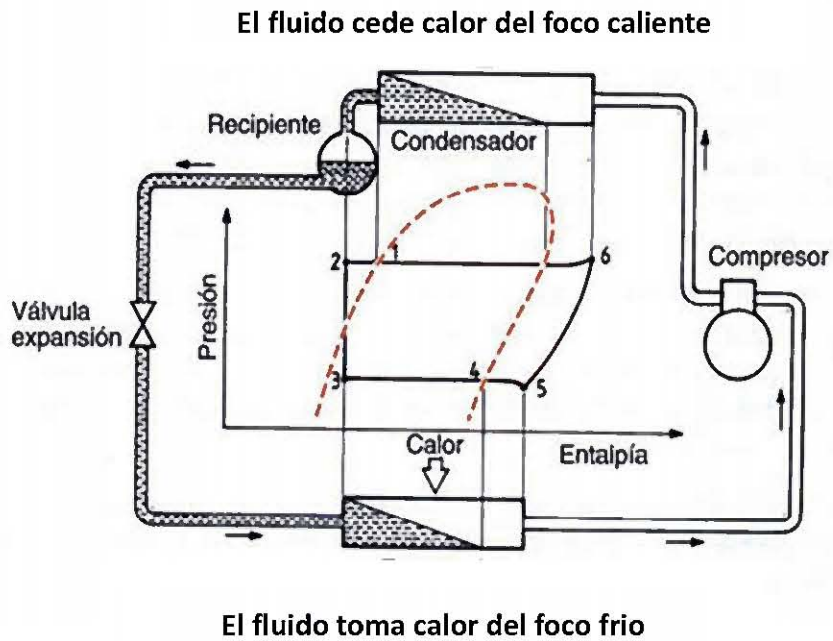


Figura 1.4. Ciclo ideal en un ciclo de refrigeración por compresión.

1.4 DIAGRAMA DE MOLLIER

El refrigerante está sometido a cambios de estado, de temperatura y presión según circula a través del sistema de refrigeración.

Las propiedades de los refrigerantes se pueden indicar en tablas o se pueden mostrar en una gráfica. Al diagrama que se usa con mayor frecuencia y tiene mayor utilidad se le llama diagrama de presión – entalpía ($p - h$) o diagrama de Mollier.

Se le nombra diagrama $p - h$ porque las propiedades de presión y entalpía se muestran en los ejes vertical y horizontal respectivamente.

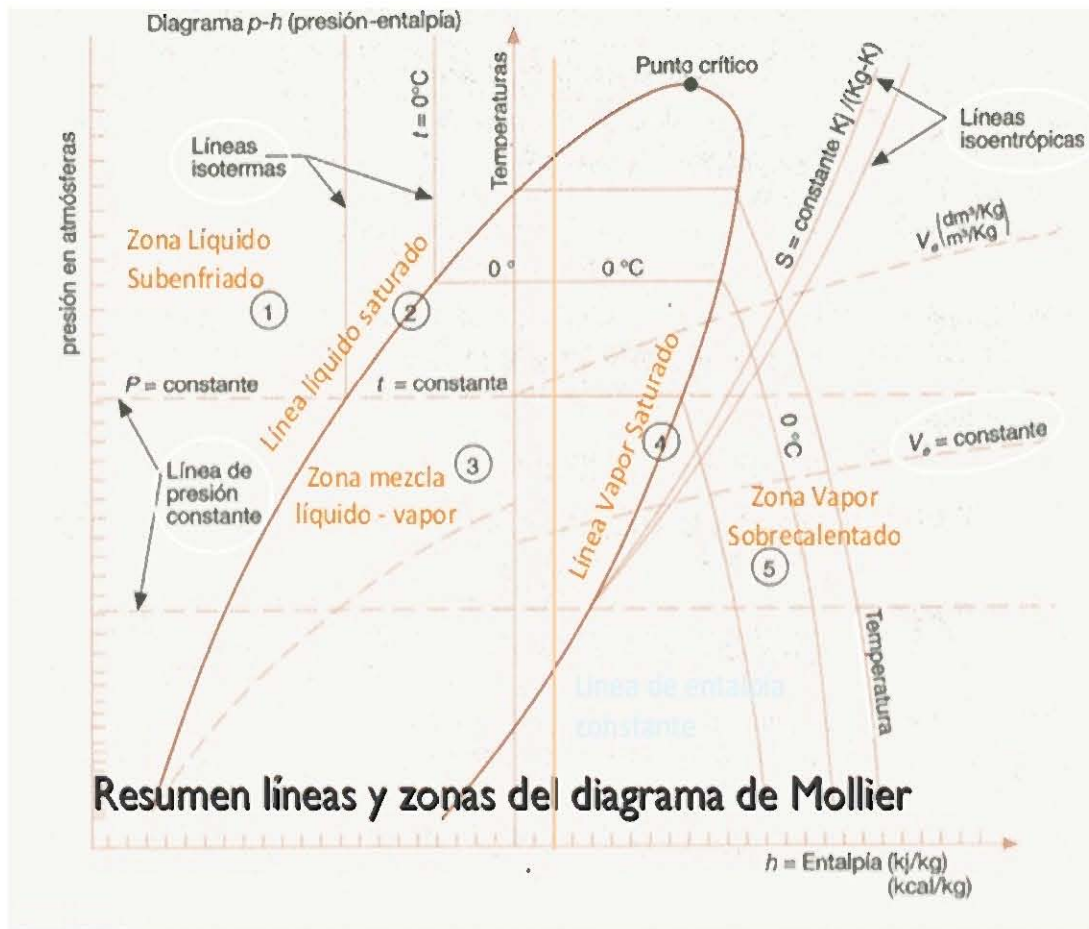


Figura 1.5. Líneas y zonas del diagrama de Mollier.

Fuente: <http://www.slideshare.net/casi05/diagrama-de-mollier>

2

REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

En este capítulo se mencionaran conceptos básicos para tener un mayor entendimiento en el área de refrigeración además de que se da una pequeña reseña de los componentes más importantes de los cuales consta el refrigerador doméstico.

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS EN LA REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

Con la finalidad de conocer bien los componentes de un refrigerador así como su funcionamiento, es indispensable conocer las leyes que lo rigen así como los conceptos utilizados en dicho proceso.

a) REFRIGERACIÓN

La refrigeración consiste en extraer la energía térmica de un cuerpo para disminuir su temperatura. Por las propiedades termodinámicas, dicha energía es transferida hacia otro cuerpo. Cabe destacar que el frío propiamente dicho no existe, sino que la temperatura es el reflejo de la cantidad de energía que posee un cuerpo.

b) TRANSFERENCIA DE CALOR

CONDUCCIÓN: Es la transmisión de calor desde un punto con cierta temperatura hasta otro de menor temperatura, que puede ser dentro de un mismo cuerpo o

desde un cuerpo hacia otro, este tipo de transferencia de calor se da generalmente en los sólidos.

La velocidad de conducción de calor depende del material utilizado como conductor, los metales son buenos conductores de calor y uno de los mejores y más utilizados es el cobre.

RADIACIÓN: Es la transferencia de calor que se da sin la necesidad de un cuerpo o agente conductor, el calor se transmite por medio de ondas tales como las de sonido o las de luz, que son capaces de atravesar espacios vacíos y el alcance de ellos depende de la potencia de la fuente calorífica.

Las características de las superficies por las cuales pasan dichas ondas de calor tienen gran relevancia.

CONVECCIÓN: La transferencia de calor por convección se da por la diferencia de densidad que sufren los gases y los líquidos, ya que cuando un material se calienta por ejemplo agua en una vasija, el agua que está más cerca del calor disminuye su densidad por lo tanto se vuelve más liviana y sube, se remplazara por el agua más fría que está encima de esta por tanto más densa.

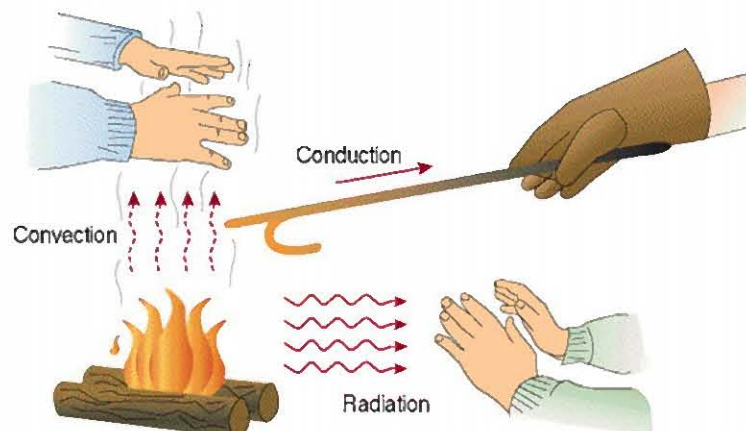


Figura 2.1. Muestra las tres formas posibles de transferencia de calor. Fuente: <http://www.meteorologiabasica.com/2010/10/radiacion-solar-y-terrestre.html>

c) PRESIÓN

Se puede definir como la(s) fuerza(s) ejercida(s) uniformemente sobre una superficie, por tanto se calcula dividiendo la fuerza total aplicada sobre la superficie total en la cual actúa.

En el sistema métrico se expresa en Kilogramos sobre Centímetro cuadrado se

abrevia $\frac{kg^2}{cm^2}$ y en el sistema inglés Libras sobre Pulgada cuadrada que se Abrevia $\frac{lb^2}{in^2}$.

- PRESIÓN ABSOLUTA.- Un determinado espacio del cual se ha evacuado todo el gas o líquido tiene una presión cero. La presión ejercida por un fluido por encima de dicho valor cero se conoce como presión absoluta.
- PRESIÓN ATMOSFÉRICA.- Es la presión ejercida por el aire que esta alrededor de la tierra, es decir una presión atmosférica, la cual a nivel del mar tiene un valor aproximado a los 14.7 psi, disminuyendo dicho valor con la altitud.
- PRESIÓN MANÓMETRICA.- Es la presión que está por encima o debajo de la presión atmosférica y se expresa en pulgadas de mercurio.

d) CALOR SENSIBLE

Este calor causa un cambio en la temperatura de una sustancia, pero no cambia de estado, todas las sustancias ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso contienen calor sensible siempre y cuando que su temperatura esté por encima del cero absoluto.

e) CALOR LATENTE

Se dice que existe calor latente, cuando el calor removido o agregado de una sustancia resulta en cambio de estado a temperatura constante.

EL VAPOR SATURADO es vapor a la temperatura de ebullición.

EL LÍQUIDO SATURADO es líquido a la temperatura de ebullición.

EL VAPOR SOBRECALENTADO es cuando la temperatura del vapor es superior a su temperatura de saturación (punto de ebullición).

EL LÍQUIDO SUBENFRIADO es cuando la temperatura del líquido es inferior a su temperatura de saturación.

- CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN.- ocurre cuando hay cambio de líquido a vapor.
- CALOR LATENTE DE CONDENSACIÓN.- ocurre al efectuarse el cambio de vapor a líquido.

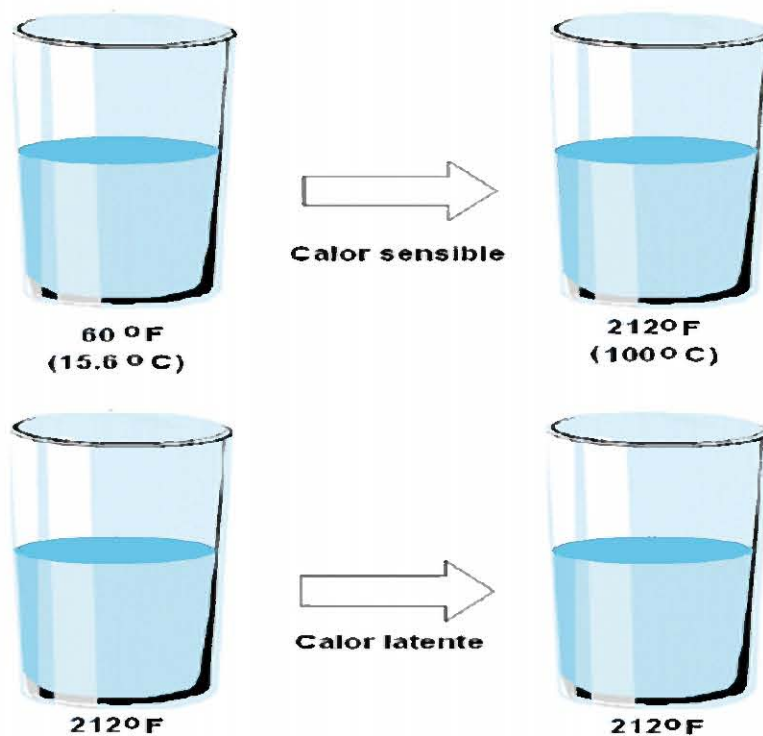


Figura 2.2. Calor sensible y calor latente. [4]

f) CARGA TÉRMICA

Es la cantidad de calor que debe ser removido del espacio a refrigerar, para mantener o reducir a la temperatura deseada.

Esta carga es la cantidad de calor que existe en los alimentos más el calor filtrado a través de las paredes y puerta.

g) TEMPERATURA

Es la medida del movimiento de las moléculas de una sustancia y se mide con un termómetro con dos principales escalas que son Celsius y Fahrenheit los cuales tienen definido un punto de ebullición y otro de congelación.

- TEMPERATURA DE BULBO SECO.- Es la mezcla de aire-vapor, la cual se puede medir con un termómetro colocado hacia la mezcla.
- TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO.- En una mezcla aire-vapor con una humedad relativa menor al 100%, se utiliza un termómetro normal pero en la punta se le coloca una gasa o franela impregnada de agua, se gira en algunas ocasiones dicho termómetro, y bajo condiciones de equilibrio la transferencia de calor del medio ambiente al agua en la gasa o franela, es justamente igual al calor latente de evaporización requerido por el agua que se evapora y difunde en la mezcla. La temperatura resultante es conocida como temperatura de bulbo húmedo.

h) HUMEDAD

Es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire.

- HUMEDAD ABSOLUTA.- Es la cantidad de agua contenida en un determinado volumen de aire es decir los gramos de vapor de agua contenidos por metro cúbico de aire.

- HUMEDAD RELATIVA. Es la proporción de vapor contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, expresada en porcentaje.

i) ENTALPIA

La propiedad de una sustancia, que indica la energía almacenada debido a la temperatura y la presión, se le conoce asimismo, como el contenido de calor. [6]

j) EFECTO DE REFRIGERACIÓN

El aumento de la entalpía del refrigerante en el evaporador se conoce como el efecto de refrigeración E.R. Es llamado efecto de refrigeración debido a que representa asimismo la cantidad de calor removido que se debe enfriar por cada libra o kilogramo de refrigerante que fluye. [6]

k) FLUJO MÁSICO DEL REFRIGERANTE

Cantidad de refrigerante expresado en unidades de masa, que atraviesa una sección transversal de área en la tubería del sistema de refrigeración por unidad de tiempo (lb/min).

2.2 COMPONENTES MECÁNICOS DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO CON MOTOR-COMPRESOR

Los equipos mayormente utilizados en la refrigeración doméstica actual son aquellos donde el motor y el compresor están juntos y herméticamente sellados, se les agrega aceite lubricante y el agente refrigerante realizando pruebas de funcionamiento antes de montarse en un refrigerador.

En este tipo de motor-compresor no hay tantas fallas debido a que todas las conexiones quedan perfectamente soldadas además que en su funcionamiento no

se utiliza la transmisión por correas por lo que se logra una mejor lubricación y el ruido del motor es prácticamente imperceptible.

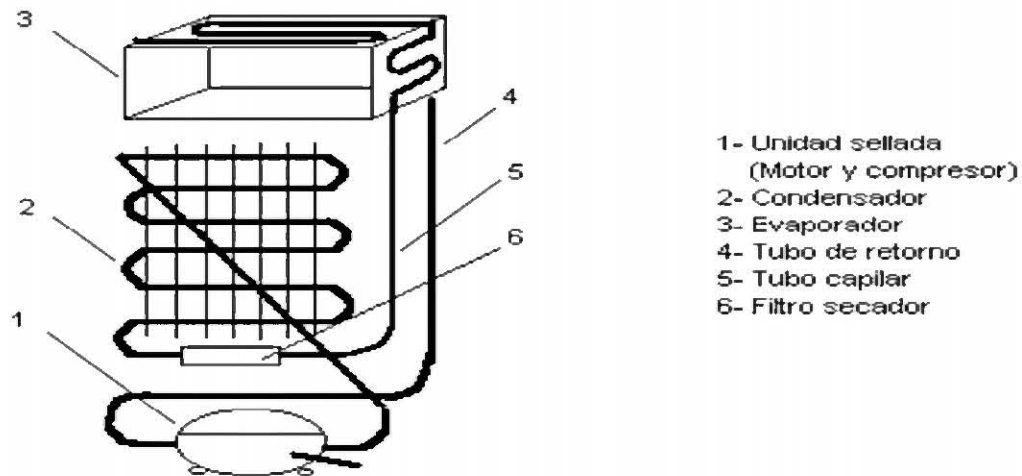


Figura 2.3. Componentes mecánicos de un refrigerador doméstico. [2]

El movimiento de rotación de este tipo de motor es transmitido al compresor de forma directa, es mejor conocido como de acoplamiento directo, entonces no son necesarias las poleas y bandas que son indispensables en los sistemas abiertos.

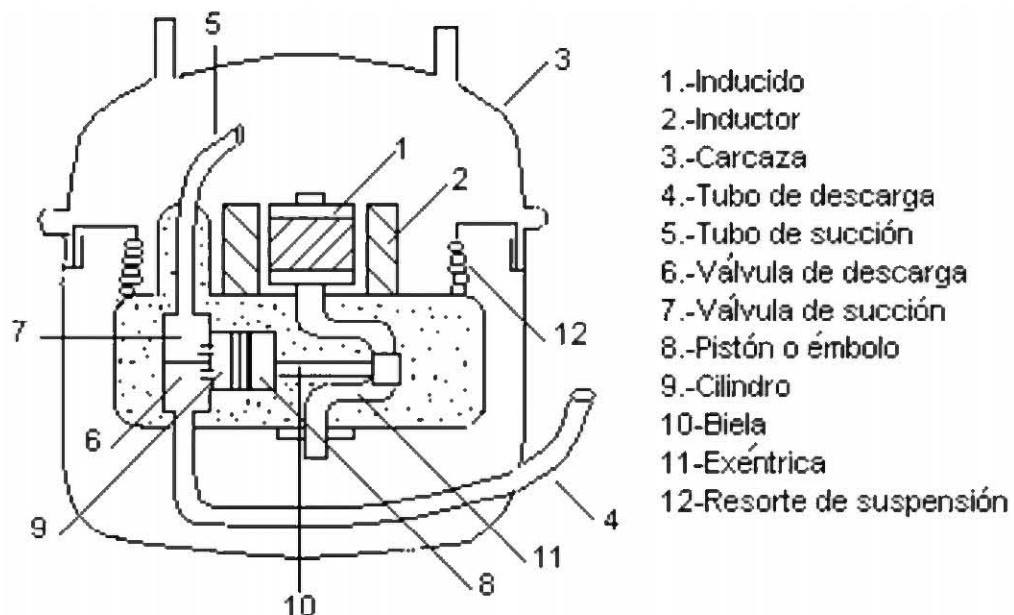


Figura 2.4. Partes de un motor-compresor. [2]

La excéntrica que es la encargada de transmitir el movimiento del motor, está unida a la biela en donde se provoca un vaivén con el pistón creando así la compresión del refrigerante.

El gas a baja presión, que llena la carcasa del compresor, es arrastrado al interior del compresor a través de un silenciador, en cada golpe de succión o carrera de aspiración del émbolo y se descarga también a través de otro silenciador durante el golpe de compresión o carrera de compresión del émbolo. Estos silenciadores están proyectados para amortiguar los ruidos del compresor, contribuyendo al funcionamiento silencioso que caracteriza esta clase de equipos.

Durante el golpe o carrera de compresión del émbolo, trabaja una válvula liviana colocada en la placa de válvulas que está fijada al final del cilindro, la que cierra la abertura de entrada o succión. El vapor refrigerante comprimido en el cilindro se descarga a través de una válvula a propósito, tipo disco que se abre tan pronto como la presión dentro del cilindro es mayor que la existente en el lado de alta presión del sistema. [2]

2.2.1 CONDENSADOR

El tipo de condensador utilizado en la refrigeración doméstica es del tipo de placas el cual está colocado en la parte posterior del gabinete, enfriándose el vapor refrigerante por la circulación natural del aire entre las placas las cuales tienen ondulaciones que forman canales o tubos, pero también los hay en la parte inferior trasera muy cerca del motor-compresor y su enfriamiento en refrigeradores domésticos se puede dar por circulación natural, tiro forzado o con agua.

La función del condensador en la refrigeración consiste en convertir el gas refrigerante que sale a alta presión y alta temperatura del compresor en líquido es decir se condensa el refrigerante. Antes de la condensación se absorbe calor de los alimentos en el evaporador, este calor pasa a la línea de succión por consiguiente el motor-compresor eleva presión y temperatura, al pasar por los

tubos y gracias al enfriamiento de modo natural, forzado o por agua el refrigerante puede convertirse en líquido.

Dicho proceso de condensación no es uniforme ya que existe vapor caliente a alta presión en un lado del condensador y líquido caliente a alta presión en el otro extremo.

El proceso de enfriar el gas refrigerante de forma natural en el condensador es factible debido a que la temperatura del aire en el medio ambiente es aún más fría que la temperatura del refrigerante. La transferencia de calor por medio de la convección realizará su tarea cuando el aire que ya este caliente porque el refrigerante le cede calor, disminuirá su densidad y aire fresco tomará su lugar.

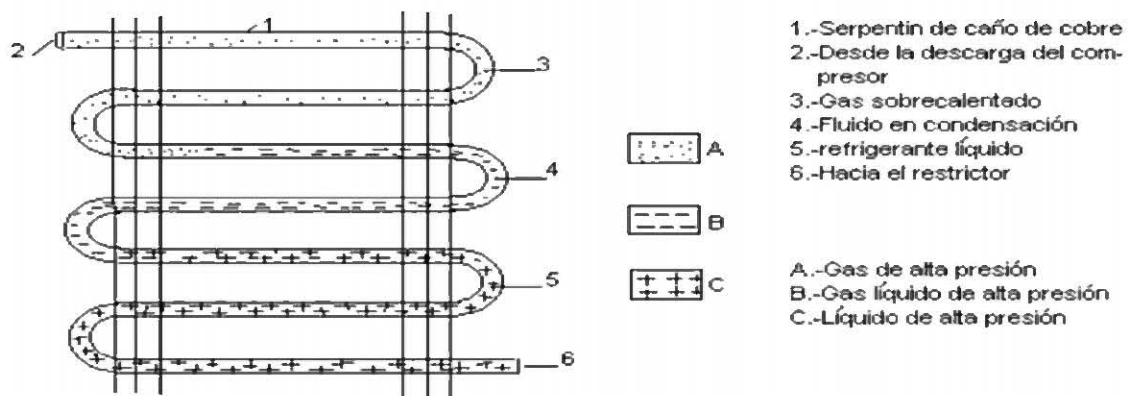


Figura 2.5. Etapas del refrigerante en el condensador. [2]

CONDENSADOR ENFRIADO POR CIRCULACIÓN FORZADA.- en este caso la circulación se obtiene mediante la acción de un ventilador, el que establece una corriente de aire sobre la superficie del condensador.

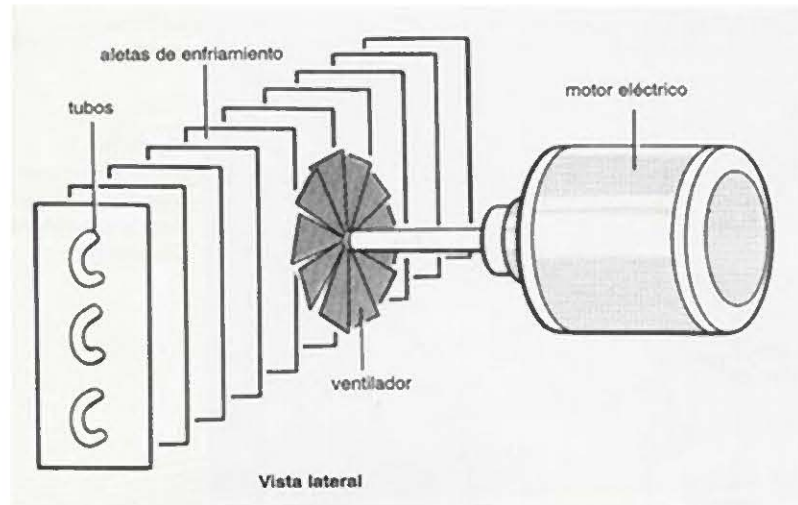


Figura 2.6. Condensador enfriado por tiro forzado. Fuente: <http://jose-alejandro-refrigeracion.blogspot.mx/2012/04/tipos-de-condensadores-evaporadores-y.html>

CONDENSADOR ENFRIADO POR CIRCULACIÓN NATURAL.- se recurre al fenómeno de convección natural del aire, el aire caliente de menor densidad que el frío tiende a elevarse, estableciendo así la corriente de convección mediante la cual al elevarse el aire calentado por la extracción del calor del condensador será sustituido por aire más frío, proceso que seguirá produciéndose en forma ininterrumpida durante todo el tiempo en que en el condensador haya una temperatura superior a la del ambiente. [2]



Figura 2.7. Condensador enfriado por circulación natural.

CONDENSADOR ENFRIADO CON AGUA.- en este caso el serpentín del condensador es colocado en una bandeja con agua y por diferencia de temperaturas se logra la condensación del refrigerante, aunque cabe señalar que este tipo de enfriamiento en la refrigeración doméstica no es muy común.

2.2.2 EVAPORADOR

El evaporador o serpentín de enfriamiento es la parte del sistema de refrigeración donde se retira calor del producto: aire, agua, comida o algo que debe enfriarse. Cuando el refrigerante entra a los pasajes del evaporador absorbe calor de los productos que van a ser enfriados y, cuando absorbe calor de la carga empieza a hervir y se vaporiza. En este proceso el evaporador ejecuta el propósito total del sistema que es la refrigeración. [5]

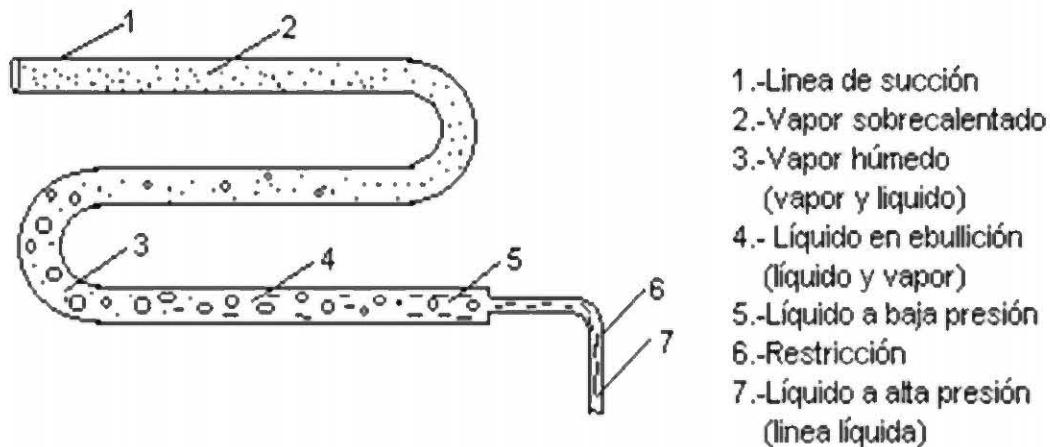


Figura 2.8. Estado del refrigerante en el evaporador. [2]

En refrigeración doméstica y comercial se emplean por lo general dos tipos de evaporadores: Los evaporadores inundados y los secos.

EVAPORADOR INUNDADO. Este tipo de evaporadores se llenan con refrigerante líquido. Es construido de tal forma que la mayor parte del espacio utilizado en este cambiador de calor es por refrigerante en estado líquido dejando solo un pequeño

espacio libre el cual se llena de vapor que toma la línea de succión. Estos evaporadores cuentan con flotadores en la línea de alta y baja presión con el objetivo de regular la alimentación líquida del refrigerante.



Figura 2.9. Evaporador inundado. [5]

EVAPORADOR SECO: En este tipo de evaporadores, en la tubería se cuenta siempre con refrigerante en estado gaseoso ya sea vapor húmedo o vapor saturado, sin que nunca haya refrigerante en estado líquido. Esto se logra con una válvula de expansión casi siempre instalada cerca del evaporador la cual provoca una gran disminución de presión y temperatura, después de lo cual el refrigerante completa su vaporización en el interior de los tubos con los que se compone el evaporador.

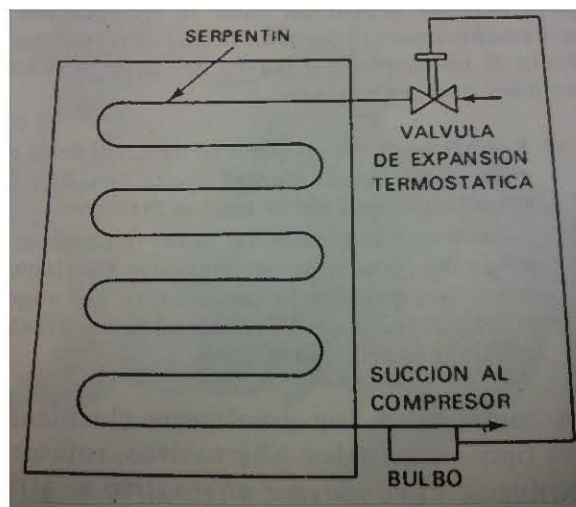


Figura 2.10. Serpentín de expansión seco con válvula de expansión termostática.

[5]

El evaporador junto con el condensador constituyen un ejemplo de equipos conocidos como cambiadores de calor.

Entonces el refrigerante entra a baja presión y baja temperatura a la tubería del evaporador, esto como resultado de la expansión que presenta el refrigerante después de pasar a través de un dispositivo de control de flujo. Debido a la brusca caída de presión una pequeña cantidad del refrigerante se evapora, con la consiguiente absorción de calor que esa evaporación trae asociada. Conforme el refrigerante va pasando a través de la tubería del evaporador, el refrigerante está absorbiendo más y más el calor hasta llegar el punto en que el vapor se sobrecalienta estando así listo para entrar a la línea de succión del compresor cumpliéndose de esta forma el ciclo de refrigeración.



Figura 2.11. Evaporador de refrigeración doméstica del tipo no-frost.

2.2.3 DISPOSITIVO DE CONTROL DE FLUJO

Un componente igual de relevante en el sistema de refrigeración doméstica es el restrictor también conocido como dispositivo de control de flujo, dispositivo de

expansión o dosificación. Este dispositivo debe realizar dos funciones en un sistema de compresión de vapor.

- Debe regular el flujo del refrigerante líquido que se alimenta al evaporador, según sea la demanda.
- Debe crear una caída de presión, desde el lado de alta al lado de baja del sistema. Esta caída de presión da por resultado la expansión del refrigerante que fluye, haciendo que una pequeña cantidad del mismo se evapore, de manera que se enfríe hasta la temperatura de evaporación. [6]

El dispositivo de control de flujo debe de percatarse del cambio en las condiciones que requieren un cambio de flujo. Es decir cuando aumenta la carga térmica en el evaporador, el restrictor debe alimentar más refrigerante y restringir el flujo de refrigerante al disminuir la carga.

A este dispositivo se le suma otra ventaja y es que nos ayuda a igualar la presión de baja y la presión de alta cuando el motor está apagado. Esto se logra debido a que a través del restrictor comienza a fluir una pequeña cantidad de refrigerante hasta lograr un equilibrio de presiones en el lado de alta y de baja, lo cual nos da como resultado que al encender el equipo de refrigeración como del lado de alta ha disminuido la presión se tiene un menor consumo de energía en el motor-compresor.

2.2.4 TUBO CAPILAR

El tubo capilar no es más que un tubo de muy pequeño diámetro, aproximadamente de un milímetro y el largo varía entre uno y seis metros. Este dispositivo es utilizado en sistemas de refrigeración doméstica con serpentines de expansión directa.

De igual forma que el dispositivo de control de flujo, el tubo capilar no posee piezas móviles, por lo cual es muy utilizado en las unidades herméticas.

Debido a su bajo costo y que no necesitan mantenimiento, se usan ampliamente en refrigeradores domésticos, y equipos de aire acondicionado de baja capacidad.

A causa que tiene una estrecha abertura y una considerable longitud, el tubo capilar presenta una gran caída de presión en sí mismo. Por eso es que se considera como un dispositivo de expansión adecuado. El tamaño y longitud del tubo capilar se determina de una forma que entregue un flujo adecuado a una carga y temperatura especificadas.

Aunque cabe señalar que aunque el tubo capilar funciona satisfactoriamente, se supone que se requiere mayor potencia en los sistemas que utilizan un tubo capilar que los que utilizan una válvula de control de flujo.



Figura 2.12. Tubo capilar.

Fuente: www.tecnicomartin.blogspot.com

2.2.5 FILTRO SECADOR

Este dispositivo el cual se encuentra instalado en la línea del líquido, se encarga de eliminar el vapor de agua que pueda llegar a filtrarse a la tubería así como

partículas extrañas, lo que evita es la obstrucción del restrictor o capilar como también la contaminación del sistema con agua.

Dicho proceso se logra debido a que el filtro secador contiene en su interior unas pequeñas mallas y un material que por lo general es la sílica-gel en forma granulada, el cual tiene gran afinidad con el agua.

Este material cumple con las propiedades requeridas para un buen desecante que son:

- 1- Reducir el contenido de humedad del refrigerante.
- 2- Actuar rápidamente para reducir la humedad en un paso de refrigerante a través de la unidad de secado.
- 3- Soportar aumentos de temperatura hasta de 70°C sin que se altere su eficiencia.
- 4- Ser inerte químicamente al aceite.
- 5- Permanecer insoluble, no debe disolverse con ningún líquido.
- 6- Permanecer en su condición sólida original.
- 7- Permitir el flujo uniforme del refrigerante a través de los gránulos, bolitas o bloque con una baja restricción o caída de presión del refrigerante. [2]

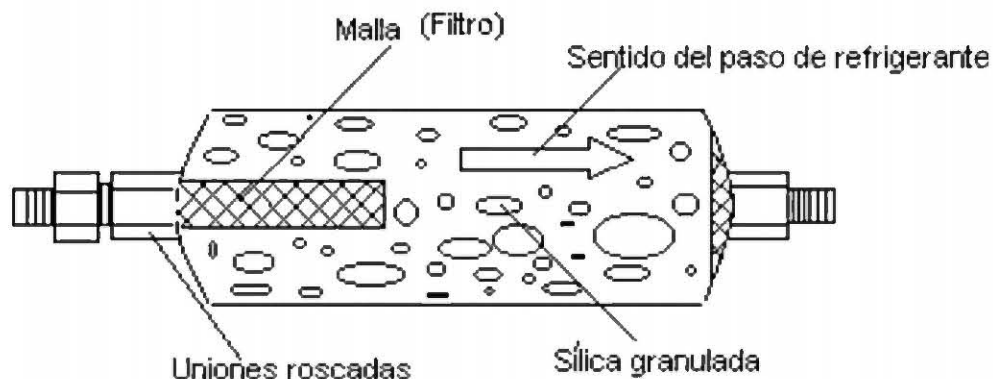


Figura 2.13. Partes de un filtro secador. [2]

2.2.6 REFRIGERANTES

En los sistemas de refrigeración doméstica el enfriamiento se puede obtener gracias a la evaporación de un líquido. De tal manera que a cualquier fluido al cual se puede cambiar de estado, es decir de un líquido a un gas, puede servir de refrigerante.

La selección del refrigerante varía según la aplicación para la cual será utilizado dicho refrigerante, algunos factores son: la capacidad del equipo, la seguridad, el consumo de energía así como el mantenimiento, entre otros.

El refrigerante debe poseer propiedades como la falta de toxicidad, así como no ser corrosivo ni explosivo. En la actualidad se conocen muchos tipos de refrigerantes pero los realizadores de los mismos se han dado a la tarea de analizar que dichos refrigerantes no sean contaminantes y a su vez no produzcan el efecto invernadero. El refrigerante R134a se ha encontrado que no contiene repercusiones en el ambiente por lo cual es de los más utilizados en la refrigeración doméstica y está disponible en el mercado desde 1991.



Figura 2.14. Ejemplo de refrigerante.

Fuente: www.maximatec.com

2.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS

Los componentes eléctricos en los refrigeradores domésticos son una parte fundamental del sistema por lo tanto a continuación se dará una breve reseña sobre cada uno de dichos componentes eléctricos.

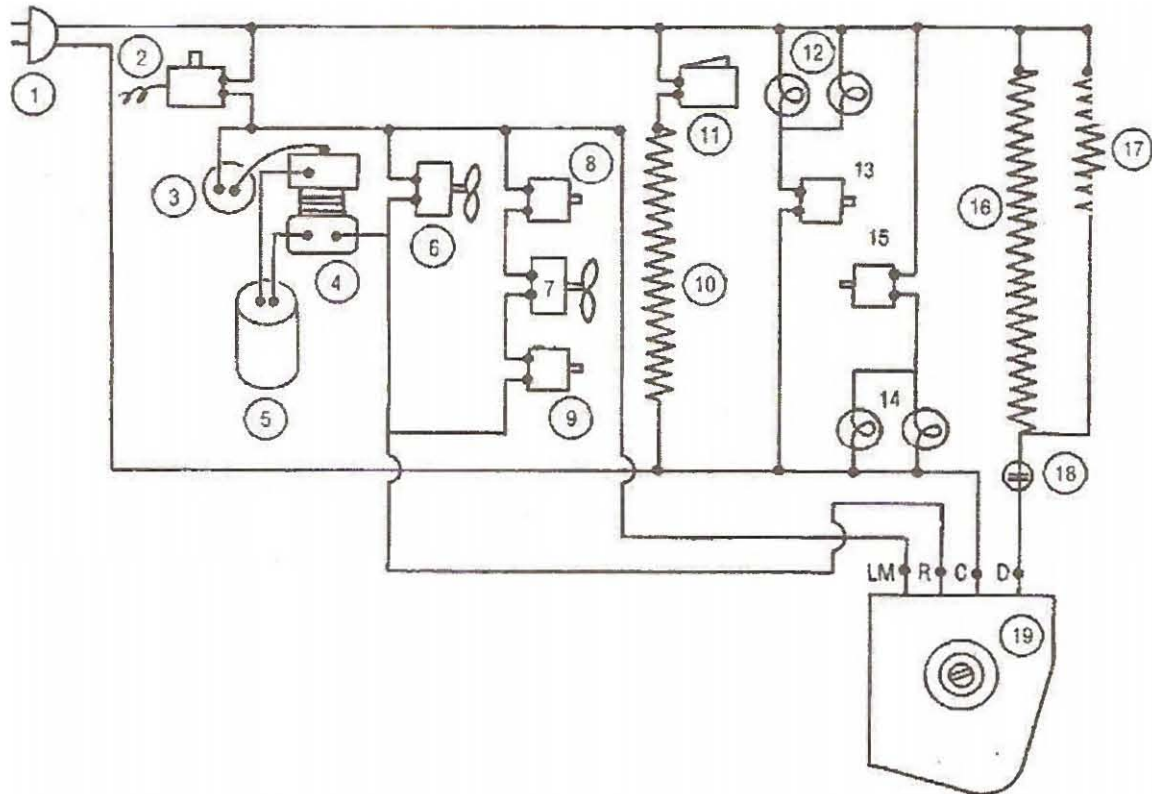


Figura 2.15. Componentes eléctricos de un refrigerador doméstico tipo no frost.

- 1.- Línea de alimentación a corriente alterna.
- 2.- Control automático de temperatura.
- 3.- Protector térmico de sobrecarga del compresor.
- 4.- Relevador electromagnético de arranque del compresor.
- 5.- Capacitar electrolítico de arranque.
- 6.- Ventilador del condensador; opcional.
- 7.- Difusor de frio del congelador.
- 8 y 9- Interruptores de presión del difusor.
- 10.- Resistencia calefactora de marco.
- 11.- Interruptores de resistencia.
- 12.- Focos o lámparas del congelador.
- 13.- Interruptor de presión de focos del congelador.
- 14.- Focos del refrigerador.
- 15.- Interruptor de presión de focos del refrigerador.
- 16.- Resistencia calefactora de deshielo.

17.- Resistencia calefactora del desagüe.

18.- Interruptor termostático de baja temperatura de deshielo.

19.- Timer o reloj de deshielo automático.

LM.- línea motor.

R. - Refrigeración.

C.- Común.

D.-Deshielo.

Fuente: [\[http://jovanny1rv.blogspot.mx/2011/04/circuito-electrico-de-un-refrigerador.html\]](http://jovanny1rv.blogspot.mx/2011/04/circuito-electrico-de-un-refrigerador.html)

2.3.1 MOTOR ELÉCTRICO

Un motor eléctrico es capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, el cual está diseñado para que la energía mecánica se produzca en forma de rotación en donde dicha conversión de energía se efectúa mediante electromagnetismo. La corriente eléctrica fluye de tal manera que se forman fuerzas de atracción y repulsión entre los polos magnéticos los cuales producen la rotación del inducido desarrollándose así la energía mecánica.

En la refrigeración doméstica se utiliza de forma general el motor de inducción, dicho nombre se deriva de que la corriente es inducida en el rotor.

La potencia de los motores en la refrigeración doméstica es de baja capacidad a comparación de los utilizados en aire acondicionado, además de que están herméticamente soldados y sellados.

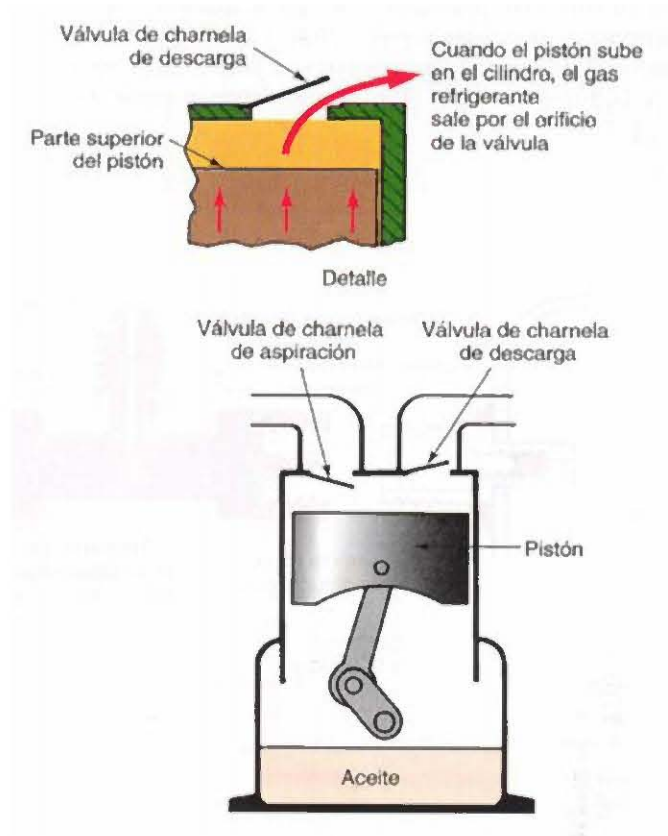


Figura 2.16. Pistón interno del motor-compresor. [7]



Figura 2.17. Motor-compresor herméticamente soldado y sellado.

2.3.2 RELEVADOR DE CORRIENTE (RELAY)

Para que el motor-compresor no sufra daños cuando se produce alguna sobrecarga eléctrica así como para ayudar a que el motor arranque es necesario un dispositivo controlador llamado relevador.

El motor está conformado por dos devanados que son de arranque y de trabajo, el devanado de arranque se conforma de muchas espiras de cobre delgadas y el devanado de trabajo se conforma de pocas espiras de cobre gruesas, estos devanados están conectados en un extremo formando un punto común, si quisiéramos solo energizar el devanado de trabajo la potencia no sería suficiente para que el motor comenzará a funcionar.

Entonces al conectar el refrigerador comenzará a pasar corriente eléctrica a través del devanado de trabajo y el bobinado del relevador, y debido a que el motor aun no puede funcionar se genera un gran consumo de corriente magnetizándose la bobina del relevador atrayendo el embolo metálico hacia si provocando que pase corriente hacia el devanado de arranque por un breve instante lo cual hará que el motor comience a funcionar y por su parte la bobina del relevador se desmagnetizara disminuyendo así el consumo de corriente como también el embolo regresara a su estado inicial completándose de esta forma el arranque del motor-compresor con ayuda de su sistema de arranque (relevador).

Se cuenta también con el relevador en estado sólido o tipo PTC el cual aprovecha las características de algunos materiales que al calentarse se vuelven aislantes, el principio es el mismo que el de relevador de bobina. Al conectar el refrigerador comenzará a fluir corriente eléctrica a través del devanado de trabajo pero como aun no puede arrancar el motor circulará mucha corriente eléctrica que de igual manera estará pasando por el relevador en estado sólido el cual casi de manera inmediata encenderá el motor-compresor, instantes después que la corriente pasa por el relay sólido, éste aumentara su temperatura hasta volverse resistivo a la corriente, desconectándose el devanado de arranque mientras el refrigerador esté funcionando.



Figura 2.18. Tipos de relevadores utilizados en la refrigeración doméstica.

2.3.3 INTERRUPTOR TÉRMICO

En las unidades de motor-compresor de refrigeración doméstica se les colocan interruptores los cuales se utilizan básicamente para proteger el motor del refrigerador de una sobrecarga eléctrica, provocada una gran cantidad de veces por la prolongada conexión del bobinado de arranque, por exceso de refrigerante o debido a un cortocircuito.

El dispositivo térmico se encuentra en medio de los devanados del motor, y cuando se presenta la sobrecarga se abren sus contactos. Dicho dispositivo está conectado en serie con el embobinado del motor, mayormente en la línea común de un motor monofásico.

El elemento bimetalico se deforma cuando ocurre la sobrecarga, se abren los contactos, y se restablece automáticamente cuando se enfría. Estos interruptores no son regulables, se los elige para una intensidad, o potencia determinada.



Figura 2.19. Interruptores térmicos (bimetálico).

2.3.4 CAPACITOR

El capacitor es un dispositivo encargado de almacenar energía eléctrica. Se conforma de dos conductores cargados eléctricamente separados por un aislante, dichas cargas son de igual magnitud pero de signos opuestos. El efecto que produce es un desplazamiento de fase entre la corriente y el voltaje, de tal forma que la corriente se adelanta al voltaje, por consecuencia el factor de potencia aumenta.

La cantidad de carga eléctrica de la cual el capacitor es capaz de almacenar es denominada capacitancia, se mide en faradios o en microfaradios (millonésima parte del faradio).

Cuando se instala un capacitor en serie con el embobinado de arranque de un motor monofásico, se origina un desplazamiento de fase entre los embobinados (la corriente en el embobinado de arranque se adelantará a la corriente en el embobinado de trabajo). Esto causa el desplazamiento de la fuerza magnética que se requiere para proporcionar el par de arranque para el motor. [6]

El capacitor en los motores monofásicos es utilizado para mejorar su arranque, eficiencia, ruido y factor de potencia.



Figura 2.20. Capacitores de arranque utilizados en refrigeradores domésticos.

Fuente: masoportunidades.com.ar

2.3.5 CONTROL DE TEMPERATURA (TERMOSTATO)

Este dispositivo llamado termostato es capaz de detectar la temperatura de sustancias como el agua, el aire o el refrigerante, y controla el arranque o paro del compresor. Un elemento sensor por el cual está conformado comúnmente es un bimetálico, un tubo capilar y un diafragma o fuelle. Este conjunto está cargado con una pequeña cantidad de refrigerante y se halla herméticamente cerrado.

El bimetálico se encuentra muy frecuentemente unido a la salida del evaporador, exactamente en donde finaliza la vaporización del mismo, al cual va sujeto por medio de una grapa, y las variaciones de temperatura que sufre el evaporador se transmiten al bulbo, transformándose en variaciones de presión del fluido, que hacen expandir o contraer el fuelle. Estos movimientos de expansión o contracción del fuelle son recibidos por un sistema de palancas y resortes que mantienen en tensión al sistema; todo este conjunto forma un mecanismo que amplía los movimientos del fuelle y los transmite a un juego de contactos, provocando la acción de conexión y desconexión, cuando la temperatura alcanza los valores máximo y mínimo establecidos. [2]

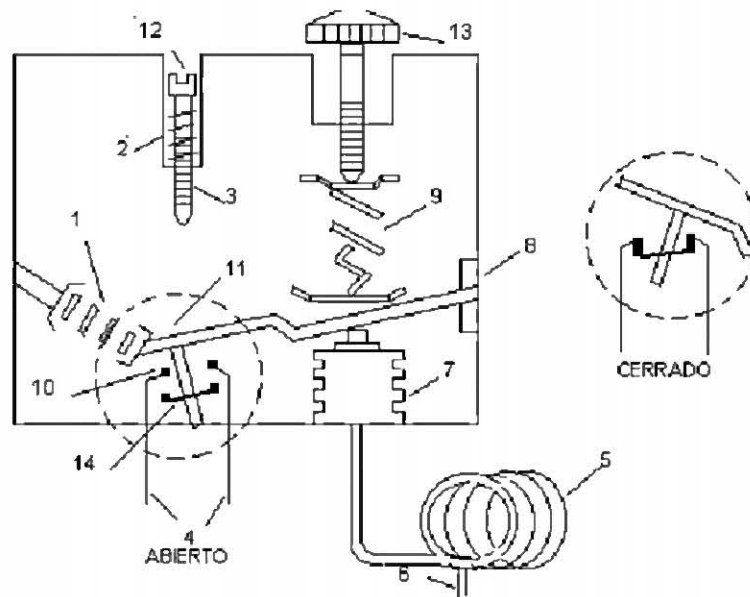


Figura 2.21. Partes del termostato. [2]

- 1) Resorte de corte y cierre rápido.
- 2) Resorte.
- 3) Perno de ajuste diferencial.
- 4) Cables eléctricos a contactos fijos.
- 5) Tubo capilar.
- 6) Bulbo.
- 7) Fuelle.
- 8) Articulación de palanca.
- 9) Resorte de regulación.
- 10) Contactos fijos.
- 11) Palanca.
- 12) Tornillo de ajuste diferencial.
- 13) Botón de regulación.
- 14) Puente de contacto.

Este dispositivo es controlado por medio de una perilla, la cual maneja distintas temperaturas de funcionamiento ya que si por ejemplo tenemos nuestro dispositivo en cero el compresor se desconecta por completo pero si lo tenemos en el máximo rango de operación que en algunos casos es el 7, el compresor prácticamente no se detendrá por lo cual solo en excepcionales casos se debe de utilizar en dicha medida.

2.3.6 TIMER

Los refrigeradores domésticos que no hacen escarcha y que son descongelados por una resistencia unida a un bimetálico son regulados por un timer.

Este timer o reloj, que avanza continuamente, 24 horas al día cada 6, 8 ó 12 horas, según el modelo del refrigerador, el timer da vuelta a una leva apagando el sistema de enfriamiento del refrigerador y energiza a la resistencia de deshielo para provocar la descongelación.



Figura 2.22. Contactos de la resistencia, compresor y común, así como leva del timer.

El timer cuenta con un pequeño motor eléctrico encargado de hacer funcionar un sistema de discos y piñones que en su funcionamiento determinan el ciclo de descongelación.

La conexión del timer con el compresor al igual que con la resistencia es en serie.

El timer en su funcionamiento activa dos contactos eléctricos internos, uno normalmente abierto y otro normalmente cerrado; la identificación de estos contactos generalmente es por medio de una numeración y en algunos modelos puede traer un diagrama eléctrico que ayuda a la conexión. En este punto es importante aclarar que si bien todos los timer de descongelación, prestan la misma función: conectar resistencia y desconectar compresor y forzador; la distribución de los contactos puede presentarse en distinta forma según el modelo. [8]



Figura 2.23. Timer.

2.3.7 LA LUZ INTERIOR

La luz interior de un refrigerador doméstico se instala de tal forma que únicamente encienda en el momento que se abra la puerta, esto se logra con un interruptor tipo pulsador normalmente cerrado, es decir que en el momento que se lo oprime el interruptor abre sus contactos interrumpiendo el circuito y esto es lo que sucede cuando se cierra la puerta del refrigerador doméstico, particularmente las neveras (Fig. 2.24A). Cuando se abre el interruptor vuelve a su posición original o sea cerrado, por lo tanto se cierran sus contactos dando paso a la corriente que llega hasta el bombillo haciendo que este se encienda (Fig. 2.24B). La apertura y cierre de la puerta no es recomendable hacerlo muy a menudo, se debe abrir la puerta únicamente cuando sea necesario, debido a que en el momento que la puerta de la nevera se abre, se introduce aire caliente del medio ambiente al tiempo que se enciende el bombillo y por ende genera más calor por radiación. Esto hace que el trabajo del refrigerador se prolongue hasta alcanzar nuevamente la temperatura establecida. [2]

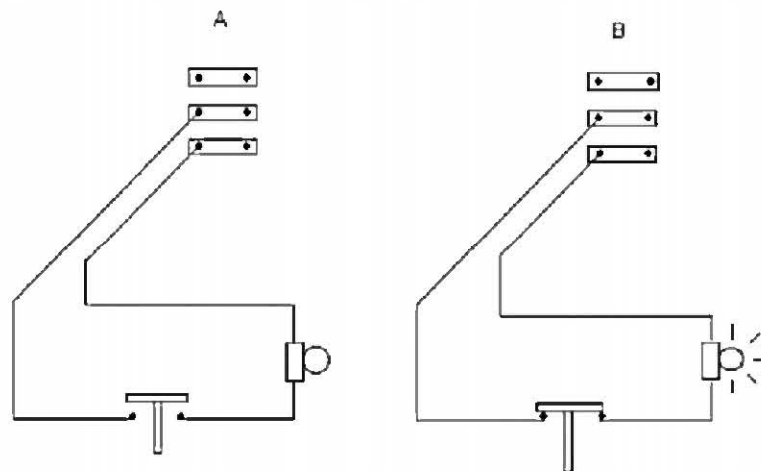


Figura 2.24. Conexiones posibles que puede tener la luz interior. [2]

3

DISEÑO Y REDISEÑO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se explican los aspectos básicos que deben tomarse en cuenta para realizar el diseño de un refrigerador doméstico convencional así como los aditamentos extra que incluye el refrigerador y cálculos necesarios para el rediseño del equipo, además se mencionan conceptos importantes para la realización del rediseño tales como el colector solar.

3.1 DISEÑO DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO CONVENCIONAL.

En el diseño de un refrigerador doméstico se deben tomar en cuenta diversos aspectos tales como el aislamiento, el compresor, el refrigerante, entre otros, para llevar a cabo un buen funcionamiento del equipo.

3.1.1 AISLAMIENTO

La espuma de poliuretano se usa casi universalmente en todos los refrigeradores como aislante tanto en las paredes como puertas (algunos usan fibra de vidrio). Si se reemplaza la fibra de vidrio por espuma con el mismo espesor el flujo de calor a través de las paredes disminuye, así se ve que el aislamiento térmico con alta resistividad térmica tiene el potencial para ahorrar energía, sin pérdida del espacio útil si se incorpora dentro del refrigerador. [7]

3.1.1.1 PUERTAS DEL REFRIGERADOR

Las puertas en los refrigeradores contienen un sello, una junta pegada a la puerta y esta a su vez pegada a un imán el cual es el encargado de hacer la unión con la parte frontal del refrigerador. El trabajo de dichos componentes es el de mantener el aire fresco dentro del refrigerador y evitar el paso del aire exterior. Es un elemento importante ya que el incremento de utilización de energía por parte del compresor se puede ver ampliamente relacionado con la falla en el aislamiento en puertas del refrigerador.

3.1.2 COMPRESORES

El compresor en el sistema de refrigeración doméstica, industrial y comercial, es un dispositivo indispensable ya que por medio de él se aumenta la presión de evaporación, hasta la presión a la cual el gas puede ser condensado, además de que por la elevada presión a la cual expulsa el gas se puede lograr la buena circulación a través de la tubería del mismo logrando romper la resistencia de fricción dentro del sistema.

Existen dos principales grupos de compresores que pueden ser utilizados en la refrigeración los cuales son de desplazamiento positivo y del tipo llamado compresores dinámicos. En el caso de los compresores de desplazamiento positivo se tienen tres tipos los cuales son: reciprocantes, rotatorios y helicoidales. En tanto que de los compresores dinámicos solo se utiliza un tipo de estos en la refrigeración y es llamado compresor centrífugo.

Todos los compresores de desplazamiento positivo, para aumentar la presión del gas, admiten una determinada cantidad de éste en un volumen limitado, y enseguida reducen este volumen. La disminución del volumen del gas hace que la presión del mismo aumente (a menos que se enfríe). [6]

En el caso específico de los refrigeradores domésticos solo se utiliza un tipo de compresor el cual es del tipo recíprocante.

3.1.2.1 COMPRESORES RECÍPROCANTES

La manufactura de los compresores recíprocantes en la refrigeración es muy similar a los motores recíprocantes del tipo automotriz, ya que ambos se componen de pistones, cilindros, eje de transmisión y válvulas de descarga y succión. El compresor puede constituirse desde un pistón en adelante según la potencia requerida.

El funcionamiento básico del compresor consiste en que la biela que está unida al pistón es movida debido al campo magnético creado cuando el estator recibe la energía eléctrica y esta fuerza a su vez hace que el rotor gire creándose así un movimiento de vaivén como el que se lleva a cabo en un motor automotriz, entonces cuando el pistón se mueve hacia abajo en su carrera de succión, el volumen existente del cilindro da por resultado una disminución de presión existente en la línea de succión. La diferencia de presiones provoca que se abra la válvula de succión, y el refrigerante en forma de gas fluye al cilindro. La válvula de descarga se mantendrá cerrada, debido a que existe una mayor presión en la línea de descarga.

Cuando el pistón se encuentra en su carrera de compresión, la disminución del volumen da como resultado que aumente la presión del gas refrigerante, y a su vez mantiene la válvula de succión cerrada. Cerca de que termine la carrera del pistón se consigue una presión elevada en el gas refrigerante a tal grado que supera la presión de la línea de descarga, obligando a la válvula de descarga a abrirse, lo cual hace que el gas fluya a la línea de descarga y condensador.

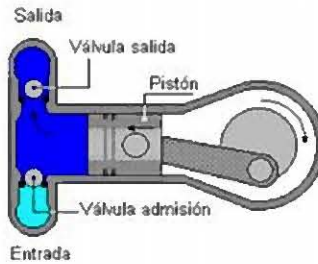


Figura 3.1. Partes mecánicas del compresor.

3.1.3 REFRIGERANTES

Elegir correctamente el refrigerante a utilizar en un sistema de refrigeración es un tema muy sensible porque se debe tomar en consideración que dicho refrigerante no debe ser tóxico además de no contribuir a la destrucción de la capa de ozono mejor conocido como efecto invernadero. A continuación se mencionan algunas de las cualidades más importantes que deben tomarse en cuenta en la realización del refrigerante:

- a) No debe degradar la atmósfera al escaparse. Debe ser inerte sobre la reducción de la capa de ozono y no incrementar el potencial efecto invernadero.
- b) Ser químicamente inerte, no inflamable, no explosivo, tanto en su estado puro como en las mezclas.
- c) Inerte a los materiales con los que se pone en contacto, tuberías, sellos, juntas, etc.
- d) No reaccionar desfavorablemente con los aceites lubricantes y presentar una satisfactoria solubilidad en él.
- e) No intoxicar el ambiente por escapes y ser nocivo a la salud de las personas.
- f) La relación $P1/P2$ debe cumplir con la eficiencia del consumo energético.
- g) Poseer un elevado coeficiente de transferencia de calor por conducción.
- h) Cumplirse que la relación presión - temperatura en el evaporador sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de humedad o aire al sistema.
- j) Que su punto de congelación sea menor que la menor temperatura de trabajo de sistema de refrigeración.

- k) Fácil detección en fugas.
- l) Bajo precio y fácil disponibilidad. [12]

En el año de 1987 se llevó a cabo el Protocolo de Montreal en el cual se menciona que los Halocarburos e Hidrocarburos deben ser sustituidos por refrigerantes que no contengan sustancias destructoras de la capa de ozono, aunque actualmente en muchos países no se respeta dicho acuerdo.

Pero también se debe de mencionar que se han elaborado refrigerantes que no cuentan con un agente destructor de la capa de ozono tales como el R134a y R152a, entre otros, con características muy similares a los antiguos refrigerantes.

Tabla 3.1 Comparación entre el R12 y el R134a. [7]

COMPRESOR	cm ³	EM 55NP	EM 55NP	EM 60HNP
Volumen Desplazado	cm ³	4.99	4.99	5.54

REFRIGERANTE		R 12	R 134a	R 134a
A - Presión Evaporación (-25°C)	bar	1.237	1.068	1.068
Presión Condensación (55°C)	bar	13.66	14.92	14.92
Entalpia (-25°C/32°C)	kJ/kg	375	431	431
Entalpia (55°C)	kJ/kg	254	279	279
Diferencia Entalpia	kJ/kg	121	152	152
B - Capacidad de Refrigeración (C1)	W	102	88	101
Flujo de Masa	kg/h	3.07	2.08	2.39
Tempratura Gas Salida Cilindro	°C	133	123	
C - Temp. Entrada Disp. Expansión	°C	55	55	55
Volumen Especifico	dm ³ /kg	0.841	0.927	0.927
Flujo Volumétrico	dm ³ /h	2.58	1.93	2.22
D - Entalpia Líquido (32°C)	kJ/kg	231	244	
Diferencia Entalpia	kJ/kg	144	187	
Capacidad de Refrigeración (C2)	W	121	108	
Relación Capacidad (C2/C1)		1.19	1.23	

3.2 REDISEÑO DEL EQUIPO

El rediseño del equipo se compone de varios aditamentos que se implementaran al refrigerador con el objetivo de mejorar su eficiencia y disminuir el consumo eléctrico del motor compresor, a continuación se describen dichos procesos:

3.2.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar, la cual llega en forma de radiación al planeta, es una fuente renovable de energía ya que puede utilizarse una y otra vez sin que esta se agote, cabe mencionarse que no se ha aprovechado al máximo debido al alto costo que debe invertirse para fabricar este tipo de energías renovables y que las ganancias se ven a largo plazo, aunado a los intereses de los empresarios dueños de grandes petroleras y sus derivados, que perderían mucho económicamente si se implementaran las energías alternativas al 100 por ciento en cada aspecto cotidiano de nuestras vidas, sin importarles asimismo la destrucción del planeta y del agotamiento de las energías no renovables.

“El Sol es la estrella más cercana a la tierra y su núcleo tiene en su interior una temperatura aproximada de 15 millones de grados Celsius, y sin embargo en la superficie alcanza una temperatura promedio de 5770 °C. El sol es alimentado en su interior por reacciones nucleares. De su superficie se emiten radiaciones electromagnéticas en todas las direcciones. Un rayo del Sol tarda aproximadamente ocho minutos en llegar a la Tierra. La radiación solar abarca desde el ultravioleta pasando por la luz visible hasta el infrarrojo, lo que se conoce como el espectro solar.

El espectro electromagnético emitido por el sol corresponde a lo que en la figura 4.1 se describe como la curva de radiación extraterrestre. Cuando la radiación solar pasa a través de la atmósfera sufre un cambio en su espectro electromagnético en función de la absorción parcial de radiación debido al oxígeno en el aire y partículas de agua en la atmósfera. Para efectos de simulación de la radiación solar se emplea habitualmente el espectro de radiación solar a nivel de mar. Para cuantificar la radiación solar que llega a la Tierra se utilizan las unidades W/m (watt por metro cuadrado) y para cuantificar la radiación solar total se utiliza el Wh/m (watt por metro por hora por metro cuadrado).” [14]

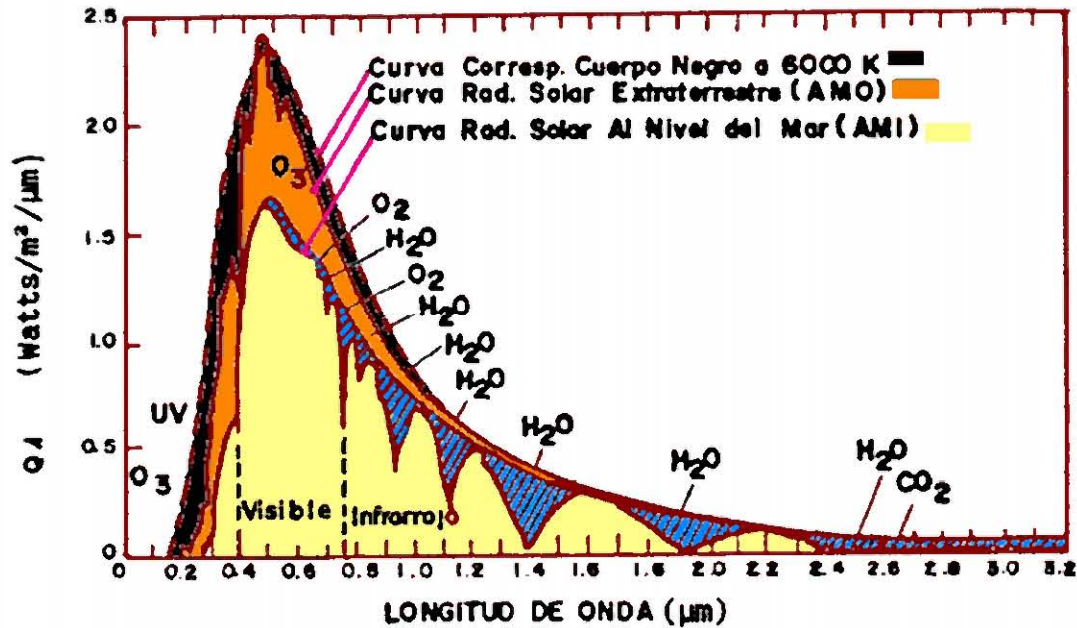


Figura 3.2. Espectro de radiación solar, muestra curva de radiación solar extraterrestre y la curva de radiación solar sobre el nivel del mar. [14]

3.2.2 COLECTOR SOLAR

Uno de los compromisos más importantes en el desarrollo de tecnologías de fuentes renovables de energía es precisamente la generación de energía limpia como alternativa viable para sustitución de las fuentes convencionales de energía; tanto en calor de procesos como en generación eléctrica. Cabe recordar que la mayoría de las fuentes convencionales utilizan combustibles fósiles que contribuyen con la emisión de gases de efecto invernadero. Actualmente, las fuentes renovables de energía (FRE) se destinan a la producción de energía eléctrica (por ejemplo por medio de foto celdas o aerogeneradores) o la generación de energía térmica o calor de proceso (por ejemplo, en el caso de colectores solares). Las tecnologías de FRE solares aún no presentan un costo competitivo ante las tecnologías convencionales. Sin embargo se espera que esto último llegue a su fin en pocos años debido a que el agotamiento de petróleo incrementa significativamente el costo de los hidrocarburos, lo que conducirá a la sustitución de energéticos convencionales por las FRE. [9]

Entonces un colector solar es aquel aparato encargado de captar la radiación emitida por el sol, así como utilizarla en forma de energía térmica.

Los colectores se pueden clasificar en dos principales grupos:

Colectores con concentración: Los cuales haciendo uso de los métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70°C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura. Se utilizan principalmente para la producción central de energía y calor a nivel industrial y para producir electricidad.

Colectores sin concentración: Los cuales no superan los 70°C, por lo que son utilizados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. Un ejemplo de su aplicación es la producción de agua caliente sanitaria. [10]



Figura 3.3. Colector Solar.

3.2.2.1 DISEÑO DEL COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO CPC

La familia de CPC puede alcanzar en la práctica los términos más altos de relación de concentración como lo permitan las leyes de la física. La mayoría de los otros concentradores decrecen un poco del límite ideal. Estos colectores CPC son, de curvatura simple o compuesta y están caracterizados por la más alta concentración permitida para un ángulo de aceptación dada. Puesto que la

curvatura compuesta en los CPC requiere casi seguimientos continuos en valores útiles de la relación de concentración, los dispositivos de curvatura simple requieren únicamente periódicos movimientos. [13]

Para determinar la cantidad de energía suficiente para que el colector parabólico compuesto llegue a su funcionamiento óptimo en el calentamiento del agua para elevar la temperatura del refrigerante a la entrada del compresor de 25°C a 35°C se llevaron a cabo los siguientes cálculos:

Capacidad de refrigeración del sistema Qp:

Para obtener la capacidad de refrigeración del sistema (Qp) en Btu/min se debe saber la potencia utilizada en el motor del refrigerador doméstico prototipo, el cual trabaja a las siguientes condiciones:

Potencia del motor (P) = Voltaje * Amperaje

$$P = 127\text{volts} * 9 \text{ A} = 1.143 \text{ kw}$$

Ahora que ya se tiene la potencia del motor - compresor prototipo, se saca el valor correspondiente de su capacidad de refrigeración con respecto a la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ Tonelada de refrigeración} = 200 \text{ Btu / min} = 3.516 \text{ KW}$$

$$100 \% \text{ ----- } 3.516 \text{ kw}$$

$$X \% \text{ ----- } 1.143 \text{ kw}$$

$$X = (1.143 * 100) / 3.516 = 32.5 \%$$

$$X = 0.325 \text{ toneladas de refrigeración}$$

$$Q_p = 0.325 \text{ toneladas} * \frac{200 \text{ Btu}'\text{min}}{1 \text{ tonelada}} = 65 \text{ Btu / min}$$

Efecto de refrigeración del sistema E.R.

Para obtener el valor de h_c y de h_a se leen las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12. [ANEXO I]

$$E.R. = h_c - h_a$$

$$E.R. = (79.184 - 27.769) \text{ Btu/lb} = 51.415 \text{ Btu/lb}$$

Flujo másico del refrigerante "m"

$$m = \frac{Q_p}{ER} = \frac{65 \text{ Btu}'\text{min}}{51.415 \text{ Btu}'\text{lb}} = 1.264 \text{ libras / minuto.}$$

Calor admitido en el refrigerante Q

Para encontrar dichos valores de H para 77 y 95°F respectivamente se utilizan las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12. [ANEXO I]

$$Q = m * \Delta H \Big|_{77}^{95}$$

$$Q_{77^\circ\text{F}} = (1.264 \text{ lb/min}) * (85.008 \text{ Btu/lb}) = 107.450112 \text{ Btu/min}$$

$$Q_{95^\circ\text{F}} = (1.264 \text{ lb/min}) * (86.606 \text{ Btu/lb}) = 109.469984 \text{ Btu/min}$$

$$Q = (109.469984 - 107.450112) \text{ Btu/min} = 2.019872 \text{ Btu/min} * \frac{1 \text{ Kw}}{56.87 \text{ Btu}'\text{min}}$$

$$Q = 0.035517355 \text{ Kw} * \frac{3600 \text{ KJ}'\text{hr}}{1 \text{ Kw}} = 127.8624 \text{ KJ/hr} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} = 0.03527 \text{ KJ/seg}$$

$$Q = 35.277 \text{ Joules / seg}$$

Entonces por medio del CPC se obtendrán 35.277 J/seg necesarios para aumentar la temperatura en el refrigerante y así reducir el consumo eléctrico del compresor.

Radiación global promedio por día $R_g = 350 \text{ Watt / m}^2$

$$R_G = \frac{\text{Calor admitido en el refrigerante } Q}{\text{Área de captación } A} \quad \text{Despejamos } A \text{ de la anterior expresión}$$

$$A = \frac{Q}{R_G} \quad A = \frac{35.277 \frac{\text{J}}{\text{Seg}}}{350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 0.10079 \quad 0.1 \text{m}^2$$

A continuación (figura 3.4) se muestran las ecuaciones que fueron utilizadas para obtener la parábola requerida para el caso particular CPC prototipo.

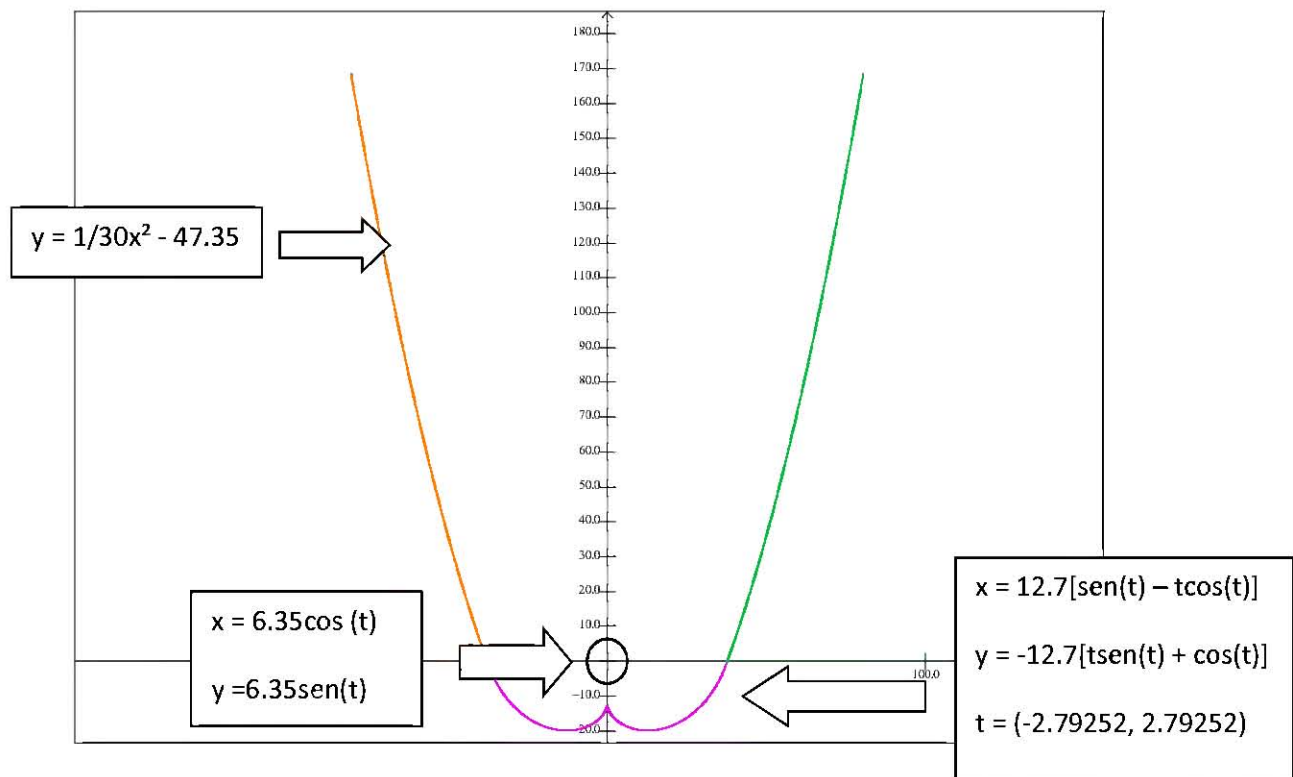


Figura 3.4. Parábola del CPC prototipo.

$$CR = \frac{\text{Área del absorbedor } (2\pi rL)}{\text{Área de captación } (L \cdot H)} = \frac{2\pi \left(\frac{0.0635}{100}\right) \cdot 0.5}{0.5 \cdot 0.2} = 0.199491133502952 \quad 0.2$$

Ya que se tenía la parábola del CPC prototipo, se llevó a cabo el corte de acrílico que sirve como base frontal y posterior del CPC.



Figura 3.5. Placa de acrílico.

Para obtener una mayor precisión en el corte de la parábola se utilizó un cortador de láser el cual está controlado por el programa de diseño Corel Draw 12, a continuación en la figura 3.6 se muestra el proceso para obtener el acabado deseado de parábola en ambas placas de acrílico del CPC prototipo.



Figura 3.6. Placa de acrílico en el cortador de láser.

Para la realización de la base se utilizó madera, además de que la parte superior se cubrió de vidrio para intensificar los rayos del sol sobre el CPC aumentando así su eficiencia. El tubo de cobre donde se concentra toda la energía térmica se pintó de negro mate aprovechando que este color absorbe una mayor cantidad de radiación electromagnética en forma de luz.

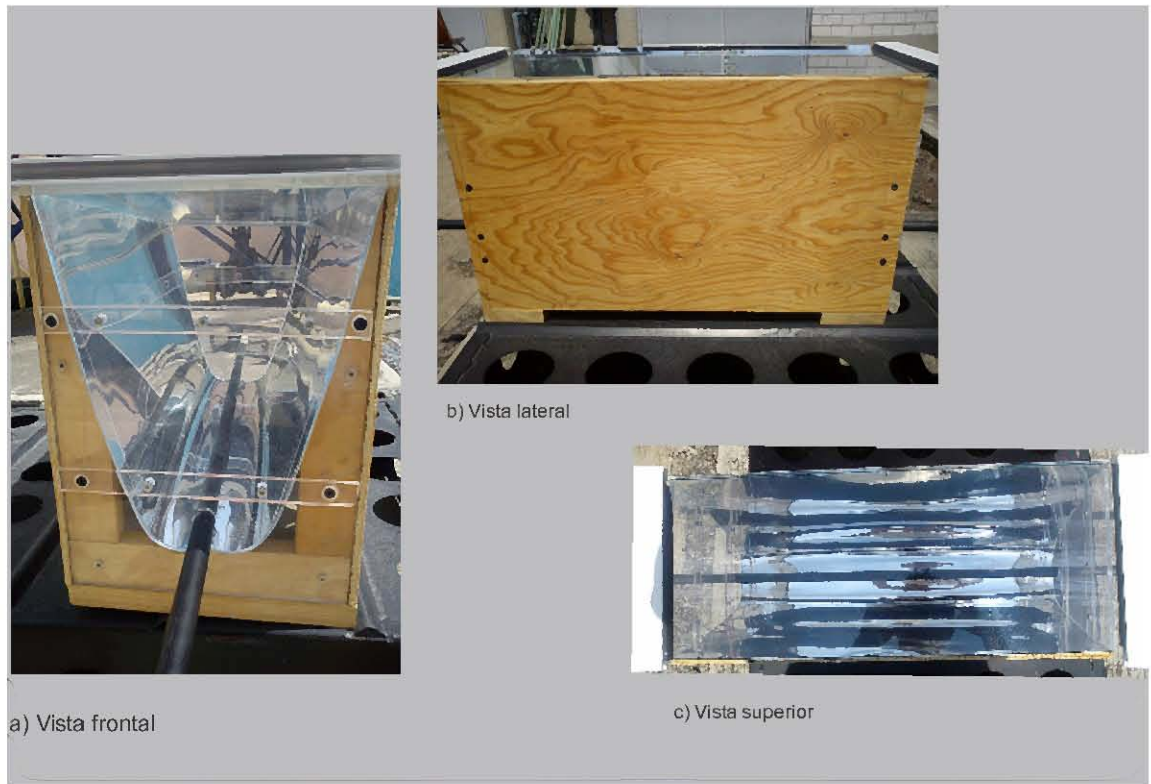


Figura 3.7. Prototipo del colector parabólico compuesto en sus distintas vistas.

Se realizó una prueba de concentración solar sin ninguna carga (agua, refrigerante, etc.) con el prototipo CPC con una temperatura al medio ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Servicio Meteorológico Nacional] midiendo con un pirómetro el incremento de temperatura en el tubo de cobre alcanzando un máximo de temperatura al interior de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a los extremos una mínima de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 3.8 Prueba número uno sin carga de ningún líquido.

Tabla 3.1. A continuación se muestran un par de pruebas con el prototipo del CPC expuesto al sol sin ninguna carga (agua, refrigerante, etc.) medido con un pirómetro.

PRUEBA N.1 SIN CARGA (25°)		PRUEBA N.2 SIN CARGA (21°C)	
Temperatura mínima alcanzada a los extremos del tubo	Temperatura máxima alcanzada al centro del tubo en el CPC	Temperatura mínima alcanzada a los extremos del tubo	Temperatura máxima alcanzada al centro del tubo en el CPC
60°C	90°C	50 °C	70°C

En un extremo del CPC se conectó una válvula check de paso cuya función es la de permitir el paso del agua en un sólo sentido para así evitar el retorno del líquido por gravedad y asegurar el circulamiento del agua caliente que se genere en el CPC por todo el sistema, del cual se explicará su realización y funcionamiento más adelante.



Figura 3.9 Válvula check de paso conectada al prototipo del CPC.

Para continuar con la revisión del funcionamiento del prototipo del CPC, se efectuó otra prueba pero ahora conectando una manguera metálica para gas flexible uniéndola a ambos extremos del CPC ya con la válvula check de paso conectada por la cual se suministró el agua (carga térmica).



Figura 3.10 Prototipo del CPC conectado de ambos extremos con una manguera metálica de gas flexible.

Tal prueba se realizó en un día nublado llegando a una temperatura máxima de 63 °C dentro de la tubería ya con carga térmica.



Figura 3.11. Prototipo del CPC con carga térmica.

3.2.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Un intercambiador de calor es un aparato que se utiliza para transferir calor de un fluido circulando sobre un lado de una pared a otro circulando al otro lado de esa pared. Es decir existe una cesión de energía mediante una combinación de los mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) cambiando la temperatura de ambos fluidos. [15]

Existen diversos tipos de intercambiadores de calor los cuales pueden ser clasificados por su tipo de construcción entre los cuales destacan, el de un tubo, de varios tubos, de placas, de calentamiento externo, entre otros.

3.2.3.1 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE UN TUBO

Este tipo de intercambiadores de calor como su nombre lo dice se componen de un tubo el cual cuenta con aletas delgadas de materiales de baja resistencia térmica para conseguir un mejor intercambio de calor.

Su utilización está limitada a enfriar o calentar un fluido además de que su área de transmisión de calor es muy pequeña.

Para la adaptación del intercambiador prototipo se optó el diseño del intercambiador de un tubo, el agua se calienta en el CPC prototipo la cual tiene la tarea de transmitir el calor adquirido a lo largo del serpentín y re circularlo con la finalidad que al hacer pasar el gas del refrigerador a través de la tubería restante (arreglo que se muestra en la figura 3.12) gane temperatura y presión y por consecuencia disminuya el trabajo del compresor.



Figura 3.12. Prototipo del intercambiador de calor de un tubo.

Se realizaron diversas pruebas conectando el intercambiador de calor con el CPC, haciendo circular por el sistema dado una carga que para este caso se utilizó agua, encontrando que en todos los casos se perdía bastante energía calorífica entre el CPC y el intercambiador de calor, por lo cual se descartó esta adaptación para el sistema de refrigeración con aplicación solar.



a)



b)

Figura 3.12. a) Posible conexión del refrigerador prototipo al intercambiador de calor junto con el CPC. b) Intercambiador de calor conectado al CPC.

3.2.4 ADAPTACIÓN DEL COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO A UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO

Como ya se mencionó anteriormente, la adaptación del intercambiador de calor sencillo no es viable para los fines deseados, por lo tanto, se opta por la opción de conectar directamente el CPC al refrigerador doméstico con el fin de evitar tantas pérdidas de energía como con el intercambiador de calor.

Para adaptar el refrigerador doméstico al CPC, se conecta a la salida del evaporador un tubo de cobre el cual va unido a un extremo del CPC (entrada), en la succión del compresor se conecta igualmente un tubo de cobre el cual va unido al otro extremo del CPC (salida), es decir se realiza una conexión en serie del CPC con la línea de baja presión del sistema de refrigeración, como resultado de dicha conexión al pasar el refrigerante por el CPC se elevará su presión y su temperatura de tal modo que el trabajo del compresor se reducirá en gran medida.

Figura 3.13. Conexión de un refrigerador doméstico convencional al CPC.



Después de realizar la adaptación, se carga refrigerante r12 a las condiciones normales a las que trabaja un refrigerador doméstico tipo frost (7/10 PSIG en el lado de baja presión), para posteriormente realizar pruebas ya con el CPC prototipo conectado, las cuales se comentan más adelante.

Tabla 3.2. Lecturas de pruebas sobre intensidad de corriente y temperatura del refrigerador doméstico prototipo antes y después de la implementación del colector parabólico compuesto, dichas pruebas se llevaron a cabo bajo una temperatura ambiente promedio de 25 °C.

	REFRIGERADOR DOMÉSTICO (Refrigerante r12)			REFRIGERADOR DOMÉSTICO CONECTADO AL CPC (Refrigerante r12)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Amperaje Trabajo (Amperes)	9	9	9	1.63	1.52	1.52
Temperatura de succión del compresor (°C)	25	25	25	30	39	39
Temperatura de descarga del compresor (°C)	45	45	45	39	48	49
Temperatura a la entrada del condensador (°C)	35	35	35	30	37	38
Temperatura a la salida del condensador (°C)	30	29	30	30	35	33
Temperatura a la entrada del evaporador (°C)	-8	-8	-7	-15	0	-25
Temperatura a la salida del evaporador (°C)	0	1	1	-4	6	-15
Temperatura a la entrada del CPC (°C)	-----	-----	-----	26	42	39
Temperatura a la salida del CPC (°C)	-----	-----	-----	31	46	45

4

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de diversas pruebas en el refrigerador doméstico prototipo antes y después de la adaptación del colector parabólico compuesto, caracterizando sus condiciones de ciclo de refrigeración en el diagrama de Mollier (presión – entalpia). Finalmente se hace un análisis de los resultados obtenidos.

4.1 ANÁLISIS COMPLETO DEL REFRIGERADOR DOMÉSTICO CON Y SIN ADAPTACIÓN DEL COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO

Se presenta una comparación del funcionamiento del sistema así como su rendimiento basado en determinados parámetros como son el efecto refrigerante, flujo másico, desplazamiento del motor- compresor, etc.

Se tomaron en cuenta dos lecturas de pruebas de la tabla 3.2 del capítulo anterior, una con el refrigerador sin mejoras (prueba 1) y otra del refrigerador con el CPC (prueba 2), considerando éstas como las mejores debido al efecto de refrigeración que tienen con respecto de las demás pruebas.

Datos obtenidos del refrigerador doméstico prototipo sin el colector parabólico compuesto a las condiciones establecidas en la tabla 3.2 (prueba 1).

POTENCIA DEL COMPRESOR

Potencia del motor (P) = Voltaje * Amperaje

$$P = 127\text{volts} * 9 \text{ Amperes} = 1.143 \text{ kw}$$

CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA Qp

1 Tonelada de refrigeración = 200 Btu / min = 3.516 KW

100 % ----- 3.516 kw

X % -----1.143 kw

$$X = (1.143 * 100) / 3.516 = 32.5 \%$$

X = 0.325 toneladas de refrigeración

$$Qp = 0.325 \text{ toneladas} * \frac{200 \text{ Btu}'\text{min}}{1 \text{ tonelada}} = 65 \text{ Btu} / \text{min}$$

EFECTO REFRIGERANTE

Para obtener el valor de h_c y de h_a se leen las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12 [ANEXO I] y guiándonos con la figura 4.1.

$$E.R. = h_c - h_a$$

Dónde: E.R. = efecto de refrigeración (Btu/lb)

$h_c - h_a$ = Diferencia de la entalpia en el evaporador (Btu/lb)

$$E.R. = (79.184 - 27.769) \text{ Btu/lb} = 51.415 \text{ Btu/lb}$$

FLUJO MÁSICO DEL REFRIGERANTE "m"

$$m = \frac{Qp}{ER}$$

Dónde: m = flujo másico del refrigerante (lb/min)

Q_p = capacidad de refrigeración del sistema (Btu/min)

E.R. = efecto de refrigeración del sistema (Btu/lb)

$$m = \frac{65 \text{ Btu/min}}{51.415 \text{ Btu/lb}} = 1.264 \text{ libras / minuto.}$$

CALOR DE RECHAZO (C.R) EN EL CONDENSADOR

Para obtener el valor de h_d y de h_a se leen las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12 [ANEXO I] y guiándonos con la figura 4.1.

$$Q_r = m * (h_d - h_a)$$

Dónde: Q_r = calor de rechazo en el condensador Btu/min

m = flujo másico del refrigerante (lb/min)

$h_d - h_a$ = diferencia de la entalpia en el condensador (Btu/lb)

$$Q_r = 1.264 \text{ libras / minuto} * (90.468 - 27.769) \text{ Btu/lb} = 62.699 \text{ Btu/min}$$

DESPLAZAMIENTO DEL COMPRESOR

$$V_D = \square * m$$

Dónde: V_D = Desplazamiento del compresor (ft³/lb)

\square = volumen específico del refrigerante en la succión del compresor (ft³/lb), en este caso es a 25 °C.

$$V_D = 0.43016 \text{ ft}^3/\text{lb} * 1.264 \text{ lb / min} = 0.5437 \text{ ft}^3/\text{min}$$

CALOR DE COMPRESIÓN

Es el aumento de la entalpia del refrigerante, como resultado de compresión.

$$C.C. = h_d - h_c$$

Dónde: C.C. = Calor de compresión o trabajo de compresión (Btu/lb)

$h_d - h_c$ = Diferencia de la entalpia del refrigerante en el compresor (Btu/lb)

$$C.C. = 90.468 - 80.624 \text{ (Btu/lb)} = 9.844 \text{ Btu/lb}$$

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO

Para tener una medida estandarizada a cuanto efectividad opera un sistema de refrigeración, es conveniente expresarlo como el coeficiente de rendimiento (CDR), sus unidades deben ser las mismas.

$$CDR = \frac{\text{Capacidad de refrigeración E.R.}}{\text{Calor de compresión C.C}}$$

$$CDR = \frac{51.415 \text{ Btu/lb}}{9.844 \text{ Btu/lb}} = 5.22$$

RELACIÓN DE COMPRESIÓN

Se encuentra dividiendo la presión absoluta de condensación entre la presión absoluta de evaporación del sistema de refrigeración.

$$R_c = \frac{\text{Pabs de condensación}}{\text{Pabs de evaporación}}$$

$$R_c = \frac{108.04 \text{ psia}}{34.1144 \text{ psia}} = 3.16$$

Datos obtenidos del refrigerador doméstico prototipo CON el colector parabólico compuesto a las condiciones establecidas en la tabla 3.2 (prueba 2).

POTENCIA DEL COMPRESOR

Potencia del motor (P) = Voltaje * Amperaje

$$P = 127 \text{ volts} * 1.52 \text{ A} = 0.19304 \text{ Kw}$$

CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA Q_p

$$1 \text{ Tonelada de refrigeración} = 20 \text{ Btu / min} = 3.516 \text{ KW}$$

$$100 \% \text{ ----- } 3.516 \text{ kw}$$

$$X \% \text{ ----- } 0.19304 \text{ kw}$$

$$X = (0.19304 * 100) / 3.516 = 5.49 \%$$

$$X = 0.0549 \text{ toneladas de refrigeración}$$

$$Q_p = 0.0549 \text{ toneladas} * \frac{200 \text{ Btu}'\text{min}}{1 \text{ tonelada}} = 10.98 \text{ Btu / min}$$

EFECTO REFRIGERANTE

Para obtener el valor de h_c y de h_a se leen las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12 [ANEXO I] y guiándonos con la figura 4.1.

$$E.R. = h_c - h_a$$

Dónde: E.R. = efecto de refrigeración (Btu/lb)

$h_c - h_a$ = Diferencia de la entalpia en el evaporador (Btu/lb)

$$E.R. = (81.7407 - 29.0519) \text{ Btu/lb} = 52.6888 \text{ Btu/lb}$$

FLUJO MÁSICO DEL REFRIGERANTE

$$m = \frac{Q_p}{E.R.}$$

Dónde: m = flujo másico del refrigerante (lb/min)

Q_p = capacidad de refrigeración del sistema (Btu/min)

E.R. = efecto de refrigeración del sistema (Btu/lb)

$$m = \frac{Q_p}{ER} = \frac{10.98 \text{ Btu}'/\text{min}}{52.6888 \text{ Btu}'/\text{lb}} = 0.2083 \text{ libras / minuto.}$$

CALOR DE RECHAZO (C.r.) EN EL CONDENSADOR

Para obtener el valor de h_d y de h_a se leen las tablas de las propiedades saturadas correspondientes al R-12 [ANEXO I] y guiándonos con la figura 4.1.

$$Q_r = m * (h_d - h_a)$$

Dónde: Q_r = calor de rechazo en el condensador Btu/min

m = flujo másico del refrigerante (lb/min)

$h_d - h_a$ = diferencia de entalpia en el condensador (Btu/lb)

$$Q_r = 0.2083 \text{ libras / minuto} * (89.6331 - 29.0519) \text{ Btu/lb} = 12.62 \text{ Btu/min}$$

DESPLAZAMIENTO DEL COMPRESOR

$$V_D = \square * m$$

Dónde: V_D = Desplazamiento del compresor (ft³/lb)

\square = volumen específico del refrigerante en la solución del compresor (ft³/lb), en este caso a 39 °C.

$$V_D = 0.2985 \text{ ft}^3/\text{lb} * 0.2083 \text{ lb / min} = 0.0621 \text{ ft}^3/\text{min}$$

CALOR DE COMPRESIÓN

Es el aumento de la entalpia del refrigerante, como resultado de compresión.

$$C.C. = h_d - h_c$$

Dónde: C.C. = Calor de compresión o trabajo de compresión (Btu/lb)

$h_d - h_c$ = Diferencia de la entalpia del refrigerante en el compresor (Btu/lb)

$$C.C. = 89.6331 - 81.7407 \text{ (Btu/lb)} = 7.8924 \text{ Btu/lb}$$

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO

Para tener una medida estandarizada a cuanto efectividad opera un sistema de refrigeración, es conveniente expresarlo como el coeficiente de rendimiento (CDR), sus unidades deben ser las mismas.

$$CDR = \frac{\text{Capacidad de refrigeración E.R.}}{\text{Calor de compresión C.C}}$$

$$CDR = \frac{52.6888 \text{ Btu/lb}}{7.8924 \text{ Btu/lb}} = 6.67$$

RELACIÓN DE COMPRESIÓN

Se encuentra dividiendo la presión absoluta de condensación entre la presión absoluta de evaporación del sistema de refrigeración.

$$R_c = \frac{\text{Pabs de condensación}}{\text{Pabs de evaporación}}$$

$$R_c = \frac{116.821 \text{ psia}}{44.7355 \text{ psia}} = 2.61$$



Figura 4.1 Ciclo de refrigeración por compresión en el diagrama presión-entalpía.

4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se llevara a cabo una comparación entre el sistema de refrigeración prototipo antes y después de la adaptación solar llevada a cabo en el laboratorio de energética de la FES Aragón, en parámetros que nos permiten conocer el ahorro energético y eficiencia de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Se tomaron en cuenta dos lecturas de pruebas de la tabla 3.2 del capítulo anterior, una con el refrigerador sin mejoras (prueba 1) y otra del refrigerador con el CPC (prueba 2), considerando éstas como las mejores debido al efecto de refrigeración que tienen con respecto de las demás pruebas.

Tabla 4.1. Propiedades calculadas para el ciclo de refrigeración por compresión sin mejoras, a las condiciones ya mencionadas anteriormente de la tabla 3.2.

ESTADO	PRESIÓN (PSIA)	VOLUMEN (Ft/lb³)	TEMPERATURA (°C)	ENERGÍA INTERNA(Btu/lb)	ENTALPIA (Btu/lb)	ENTROPIA (Btu/lb)	CALIDAD (%)
1	108.04	0.012396	30	27.5281	27.7759	0.10363	-----
2	34.1144	0.27391	-8	26.0467	27.7759	0.10771	0.23101
3	44.76	0.88718	0	73.2756	80.624	0.29961	-----
4	110	0.40024	45	82.321	90.468	0.30958	-----

Tabla 4.2. Propiedades calculadas para el ciclo de refrigeración por compresión con la adaptación del CPC, a las condiciones ya mencionadas anteriormente de la tabla 3.2.

ESTADO	PRESIÓN (PSIA)	VOLUMEN (Ft ³ /lb ³)	TEMPERATURA (°C)	ENERGÍA INTERNA(Btu/lb)	ENTALPIA (Btu/lb)	ENTROPIA (Btu/lb)	CALIDAD (%)
1	116.821	0.012507	33	28.7815	29.0519	0.1078	-----
2	44.7355	0.19381	0	27.4475	29.0519	0.11082	0.2081
3	53.8894	0.74375	6	74.3239	81.7407	0.29873	-----
4	154	0.27093	49	81.9122	89.6331	0.29884	-----



Figura 4.2 Estados del refrigerante mostrados en el diagrama presión-entalpía.

Tabla 4.3. Comparación del refrigerador doméstico prototipo antes y después de la adaptación del CPC entre los principales parámetros que nos permiten conocer el ahorro energético y eficiencia dentro de un refrigerador por compresión de vapor.

FACTORES DE FUNCIONAMIENTO	REFRIGERADOR DOMÉSTICO	REFRIGERADOR DOMÉSTICO CONECTADO AL CPC
E.R. (Btu/lb)	51.415	52.6888
C.C. (Btu/lb)	9.844	7.8924
CDR (Btu/lb)	5.22	6.67
VD (ft ³ /min)	0.5437	0.0621
Relación de compresión	3.16	2.61

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ahora se mencionan algunas de las ventajas encontradas en el refrigerador doméstico prototipo conectado al CPC contra el refrigerador doméstico sin adaptación.

1. Aumenta el efecto de refrigeración, se realiza una mayor refrigeración útil en el evaporador.
2. Disminuye el calor de compresión, debido a que es menor el trabajo requerido por el compresor.
3. Disminuye el desplazamiento requerido por el compresor, gracias a la disminución en el flujo másico refrigerante, así como también el volumen específico.
4. Aumenta el coeficiente de rendimiento, por el aumento del efecto de refrigeración y la disminución en el calor de compresión.
5. Disminuye la relación de compresión, debido al aumento tanto de la presión absoluta de condensación como de la presión absoluta de evaporación.

4.4 CONCLUSIONES

1. Se adaptó un colector parabólico compuesto a un refrigerador doméstico convencional, aprovechando la excelente captación de radiación solar de este colector obteniendo resultados positivos.
2. Se realizaron pruebas de funcionamiento en el ciclo de refrigeración con y sin adaptación del CPC, comparando parámetros que nos permiten conocer la eficiencia y ahorro energético del ciclo, observándose un mejor desempeño con el refrigerador adaptado al CPC.
3. Debido al aumento en la temperatura-presión de la succión y descarga del compresor en el prototipo conectado al CPC, se sacrifica el tiempo de vida útil del compresor debido a un mayor sometimiento de calor dentro del mismo considerando los parámetros de funcionamiento del fabricante, se sugiere el rediseño del compresor para soportar los cambios de presión-temperatura del prototipo conectado al CPC.
4. En la actualidad la refrigeración doméstica, industrial y comercial, son imprescindibles en la vida cotidiana de la humanidad a nivel mundial, lo cual es preocupante debido al alto consumo energético además de la contaminación de los refrigerantes utilizados, por lo cual es necesaria la búsqueda de nuevas formas de refrigeración como lo es la refrigeración solar, refrigeración por absorción y adsorción, para reducir el impacto de los factores negativos de esta herramienta necesaria del hombre que es la refrigeración.

Temperatura °F	Presión		Volumen pe ³ / lb	Densidad lb/ pe ³	Entalpia ** Btu/lb		Entropia **, Btu/(lb) (°R)		Temperatura °F	Presión		Volumen pe ³ / lb	Densidad lb/ pe ³	Entalpia **, Btu/lb		Entropia **, Btu/(lb) (°R)	
	psia	psig	Vapor.	Líquido.	Líquido.	Vapor.	Líquido.	Vapor.		psia	psig	Vapor.	Líquido.	Líquido.	Vapor.	Líquido.	Vapor.
			v _g	v _f	h _f	h _g	s _f	s _g				v _g	v _f	h _f	h _g	s _f	s _g
15	26.483	11.787	1.4580	90.135	9.6005	77.805	.021647	.16842	106	143.18	128.48	28303	77.946	32.553	87.523	0.06761	.16293
6	27.036	12.340	1.4299	90.030	9.8169	77.911	.022110	.16833	108	147.11	132.41	27524	77.662	33.041	87.684	0.06606	.16286
8	28.167	13.471	1.3758	89.818	10.250	78.123	0.023033	0.16815	110	151.11	136.41	0.26789	77.376	33.531	87.844	0.067451	0.16279
10	29.335	14.639	1.3241	89.606	10.684	78.335	.023954	.16798	112	155.19	140.49	26037	77.087	34.023	88.001	0.068296	.16271
12	30.539	15.843	1.2748	89.392	11.118	78.546	.024871	.16782	114	159.36	144.66	25328	76.795	34.517	88.156	0.069141	.16264
14	31.780	17.084	1.2278	89.178	11.554	78.757	.025786	.16765	116	163.61	148.91	24641	76.501	35.014	88.310	0.069987	.16256
16	33.060	18.364	1.1828	88.962	11.989	78.966	.026699	.16750	118	167.94	153.24	23974	76.205	35.512	88.461	0.070833	.16249
18	34.378	19.682	1.1399	88.746	12.426	79.176	0.027608	0.16734	120	172.35	157.65	0.23326	75.906	36.013	88.610	0.071680	0.16241
20	35.736	21.040	1.0988	88.529	12.863	79.385	.028515	.16719	122	176.85	162.15	22698	75.604	36.516	88.757	0.072528	.16234
22	37.135	22.439	1.0596	88.310	13.300	79.593	.029420	.16704	124	181.43	166.73	22089	75.299	37.021	88.902	0.073376	.16226
24	38.574	23.878	1.0220	88.091	13.739	79.800	.030322	.16690	126	186.10	171.40	21497	74.991	37.529	89.044	0.074225	.16218
26	40.056	25.360	0.98612	87.870	14.178	80.007	.031221	.16676	128	190.86	176.16	20922	74.680	38.040	89.184	0.075075	.16210
28	41.580	26.884	0.95173	87.649	14.618	80.214	.032118	0.16662	130	195.71	181.01	0.20364	74.367	38.553	89.321	0.075927	0.16202
30	43.148	28.452	0.91880	87.426	15.058	80.419	.033013	.16648	132	200.64	185.94	19821	74.050	39.069	89.456	0.076779	.16194
31	43.948	29.252	0.90286	87.314	15.279	80.422	.033460	.16642	134	205.67	190.97	19294	73.729	39.588	89.588	0.077633	.16185
32	44.760	30.064	0.88725	87.202	15.500	80.624	.033905	.16635	136	210.79	196.09	18782	73.406	40.110	89.718	0.078489	.16177
33	45.583	30.887	0.87197	87.090	15.720	80.726	.034351	.16629	138	216.01	201.31	18283	73.079	40.634	89.844	0.079346	.16168
34	46.417	31.721	0.85702	86.977	15.942	80.828	0.034796	0.16622	140	221.32	206.62	0.17799	72.748	41.162	89.967	0.080205	0.16159
35	47.263	32.567	0.84237	86.865	16.163	80.930	.035240	.16616	145	235.00	220.30	16644	71.904	42.495	90.261	0.082361	.16135
36	48.120	33.424	0.82803	86.751	16.384	81.031	.035683	.16610	150	249.31	234.61	15564	71.035	43.850	90.534	0.084531	.16110
37	48.989	34.293	0.81399	86.638	16.606	81.133	.036126	.16604	155	264.24	249.54	14552	70.137	45.229	90.783	0.086719	.16083
38	49.870	35.174	0.80023	86.524	16.828	81.234	.036569	.16598	160	279.82	265.12	13604	69.209	46.633	91.006	0.088927	.16053
39	50.763	36.067	0.78676	86.410	17.050	81.335	0.037011	0.16592	165	296.07	281.37	0.12712	68.245	48.065	91.199	0.091159	0.16021
40	51.667	36.971	0.77357	86.296	17.273	81.436	.037453	.16586	170	313.00	298.30	11873	67.244	49.529	91.359	0.093418	.15985
41	52.588	37.888	0.76064	86.181	17.495	81.537	.037893	.16580	175	330.64	315.94	11080	66.198	51.026	91.481	0.095709	.15945
42	53.513	38.817	0.74798	86.066	17.718	81.637	.038334	.16574	180	349.00	334.30	10330	65.102	52.562	91.561	0.098039	.15900
43	54.454	39.758	0.73557	85.951	17.941	81.737	.038774	.16568	185	368.11	353.41	0.96190	63.949	54.141	91.590	0.10041	.15850
44	55.407	40.711	0.72341	85.836	18.164	81.837	0.039213	0.16562	190	387.98	373.28	0.089418	62.728	55.769	91.561	0.10284	0.15793
45	56.373	41.677	0.71149	85.720	18.387	81.937	.039652	.16557	195	408.63	393.93	0.082946	61.426	57.453	91.462	0.10532	.15727
46	57.352	42.656	0.69982	85.604	18.611	82.037	.040091	.16551	200	430.09	415.39	0.076728	60.026	59.203	91.278	0.10789	.15651
47	58.343	43.647	0.68837	85.487	18.835	82.136	.040529	.16546	205	452.38	437.68	0.070714	58.502	61.032	90.987	0.11055	.15561
48	59.347	44.651	0.67715	85.371	19.059	82.236	.040966	.16540	210	475.52	460.82	0.064843	56.816	62.959	90.558	0.11332	.15453
49	60.364	45.668	0.66616	85.254	19.283	82.334	0.041403	0.16535	215	499.53	484.83	0.059030	54.908	65.014	89.939	0.11626	0.15320
50	61.394	46.698	0.65537	85.136	19.507	82.433	.041839	.16530	220	524.43	509.73	0.053140	52.670	67.246	89.036	0.11943	.15149
51	62.437	47.741	0.64480	85.018	19.732	82.532	.042276	.16524	225	550.26	535.56	0.046900	49.868	69.763	87.651	0.12298	.14911
52	63.494	48.798	0.63444	84.900	19.957	82.630	.042711	.16519	230	577.03	562.33	0.039435	45.758	72.893	85.122	0.12739	.14512
53	64.563	49.867	0.62428	84.782	20.182	82.728	.043146	.16514	233.6	596.9	582.2	0.02870	34.84	78.86	78.86	0.1359	.1359
54	65.646	50.950	0.61431	84.663	20.408	82.826	.043581	.16509	(Critical)								

REFERENCIAS

1. <http://definicion.de/refrigeracion/>
2. "Manual Práctico de Taller de Refrigeración Doméstica". Fredy Guillermo Eraso, 1997.
3. http://bibliotecnica.upc.es/bib240/serveis/fhct/expo_et/refrig.pdf
4. "Análisis de cálculo, diseño y mantenimiento de una cámara de refrigeración utilizando en productos perecederos a 4°C". Gleen Hernández Navarrete y Eduardo Israel Rojas Carmona, 2009.
5. "Refrigeración y aire acondicionado". Traducción de Camilo Botero G, 1986.
6. "Principios y sistemas de refrigeración". Edward G. Pinta, 1991.
7. "Estudio sobre la evolución tecnológica del consumo de energía en refrigeradores domésticos". José Antonio Rodríguez Molina, 2006.
8. <http://2jjrefrigeracion.blogspot.mx/2010/12/revision-del-timer-o-reloj-en-un.html>. Jaime de Jesús Rincón Quintero.
9. "Colector de Canal Parabólico para la Generación Directa de Vapor para Calor de Proceso". M. en I. Luis Guillermo Vidriales Escobar.
10. <http://oficioapuntes.blogspot.mx/2010/07/que-es-un-colector-solar.html>
11. Manual para el desarrollo del laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Walter Guillermo Castellanos Rojas, 2007.

12. © Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.com
13. "Diseño y construcción de un colector parabólico compuesto de tubos evacuados para aplicaciones de temperaturas intermedias". Raúl Paredes Miranda, 1988.
14. "Diseño de refrigerador solar por adsorción para clima cálido húmedo". M. en I. Jessica Guadalupe Trujeque Bolio, 2010.
15. "Diseño de observadores no lineales para procesos de intercambio de calor". M. en C. en I.E. Mauricio Ángeles Martínez.