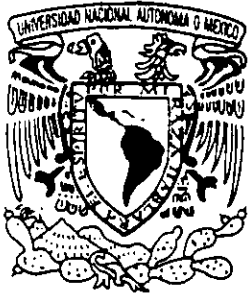


84



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCION PARA REFRIGERADORES DOMESTICOS ENFOCADO AL AHORRO DE ENERGIA EN MEXICO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(A R E A T E R M I C A)

PRESENTA:

ALEJANDRO ROMO ROBLES

ASESOR:

ING. JOSE MARIANO SANTANA COLIN

299582



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

**SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN
PARA REFRIGERADORES DOMÉSTICOS
ENFOCADO AL AHORRO DE ENERGÍA EN
MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA TÉRMICA)**

P R E S E N T A:

ALEJANDRO ROMO ROBLES

ASESOR:

ING. JOSÉ MARIANO SANTANA COLÍN

SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN
PARA REFRIGERADORES DOMÉSTICOS



DEDICATORIA

III

A Dios

A mis padres

A mis hermanos

A mis buenos amigos

De modo especial a mi madre:
MARÍA LEOVIGILDA ROBLES BARBOSA
en agradecimiento a su apoyo, comprensión y consejos,
también a mi maestro de mecánica, Ing. Oscar Rugama Moysén.

AGRADECIMIENTO

A la UNAM Campus Aragón, en particular a mi asesor:
Ing. José Mariano Santana Colín.

A todo el personal del área de investigación y laboratorios de la empresa
General Electric Appliance en Louisville, Kentucky, por su hospitalidad y apoyo.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Nombre de la Tesis:

“Sistema de deshielo por conducción para refrigeradores domésticos enfocado al ahorro de energía en México”

Actualmente el ahorro de energía es fundamental para garantizar el desarrollo y abasto a la creciente industria y población de México.

El refrigerador doméstico es un artefacto indispensable y que existe en la mayoría de los hogares de nuestro país, su consumo de energía unitario no es representativo, pero, si se suman millones de ellos, la cifra se torna considerablemente alta. El sistema de refrigeración con el que son diseñados los refrigeradores en México, no es el más eficiente, debido al inestable suministro de energía, en el estado de Nuevo León por ejemplo, existen zonas urbanas como Santa Catarina de los Garza que el suministro de voltaje fluctúa entre 90 y 140 voltios. En la península de Yucatán el voltaje se mantiene entre 127 y 150 voltios, y en Ciudad Nezahualcoyotl generalmente el voltaje oscila entre 80 a 110 voltios.

Para un ingeniero diseñador de compresores es un reto generar un compresor eficiente que trabaje sin dañarse dentro de este rango de voltaje. Es por esta razón que no nos enfocamos en la unidad refrigerante del refrigerador para el ahorro de energía, pero sí en el sistema de deshielo, ya que éste no se daña bajo fluctuaciones de voltaje tan amplias.

Lo más que le puede pasar a un sistema de deshielo alimentado con bajo voltaje, es que no logre fundir la escarcha acumulada en el evaporador durante el ciclo de trabajo, y esta escarcha se acumule para el siguiente ciclo y así sucesivamente, hasta que origine una llamada de servicio por parte del consumidor hacia el fabricante. Diseñar un sistema de deshielo eficiente es muy significativo en forma unitaria y mucho más aún si se multiplica por los millones de aparatos existentes en México, pasar de una resistencia de 300 W a una de 42 W para realizar el mismo trabajo, es un ahorro significativo y necesario para el desarrollo de la generación de energía y su correcto empleo.

El sistema de deshielo por conducción propone reubicar y reducir la potencia de la resistencia de deshielo, y como su nombre lo indica, utiliza únicamente la conducción para realizar y completar exitosamente el deshielo de un evaporador de refrigerador doméstico. Con una resistencia de 25 W se logra el deshielo completo del evaporador en el mismo tiempo que lo hace una resistencia cal-rod de 300 W por radiación, que es la que se usa en los refrigeradores domésticos hoy en día. Para tener un valor comparativo de la magnitud del ahorro de energía que se tendría con

el sistema de deshielo por conducción, éste sería de 1.4 veces la energía que se ahorra por el horario de verano en México.

OBJETIVOS GENERALES:

- Reducir el consumo de energía en el proceso de deshielo de los refrigeradores domésticos en México.
- Reducir el índice de llamadas de servicio por causa de fallas en el sistema de deshielo de los refrigeradores domésticos.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Conocer los componentes principales de un refrigerador doméstico así como su funcionamiento.
- Conocer el funcionamiento de los sistemas de deshielo por conducción y convencional en un refrigerador doméstico.
- Determinar el ahorro en el consumo de energía de los sistemas de deshielo por conducción y convencional.
- Conservar la vida útil del compresor del refrigerador doméstico beneficiando al consumidor.
- Reducción del ruido originado por el sistema de deshielo convencional.

ÍNDICE

ÍNDICE	VII
SIMBOLOGÍA	X
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.	3
1.1. Refrigeración.	4
1.2. Presión.	5
1.3. Calor y trabajo.	7
1.4. Calor específico y entalpia.	17
1.5. Entropía.	19
1.6. Ciclo inverso de Carnot.	21
1.7. Ciclo de refrigeración básica.	27

CAPÍTULO 2

2. COMPONENTES DEL REFRIGERADOR DOMÉSTICO.	32
2.1. Evolución del refrigerador doméstico.	33
2.2. Componentes del refrigerador doméstico.	37
2.2.1. El compresor	39
2.2.2. El evaporador.	43
2.2.3. El condensador.	45
2.2.4. Filtro deshidratador.	46
2.2.5. Intercambiador de calor.	47
2.3. Funcionamiento de un refrigerador doméstico.	48

CAPÍTULO 3

3. SISTEMA TEMPORIZADO PARA EL DESHIELO CONVENCIONAL Y POR CONDUCCIÓN DEL EVAPORADOR.	51
3.1. Características de la resistencia eléctrica tipo cal-rod del sistema de deshielo convencional.	52
3.2. Resistencia rígida por radiación.	52
3.3. Localización de la resistencia respecto al evaporador.	53
3.4. Sistema de drenaje y evaporación del condensado.	54
3.5. Características de la resistencia flexible.	58
3.6. Resistencia flexible por conducción.	58
3.7. Localización de la resistencia flexible respecto al evaporador.	59
3.8. Perfil del tubo del evaporador.	58

CAPÍTULO 4

4. CONSUMO DE ENERGÍA REQUERIDA EN LOS PROCESOS DE DESHIELO CONVENCIONAL Y CONDUCTIVO EN EL EVAPORADOR DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.	61
4.1. Energía requerida para el deshielo del evaporador.	62
4.2. Consumo de energía del sistema de convencional.	62
4.3. Consumo de energía del sistema de deshielo por conducción.	63
4.4. Comparativo del costo y consumo de la energía entre los sistemas de deshielo por conducción y convencional.	66
4.5. Costo de los sistemas de deshielo por conducción y convencional.	69
4.6. Tabla comparativa de ventajas y desventajas entre ambos sistemas.	71

CONCLUSIONES	75
---------------------	-----------

ANEXO	78
Tabla 1, presión-entalpía	79
Tabla 2, calor específico	81
Tabla 3, relaciones p-v-T	82
Niveles de ruido	83

	IX
Fotografías	84
Prototipo del sistema de deshielo por conducción	91
Procedimiento para realizar la prueba de consumo de energía	92
Observaciones	96
Diagrama p-h del ciclo de refrigeración	98
Diagrama del sistema de refrigeración	99
Diagrama p-h del freón 134a	100
Diagrama eléctrico del prototipo	101
Gráficas del INEGI	102
BIBLIOGRAFÍA	106

SIMBOLOGÍA

<	menor que
>	mayor que
Área.	A
Arriba	Arriba
Atmósfera	Atm
Calor a baja temperatura	Q_L
Calor de compresión	Q_{cm}
Calor específico	c
Calor	q
Caloría.	cal
Centímetro.	cm
Coefficiente de operación funcionamiento	C.O.F.
Componente de fuerza normal.	δF_n
Constante universal de los gases	R
Decibelios	db
Decímetros	dcm
Densidad	ρ
Der	Derecha
Diferencial de x	dx
DINA	dina
Eficiencia	η
Energía interna	u
Entalpía	h
Entropía	s
Flujo másico	m_o
fuerza.	f
Giga	G
Grados centígrados.	$^{\circ}C$
Grados Fahrenheit.	$^{\circ}F$
Grados Kelvin	$^{\circ}K$
Grados Rankine	$^{\circ}R$
Gramo.	g
Gravedad	g_c
Hora.	Hr
Incremento	Δ
Integración	\int
Intensidad	I
Izq	Izquierda
Joule.	j
Kilo.	K
Libra sobre pulgada cuadrada absoluta	psia

Libra sobre pulgada cuadrada	psi
Libra.	lb
Logaritmo natural	ln
Longitud	L
Mercurio	Hg
Metro.	m
Micra	micra
Milímetro	mm
Minuto.	min
Número molar	mol
Ohm	Ω
Pie	pie
Potencia del compresor	Pot
Potencia en caballos de fuerza	HP
Presión.	P
Pulgada	pulg
Resistencia	R_e
Revolución	rev
Sistema.	Sist.
Temperatura absoluta	T
Temperatura de condensación	tc
Temperatura de evaporación	te
Temperatura	t
Tonelada de refrigeración.	T. R.
Trabajo mecánico	W
Unidad Térmica Británica.	Btu
Voltaje	V
Volumen	v
Watt.	w

INTRODUCCIÓN

El ahorro de energía y el buen empleo de la misma, ya no es una opción sino una obligación para todos los que habitamos este planeta. Las reservas de los recursos naturales que se emplean para generar energía son cada vez menores, sin embargo, la demanda de energía es cada vez mayor, ya que a medida que los parques industriales crecen y el uso de artículos eléctricos en restaurantes, hoteles, tiendas y hogares se hace más común, la demanda de energía eléctrica se incrementa, por lo que el suministro y distribución de la energía se torna crítico.

Un artículo electrodoméstico que se hace indispensable en cualquier hogar del mundo es el **refrigerador**, existen de diferentes características, según la función que vayan a desempeñar, pueden ser pequeños de dos puertas de aproximadamente 9 pies cúbicos de capacidad hasta de 6 puertas y 40 pies cúbicos de capacidad de almacenaje, pero todos tienen algo en común, el **sistema de deshielo**.

Desde que se produjo comercialmente el primer refrigerador doméstico en 1927 hasta la fecha, se ha modernizado el gabinete y el sistema de refrigeración se ha hecho más eficiente, sin embargo, desde 1937, año en que se implementa el sistema de deshielo automático en los refrigeradores domésticos y hasta la fecha, sigue siendo el mismo.

El sistema de refrigeración y su gabinete ha sido optimizado por firmas como Whirlpool, Samsung y (LG) Gold Star, sin embargo, esa tecnología no se puede aplicar en México debido al rango tan amplio de fluctuación del voltaje, los compresores de alta eficiencia para sistemas de refrigeración son diseñados bajo condiciones de voltaje constante, la eficiencia de un compresor es inversamente proporcional al rango del voltaje de operación, es decir, a medida que se amplía el rango del voltaje de operación la eficiencia disminuye. En Estados Unidos por ejemplo, el suministro de energía eléctrica es de 110 Voltios \pm 2%, mientras que en México el rango de fluctuación del voltaje es de 80 a 150 Voltios, rango con el cual ningún compresor de alta eficiencia podría operar. La eficiencia de la relación de energía (EER) de un compresor de refrigerador doméstico en México es de 2.5, mientras que en Estados Unidos es de 7, la eficiencia de la relación de energía significa que por cada unidad de energía eléctrica que el compresor consume, se transforma en 7 veces energía calorífica. Por lo anterior, el ahorro de energía en refrigeradores domésticos en México aún no es factible, pero, en el sistema de deshielo sí es posible, ya que la fluctuación del voltaje de operación no daña al sistema de deshielo tan severamente como al compresor, por estar constituido de una resistencia pura.

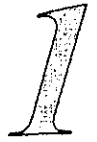
El objetivo principal de este trabajo de tesis es proponer un sistema de deshielo más eficiente para refrigeradores doméstico

En el capítulo 1 se citan los conceptos fundamentales que intervienen en cualquier sistema de refrigeración, es necesario recordar estos conceptos para un mejor entendimiento de las leyes físicas y de los procesos que intervienen en el ciclo de refrigeración.

En el capítulo 2 se explica a detalle como esta constituido un refrigerador doméstico, mostrando las partes y componentes principales que lo forman y su función dentro del ciclo de refrigeración, aunque este trabajo de tesis esta dirigido a mejorar el sistema de deshielo de un refrigerador doméstico, es necesario conocer las partes componentes principales del refrigerador, ya que, fundir la escarcha acumulada en el evaporador del refrigerador empleando un sistema de deshielo más eficiente será nuestro objetivo principal, y para ello necesitamos apoyarnos en un sistema de refrigeración.

El capítulo 3 detalla el funcionamiento del sistema de deshielo por radiación (convencional) que hasta la fecha emplean los refrigeradores domésticos, también se detalla el sistema de deshielo por conducción, propuesto en este trabajo de tesis. La finalidad de este capítulo es poner a consideración del lector, un sistema que realiza el trabajo de fundir totalmente la escarcha acumulada en un evaporador durante un ciclo normal de trabajo, consumiendo una menor cantidad de energía que la que consume el sistema de deshielo actual de los refrigeradores domésticos.

En el capítulo 4 se muestra el consumo de energía requerido por cada sistema para realizar la tarea de fundir totalmente la escarcha acumulada en el evaporador de un refrigerador doméstico durante un ciclo de trabajo. Se enumeran las ventajas y desventajas de ambos sistemas de deshielo, así como su costo de implementación en las líneas de producción de los fabricantes de este electrodoméstico. Se muestra también una estimación del ahorro de energía en GW-hr/año que generaría el sistema de deshielo por conducción comparado con el ahorro de energía generado por el horario de verano en México.



CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En este capítulo se estudian los conceptos fundamentales que intervienen en la refrigeración, se inicia con el concepto de refrigeración para particularizar el área de aplicación de esta tesis, la aportación de esta tesis no es hacer más eficiente el ciclo de refrigeración sino mejorar un proceso que se emplea en los refrigeradores domésticos de actualidad el cual es el "sistema de deshielo". El sistema de refrigeración viene a ser una herramienta de apoyo para demostrar la eficiencia que tiene el sistema de deshielo por conducción sobre el sistema de deshielo convencional. El concepto de presión es muy importante así como los de calor y trabajo, estos conceptos se interrelacionan en cualquier proceso que intervenga un fluido como sustancia de trabajo, siguen los conceptos de calor específico, entalpía y entropía, los cuales en un ciclo de refrigeración son datos principales para su evaluación, finalmente estudiamos el ciclo de Carnot, ya que este ciclo invertido es la base del ciclo de refrigeración.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Para una buena comprensión del contenido de este trabajo, considero necesario definir los conceptos más utilizados en la refrigeración, con el fin de que, cuando se haga mención a ellos en los capítulos posteriores, el lector tenga una referencia clara de dicho concepto, iniciamos con el concepto de refrigeración.

1.1. REFRIGERACIÓN.

La refrigeración es un ciclo de procesos mediante los cuales se reduce y conserva un espacio (aislado) a temperatura menor que la temperatura ambiente. Esto se logra principalmente extrayéndole calor a dicho espacio, el calor que se retira de un espacio o sustancia se llama carga térmica y representa la cantidad de calor que hay que retirar del espacio o sustancia para que ésta reduzca su temperatura, la carga térmica puede ser el propio calor que generan los alimentos durante su proceso de descomposición, o el calor que se filtra a través de las paredes de un refrigerador, o el calor de las lámparas dentro de una cámara frigorífica, etc. Un refrigerador doméstico está formado por un gabinete y puertas, un sistema de refrigeración y un agente refrigerante, el cual se encarga de tomar el calor del interior del refrigerador (carga térmica) y llevarlo hacia fuera de éste por medios como la conducción, la convección o la radiación del calor, este agente refrigerante es un fluido compuesto de carbono-cloro-fluor comúnmente conocido como Freón. En los inicios de la refrigeración se utilizaron como agentes refrigerantes al amoníaco y al gas butano pero, por su toxicidad e inflamabilidad fueron retirados del refrigerador doméstico a la aparición de los Freones, que son agentes refrigerantes no tóxicos y no inflamables.

Existen refrigeradores con diferente capacidad de enfriamiento, la cual representa la rapidez con la cual retiran la carga térmica, esta capacidad se mide en toneladas de refrigeración, una tonelada de refrigeración es la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo a 0 °C en 24 horas.

T. R.	Sist. Inglés	Sist. Métrico	Sist. Internacional	
Corta	12,000 Btu / hr	3,026 Kcal / hr	12,670 Kj / hr	3.517 Kw
908 Kg	200 Btu / min	50.4 Kcal / min	211.16 Kj / min	
Métrica	13,200 Btu / hr	3,333 Kcal / hr	13,953 Kj / hr	3.875 Kw
1,000 Kg	220 Btu / min	55.55 Kcal / min	232.55 Kj / min	

Los refrigeradores por su capacidad se clasifican en domésticos hasta 5 T. R., en comerciales de 20 a 30 T. R. e industriales hasta 3,000 T. R.

1.2. PRESIÓN.

El trabajar con fluidos involucra a la presión, ya que la presión está ligada al estado líquido o gaseoso en que se encuentre el fluido, un fluido en reposo, en un punto dado, ejerce la misma presión en todas direcciones, y la presión se define como la componente normal de fuerza por unidad de superficie. Especificando más, si δA es un área pequeña y $\delta A'$ es un área menor sobre la cual consideramos el fluido "continuo", y δF_n es la componente de la fuerza normal de δA , definiremos a la presión, P , como:

$$P = \limite de \delta F_n / \delta A \text{ cuando } \delta A \text{ tiende a } \delta A'$$

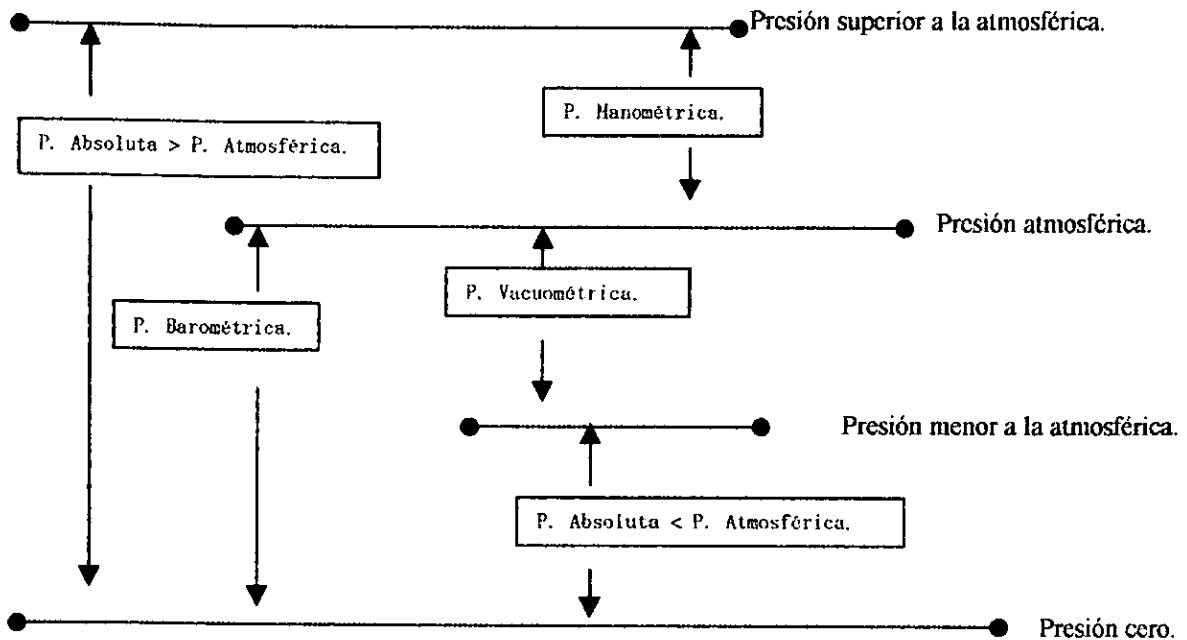
En un sistema de refrigeración hay dos secciones con presiones distintas, alta y baja presión, la sección de alta presión comienza a la salida de la válvula de descarga del compresor, incluye la línea de descarga, el condensador, filtro deshidratador y termina en el tubo capilar. La sección de baja presión comienza a la salida del tubo capilar, incluye al evaporador, a la línea de succión y a la carcasa del compresor.

La presión P en un punto de un fluido en equilibrio es la misma en todas direcciones. Por lo que la presión desde el punto de vista de un fluido en equilibrio tiene las siguientes unidades:

Kilogramo fuerza por metro cuadrado "Kgf / m²"

Por otro lado, en trabajo experimental de carácter general, la presión se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado "Kg / cm²", para esto se debe tomar en cuenta la equivalencia de $10,000 \text{ cm}^2 = 1 \text{ m}^2$, cuando se requiera, en el sistema inglés se expresa la presión en lbf / pie², pero como también usan lbf / pulg² el factor de equivalencia es $144 \text{ pulg}^2 = 1 \text{ pie}^2$.

La mayoría de las investigaciones termodinámicas tratan con presiones absolutas; sin embargo, la mayor parte de los manómetros y vacuo-metro leen la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica, en el lugar donde esta el manómetro, y esta lectura se llama presión manométrica. Esto se muestra gráficamente en la figura siguiente:

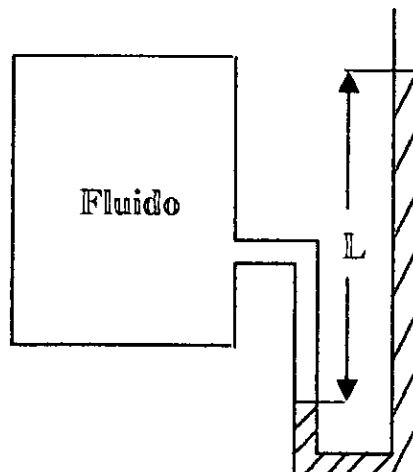


Presiones abajo, y ligeramente arriba de la atmosférica, y diferencias de presión (por ejemplo, a través de un orificio en un tubo) se miden por lo regular con un manómetro diferencial, el cual contiene agua, mercurio, alcohol, aceite u otros fluidos.

Por los principios de la Hidrostática se deduce, de la diferencia de nivel L metros, la diferencia de presión es kilogramos por metro cuadrado, calculando con la relación siguiente:

$$\Delta P = \rho L_g / g_c$$

Donde ρ es igual a la densidad del fluido en kgm / m^3 . La figura siguiente ilustra el manómetro diferencial.



De esta relación, a temperatura ordinaria, tenemos que:

$$1 \text{ m Hg} = 13.6 \text{ Kg} / \text{m}^2$$

$$1 \text{ pulgada Hg} = 0.490 \text{ lb} / \text{pulg}^2$$

La presión atmosférica normal se define como la presión producida por una columna de mercurio de 760 mm exactamente, siendo la densidad del mercurio 13.5951 g/cm^3 , y la aceleración de la gravedad normal, por tanto:

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 14.6959 \text{ lbf/pulg}^2 = 1.01325 (10^6) \text{ dinas/cm}^2$$

Otra unidad común de presión es “la atmósfera”, la cual implica una atmósfera normal, o sea, que una presión de 1,000 atmósferas es una presión de $1,033 \text{ Kgf/cm}^2$ o $14,695 \text{ lbf/pulg}^2$

Presiones extremadamente bajas (alto vacío) se miden frecuentemente en micras de mercurio.

$$1 \text{ micra} = 1 (10^{-6}) \text{ metros} = 1 (10^{-3}) \text{ mm}$$

$$1 \text{ micra Hg} = 1 (10^{-3}) \text{ mm Hg} = 1.933 (10^{-5}) \text{ lbf/pulg}^2$$

El término torr “en honor al Evangelista Torricelli, 1608-1647, el iniciador de los trabajos en la tecnología del vacío” se introdujo para una presión ejercida por una columna de 1 mm Hg. A fin de distinguir entre presiones absolutas y manométricas, los términos Kgf/cm^2 o Kgf/m^2 se refieren a presiones absolutas, y algunos autores cuando se trata de presiones manométricas añaden a estos símbolos la abreviatura “man”, las abreviaturas en el sistema inglés para la presión absoluta es psia y para la presión manométrica es psig, lbf/pulg^2 y lbf/pie^2 .

En un refrigerador doméstico, el tubo capilar es un tubo de diámetro pequeño y gran longitud por donde circula el refrigerante, su diámetro pequeño reduce el flujo de refrigerante, por lo tanto, reduce la presión.

La presión de un refrigerante está íntimamente ligada a su temperatura, si aumenta la presión del refrigerante, entonces se eleva su temperatura de ebullición. Inversamente, cuando desciende la presión, también baja la temperatura de ebullición. Se puede estimar la presión de condensación, del lado de alta, con la carta de presión-temperatura que aparece en la Tabla 1 del Anexo.

1.3. CALOR Y TRABAJO.

El calor es una forma de tantas que tiene la energía de manifestarse. El calor puede definirse como la capacidad para realizar trabajo y existe en la materia sólida, líquida o gaseosa. Por ejemplo, 1 libra 0.450 Kg de agua puede estar en forma de hielo “sólida”, agua “líquida” o vapor “gaseosa”, hechos que dependen de la cantidad de calor que se agregue a la libra de agua. Cuanto más calor se agregue, más rápido vibrarán las moléculas del agua, al vibrar, las moléculas tienden a

separarse, hecho que produce el cambio de fase. Primero, el agua cambia de la fase sólida a la fase líquida y luego cambia de ésta a la fase gaseosa.

Este proceso también se produce en sentido contrario. Si, por ejemplo, se usa vapor para impulsar una turbina, el mismo se condensa y se convierte en agua al gastar su energía, de ahí que la energía no pueda ser destruida, solo transformada, físicamente puede cambiar de una forma a otra, por ejemplo, el llamado combustible seco es una mezcla de carbón pulverizado “energía química” y desperdicios sólidos. El calor “la manifestación más simple de la energía”, producto de la combustión, hace funcionar la caldera para generar vapor, ésta a la turbina de vapor la cual a su vez impulsa al generador eléctrico y éste alimenta al transformador. La energía térmica se transforma en energía mecánica, y el resultado final fue el de convertir energía mecánica en energía eléctrica.

En un refrigerador doméstico la energía eléctrica se transforma en energía mecánica, la cual, a su vez, se convierte en energía térmica, “calor”.

Además de la energía térmica hay energía nuclear. La energía nuclear se obtiene mediante la división de los átomos de algunos elementos por medio de la fisión nuclear. Un átomo es la menor partícula en que se puede dividir un elemento sin cambiar sus propiedades originales, luego, los átomos se acomodan en combinaciones para formar moléculas. Por ejemplo, todo el mundo conoce el agua. Su composición química es H_2O , esto significa que hay dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Una molécula es la partícula menor en que se puede dividir una sustancia. Si se tratara de dividir una molécula de agua, habría tres átomos en lugar de una molécula, dos de hidrógeno y uno de oxígeno. Las moléculas no pueden ser observadas a simple vista, lo que puede verse son las grandes agrupaciones de moléculas, ellas forman lo que se conoce como materia. La materia tiene peso, ocupa un lugar en el espacio, y puede ser percibida por medio de los sentidos. La materia constituye cualquier cuerpo físico.

Los átomos forman moléculas y cómo las moléculas constituyen la materia. Toda la materia contiene calor. Como ya se sabe, la cantidad de calor se mide en Btu. La intensidad del calor se mide en grados Fahrenheit °F o grados Celsius o centígrados °C.

Para hacer la conversión de Fahrenheit a Celsius, pueden usarse las siguientes formulas:

$$^{\circ}C = (^{\circ}F - 32) \cdot 5/9$$

$$^{\circ}F = (9/5) ^{\circ}C + 32$$

El agua se congela a 32 °F o 0 °C. El agua hierve a 100 °C o 212 °F bajo presión atmosférica y a nivel del mar. El único punto en que las dos escalas

coinciden es a -40 grados, el punto de cita o coincidencia. Esta temperatura es en donde la cantidad de calor en una libra de refrigerante se mide en una gráfica de presión-entalpía. El cero absoluto es -460 °F o -273 °C. Más abajo de -40 °, la cantidad de calor contenida en una libra 0.450 Kg de refrigerante es tan pequeña que no afectaría las dimensiones y la selección del equipo de refrigeración.

Existe también una escala absoluta de temperaturas basada en la escala Celsius de temperatura. Se llama la escala Kelvin. Su cero absoluto es -273 °C.

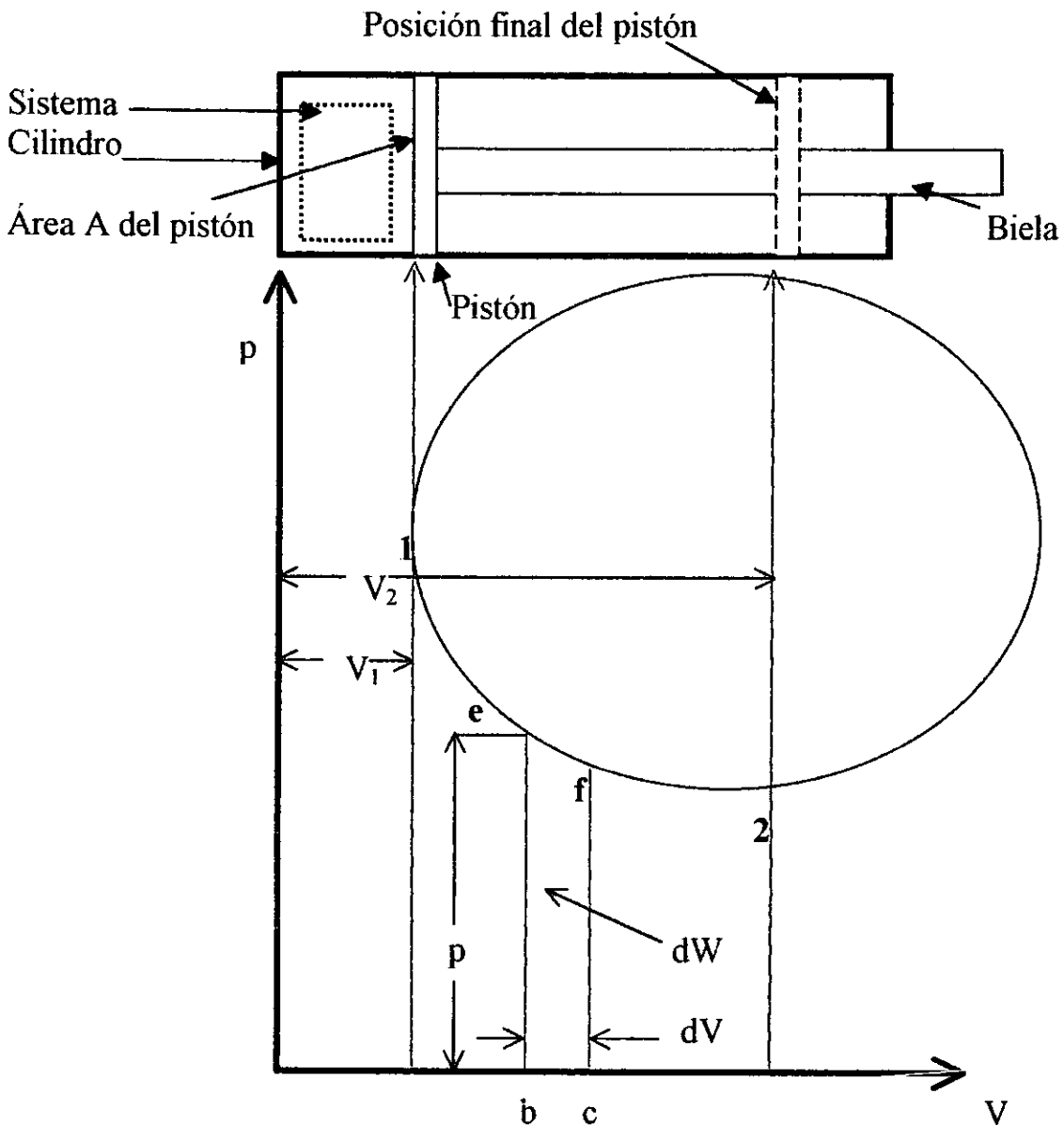
El término trabajo en termodinámica se refiere a un intercambio de energía entre un sistema y sus alrededores. Puede ser trabajo mecánico, tal como la compresión de un vapor refrigerante por un compresor, puede ser trabajo eléctrico, tal como la entrada de información eléctrica que proporciona energía a un compresor o puede ser de otras formas.

Para que el trabajo mecánico W se dé, debe haber una fuerza actuando en un cuerpo en movimiento. El trabajo que realiza una fuerza F , se define como el producto del desplazamiento dx de un cuerpo y la componente F_x de la fuerza aplicada en la dirección del desplazamiento.

$$dW = F_x dx$$

Esta definición proporciona las unidades básicas de la energía que son: el joule cuando la fuerza se mide en Newton y el desplazamiento en metros, y la libra-pie cuando la fuerza se mide en libras y el desplazamiento en pie, dw en contraste con dW denota el trabajo específico, o el trabajo por unidad de masa, el volumen del fluido es V_1 y su presión es p_1 . Si se considera el estado del fluido en el plano pV , Si el fluido de trabajo se expande y mueve al pistón el cual opone una resistencia, el fluido habrá realizado un trabajo.

En un proceso práctico de esta clase, la presión cae y el estado del fluido cambia según lo sugerido por la curva 1-e-f-2.



Puesto que la presión y por lo tanto la fuerza en el pistón está variando, es necesario integrar $\int F_x dx$ para encontrar el trabajo realizado. Considere un cambio del estado de e a f tan pequeño que la presión es esencialmente constante durante el cambio.

La fuerza que actúa en el pistón será el producto de la presión por el área del pistón, $F_x = pA$. La distancia que el pistón se movió es una cantidad diferenciada dL , y el trabajo de este movimiento infinitesimal del pistón es el producto de la fuerza por la distancia,

$$dW = (pA) dL = p (A dL) = p dV$$

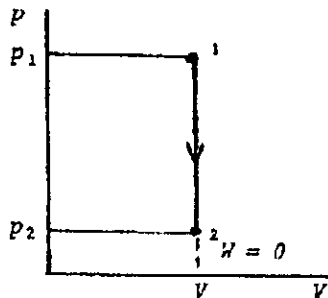
Donde dL es un volumen diferencial igual a dV .

Es importante reconocer que dW no es una diferencial exacta de la función W , sino que representa una cantidad pequeña de trabajo. La integral de una diferencial exacta es independiente de la trayectoria y depende solamente de los límites de la integración. El trabajo depende de la trayectoria, es decir, es una función de trayectoria, en contraste con las funciones de estado como la presión, el volumen específico o la temperatura. El trabajo total hecho entre los estados 1 y 2 es:

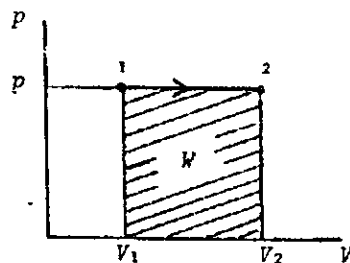
$$W = \int_1^2 p dV \text{ o } w = \int_1^2 p dv$$

Nótese que el área diferencial $b e f c$ cuyo ancho es dV y altura p . La magnitud de esta área es $p dV$ y la suma de todas estas áreas diferenciales es el área total bajo la curva 1-e-f-2 cuando se integra del estado 1 al estado 2. Así tenemos el área igual $\int p dV$ y $W = \int p dV$; por lo tanto, el área bajo la curva del proceso en el plano pV representa el trabajo hecho durante un proceso reversible.

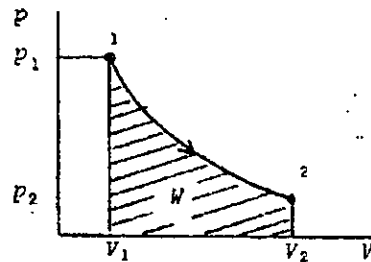
Las tres siguientes figuras representan el trabajo realizado en diversos procesos como son, el isométrico (Fig. A), el isobárico (Fig. B) y el isotérmico (Fig. C)



(Fig. A)



(Fig. B)



(Fig. C)

Para el proceso isométrico (Fig. A)

$$dV = 0 \quad W = \int_1^2 p dV = 0$$

Para el proceso isobárico (Fig. B)

$$W = \int_1^2 p dV = p \int_1^2 dV = p (V_2 - V_1)$$

Para el proceso isotérmico (Fig. C), si se asume un gas ideal

$$W = \int_1^2 p dV = \int_1^2 RT / V dV = RT \ln V_2/V_1, \text{ o usando la ley de Boyle}$$

$$W = RT \ln p_1/p_2 = P_1 V_1 \ln p_1/p_2$$

Obviamente, hay un número infinito de procesos por los cuales un sistema se pueda tomar de un estado inicial dado a un estado final dado.

La cantidad de calor se mide en Btu "British thermal units". La energía térmica requerida para elevar una libra de agua un grado Fahrenheit es una Btu, una caloría es la cantidad de calor necesario para elevar un gr de agua en un grado centígrado. Se necesitan 144 Btu para fundir una libra de hielo. Una tonelada de hielo, fundida a lo largo de un período de 24 horas, absorbería calor a razón de 12,000 Btu por hora "Btu / h". En consecuencia, una unidad que desprenda 12,000 Btu / h se dice que tiene una capacidad de una tonelada de refrigeración. El calor específico es la cantidad de calor necesario para elevar una libra de la sustancia de que se trate un grado Fahrenheit. El calor específico del agua es 1.

La Tabla 2 del Anexo muestra los valores del calor específico de algunas sustancias. El agua se usa como punto de referencia. La cantidad de calor usada para elevar la temperatura de una libra de agua 1 °F se aplica a las otras sustancias para determinar su calor específico.

CALOR SENSIBLE.

El calor sensible puede medirse por medio de un termómetro. En consecuencia, la cantidad de calor requerido para hacer subir o bajar la temperatura de una sustancia sin cambiar su estado puede medirse. La fórmula del calor sensible es:

Btu = peso por calor específico por diferencia de temperaturas.

De modo que, para determinar la cantidad de calor requerida para elevar 10 libras de agua de 60 a 80 °F, se usa la fórmula como sigue:

$$10 (1) 20 = 200 \text{ Btu}$$

CALOR LATENTE.

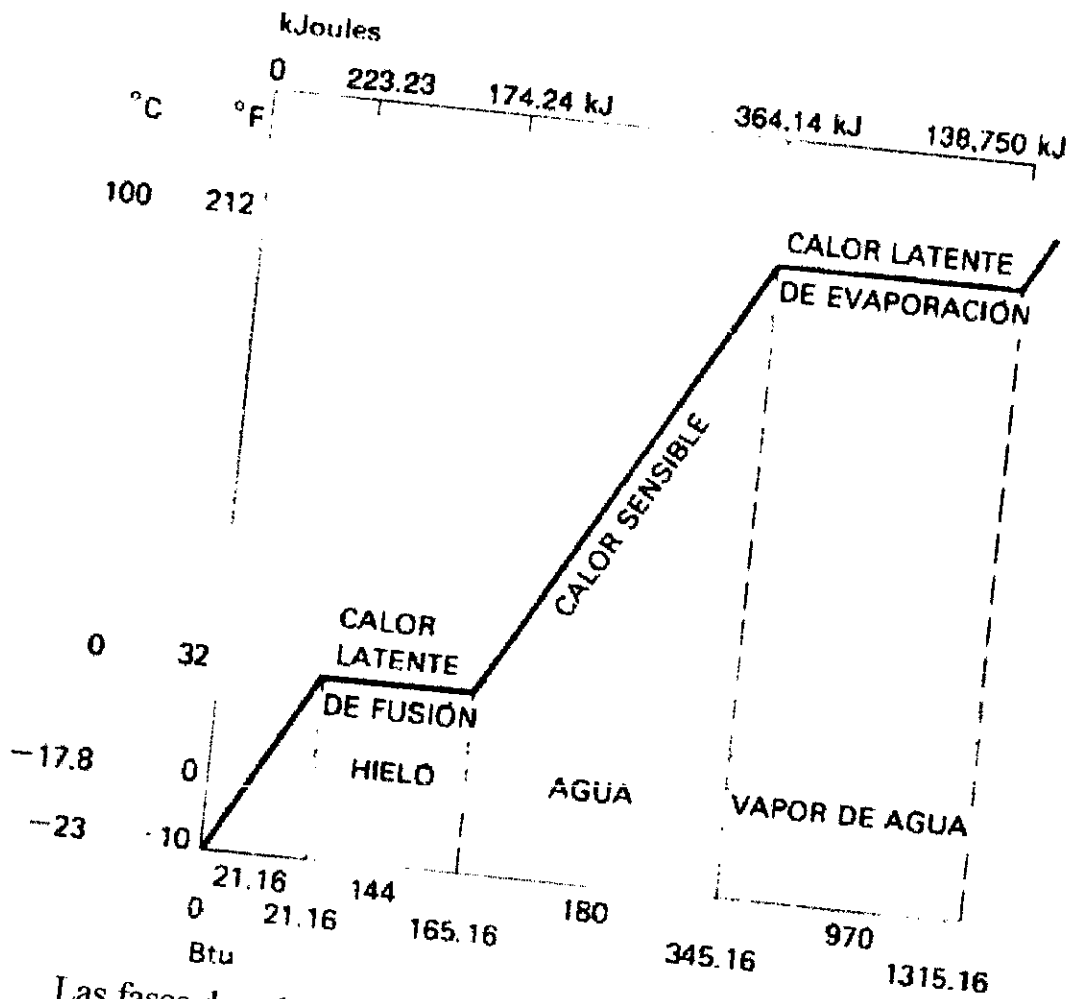
Un cambio de estado involucra al calor latente. El término calor latente significa calor oculto, el cual no puede medirse por medio de un termómetro. El calor necesario para cambiar de sólido a líquido se llama calor latente de fusión. El calor necesario para cambiar de estado líquido a vapor se llama calor latente de evaporación.

Cuando el hielo se funde, su temperatura no cambia, aunque absorbe 144 Btu/lb. Por lo tanto, el calor latente de fusión del agua es igual a 144 Btu.

El calor latente de evaporación del agua es 970 Btu/lb. De aquí que, convertir una libra de agua a 212 °F en una libra de vapor a 212 °F requiere la adición de 970 Btu.

CALOR TOTAL.

El calor total se refiere a la cantidad de calor latente más el calor sensible necesario para cambiar una sustancia de un cierto grado en cierto estado a una intensidad de calor mayor o menor en otro estado. El calor total necesario para cambiar una libra de hielo a -10 °F a 1 libra de vapor a 212 °F se grafica en la figura siguiente:



Las fases de calor total se calculan de la siguiente manera:

- Se aplica la fórmula de calor sensible para el hielo estado sólido de -10 °F a 32 °F.
- Se agrega el calor latente de fusión.
- Se aplica la fórmula de calor sensible para el estado líquido.
- Se incluye el calor latente de evaporación.

Cuando se funde una libra de hielo en un refrigerador portátil para día de campo, el agua que proviene del hielo que se fundió contiene 144 Btu “calor latente de fusión”. Una libra de hielo que esté a menos de 32 °F sólo recoge la mitad de un Btu. En el proceso de cambio de estado sin cambio de temperatura, la libra de hielo recoge 144 Btu.

Si observamos el ciclo de compresión, podemos comparar la eficiencia de una unidad mecánica de refrigeración con respecto a la refrigeración por medio del hielo. El hielo incluye el calor latente de fusión “144 Btu”, mientras que el sistema de compresión hace hervir al refrigerante. Si el agua fuera adecuada para usarla en un sistema de compresión, obtendríamos 970 Btu “calor latente de evaporación” por libra en lugar de 144 Btu/lb.

Los refrigerantes son más eficientes que el agua. Ésta no es adecuada por varias razones. Primero, hierve a una temperatura demasiado alta en condiciones atmosféricas “212 °F” “100 °C”. Además, se necesitarían vacíos o presiones extremadamente bajas para hacer hervir el agua a 40 °F “4.4 °C”, 7 mm Hg de presión absoluta.

En consecuencia, se emplean líquidos sustitutos llamados refrigerantes, que han sido perfeccionados durante el transcurso del tiempo. El R-134a es el refrigerante común, hierve a -22 °F “-30 °C” bajo cero en condiciones atmosféricas. Carece del calor latente de evaporación que tiene el agua, pero posee una ventaja sobre ésta, ya que ocupa menor espacio de vapor por libra de vapor. Esto significa que se necesita un compresor de menor desplazamiento para hacer el mismo trabajo. En las aplicaciones de refrigeración, el R-134a no necesita presiones del lado de baja que sean inferiores a la presión atmosférica. Las presiones por abajo de la atmosférica permiten que el aire y la humedad entren al sistema cuando se produce una fuga o filtración.

Existen tres métodos para la transmisión del calor:

1. Radiación: cuando el calor pasa del cuerpo más caliente al más frío sin calentamiento de las moléculas que se encuentran entre ellos.
2. Convección: cuando el calor se transmite por medio de fluidos, aire o agua, y las moléculas se mueven libremente.
3. Conducción: cuando el calor se transmite a través de sólidos, de una molécula a la siguiente.

Los tres métodos de transmisión de calor se usan en la refrigeración.

RADIACIÓN:

El calor que radia el compresor no depende de las moléculas del aire para calentar el fondo de un refrigerador, pues responde al principio de que el calor radiante viaja directamente de un objeto caliente a un objeto frío.

Las moléculas entre los dos objetos no se calientan, la temperatura del aire alrededor del compresor podría ser 40 °F “4.4 °C” y la lámina del fondo del refrigerador podría estar a 37.7 °C. Si se instalaran paneles solares en el techo de una residencia, los rayos infrarrojos del sol podrían calentarlos hasta que sus fluidos llegaran arriba de 93.3 °C en determinados días por medio de la transmisión de calor radiante.

CONVECCIÓN

El condensador es el dispositivo que transfiere el calor del refrigerante hacia el medio ambiente mediante sus aletas disipadoras, el fluido encargado de mover al calor saliente es el aire circundante del condensador, éste al entrar en contacto con las aletas del condensador se calienta y se vuelve más ligero, por lo que se tiende a mover hacia arriba dando lugar a la entrada de más aire frío. El calor viaja con las moléculas del aire en expansión a través del intercambiador de calor y sale al exterior por la parte superior del condensador. El aire frío y más pesado impulsa el aire caliente y en expansión. Este proceso se llama convección natural.

CONDUCCIÓN

Cuando se le enfría, el refrigerador suelta parte de su calor por medio de conducción a través de los serpentines del evaporador, el cual es absorbido por el refrigerante que lo aprovecha para entrar en ebullición y convertirse en vapor. La energía térmica entra entonces al ciclo de compresión. Es llevada por convección a través de la línea de succión al compresor. En éste, se aumentan la temperatura y la presión del gas, por lo cual los vapores calientes y comprimidos son impulsados hacia el condensador, el condensador emplea los tres siguientes métodos de transmisión de calor:

1. El condensador conduce el calor a través de su construcción de serpentín con aletas hacia el medio refrigerante de temperatura más baja “el aire ambiente del condensador enfriado por aire”.

2. Luego, por radiación, el condensador envía al calor en una línea recta hacia un objeto adyacente. Éste podría ser el compresor o un muro.

3. El medio elimina calor por convección. El aire ambiente caliente sube y es desplazado por aire más frío y más pesado.

Se define el flujo de calor positivo cuando el calor se agrega a un sistema y a uno negativo cuando es rechazado por un sistema. Semejantemente, a las definiciones arbitrarias del trabajo positivo y negativo, el precedente se basa en la bomba de calor, el propósito es absorber energía en forma de calor positivo, y proporcionar energía útil en forma de trabajo positivo.

LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La primera ley de la termodinámica es una declaración del principio de la conservación de la energía. Afirma que el flujo neto de la energía a través del límite de un sistema es igual al cambio en la energía del sistema. Para los propósitos de la termodinámica, consideramos solamente dos tipos de flujo de energía a través de un límite: el trabajo hecho en o por el sistema, y el calor absorbido o rechazado por el sistema.

Del principio de la conservación de la energía, siempre que haya cualquier transferencia de la energía interna a través del límite de un sistema, la energía del sistema aumenta en igual cantidad a la energía neta transferida. Si U_1 representa la energía del sistema al inicio de un proceso, U_2 la energía al final del proceso, Q el calor neto fluyendo dentro del sistema durante el proceso, y W el trabajo hecho por el sistema durante el proceso, entonces el aumento de la energía del sistema, $U_2 - U_1$ es igual a la diferencia entre Q y W , $U_2 - U_1 = Q - W$. Esta es la forma matemática de la primera ley de la termodinámica.

Se designa a la energía interna del sistema como U . Para indicar la ley como hemos hecho arriba se asume que la energía interna es una función del estado del sistema solamente. Es decir, el hecho de que se escriba energía interna en estado 1 como U_1 y energía interna en estado 2 como U_2 , implica que el sistema tiene una energía interna definida en un estado definido, e implica a futuro que un cambio en la energía interna, $U_2 - U_1$, depende solamente del estado final y no del proceso por el cual el sistema pasa de un estado a otro. Para un proceso infinitesimal la primera ley se convierte en:

$$dU = dQ - dW$$

Aunque dQ y dW son ambos diferenciales inexactos, su diferencia es una diferencial exacta. Cuando la masa o el número molar de un sistema divide ambas caras de la ecuación de arriba, obtenemos:

$$du = dq - dw$$

Cuando un sistema se lleva con un proceso cíclico (no necesariamente reversible) $U_2 = U_1$ y $Q = W$, es decir, el calor neto que fluye en el sistema iguala al trabajo neto hecho por el sistema. Esto significa que es imposible construir una máquina que funcione en ciclos completos, en los que proporcione más energía en forma de trabajo que la energía que absorbe en forma de calor. Una máquina que hiciera esto se llamaría máquina de movimiento perpetuo del primer tipo, porque violaría la primera ley de la termodinámica. La primera ley de la termodinámica en ocasiones se enuncia así: “No existe una máquina de movimiento perpetuo del primer tipo”.

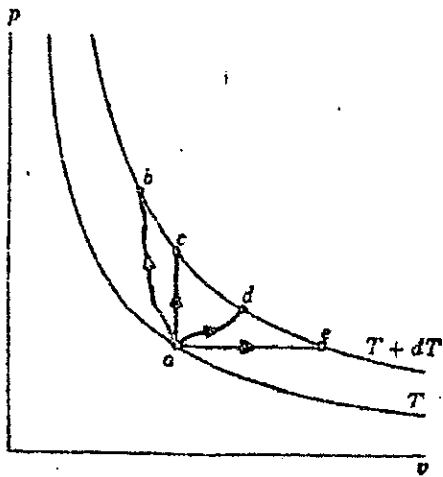
Es importante notar que la energía interna de un sistema no se puede identificar con el trabajo o el calor. Los términos calor y trabajo se utilizan solamente en conexión con un flujo o un intercambio de la energía entre un sistema y sus alrededores. Si consideramos dos métodos posibles de aumentar la temperatura de un resistor.

Podríamos rodearlo con un aislante térmico tal como lana para evitar cualquier flujo de calor (o reducir por lo menos el flujo a proporciones insignificantes), y elevamos su temperatura con el suministro de cierta cantidad de energía eléctrica. Alternativamente, con el resistor desconectado de la línea de poder, podríamos producir exactamente el mismo incremento de la temperatura colocando el resistor en una flama de gas, en el primer proceso, se hizo un trabajo W , en el segundo, hubo un flujo del calor Q , ambos procesos causaron un cambio de estado en el resistor. El estado del resistor está igual en ambos procesos y no tiene sentido afirmar que debido al primer proceso el resistor contiene más “trabajo”, o que en el segundo proceso haya un contenido mayor de “calor”, lo que contiene el resistor es más energía y decimos que si el aumento en su energía interna está igual en ambos procesos, entonces, su estado inicial y final son iguales en ambos procesos.

1.4. CALOR ESPECÍFICO Y ENTALPÍA.

La capacidad del calor específico (o el calor específico para abreviar) de una sustancia se define como el calor dq que fluye en una sustancia por unidad de masa, en un incremento de temperatura dT .

$$C = dq / dT \text{ j / Kg } ^\circ\text{C} \text{ ó } \text{j / mol } ^\circ\text{C} \text{ ó } \text{Btu/lb } ^\circ\text{F}$$



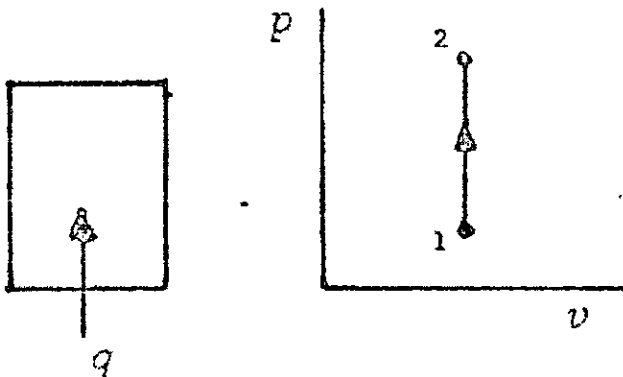
Para indicar solamente el aumento de la temperatura en un proceso, sin embargo, no define totalmente el proceso. Por ejemplo, si un sistema está bajo presión constante, éste aumentará su volumen a medida que aumente su temperatura. Si se mantiene en un envase rígido, su volumen sigue constante pero entonces la presión aumenta.

El estado inicial de un sistema está representado por el punto a, y las líneas a-b, a-c, a-d, y a-e, representan 4 diferentes procesos en los cuales la temperatura de un sistema es incrementada por la misma cantidad de T a $T + dT$.

Experimentalmente se encuentra que el dq del calor suministrado al sistema es diferente en cada uno de estos procesos y por lo tanto el calor específico $c = dq / dT$ es diferente en cada proceso. Puesto que hay obviamente un número infinito de diversos procesos por los cuales el sistema podría ir de un estado a la temperatura T a otro estado a la temperatura $T + dT$, esto da como consecuencia que una sustancia tiene un número infinito de capacidades de calor específico.

La mayoría de las mediciones del calor específico se hacen con un sistema sujetado a una presión constante, como en el proceso a-e. Éste sería a presión atmosférica si el sistema estuviera abierto, o las medidas se pueden hacer en un compartimiento sujeto a presión mayor o menor que la atmosférica.

La capacidad del calor específico obtenida con estas condiciones se llama calor específico a presión constante, y es representada por c_p .



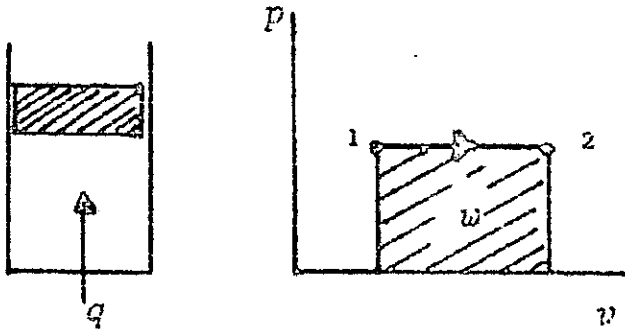
Si un sistema se mantiene a volumen constante mientras se le provee calor, el valor correspondiente de c se llama la capacidad de calor específico a volumen constante y es representado por c_v , c_p no es obviamente igual al c_v .

El calor tal como el trabajo, es una función de la trayectoria. A menudo se expresa el calor específico desde el punto de vista de un punto o de funciones de estado que de las funciones de trayectoria. Considere el proceso isométrico mostrado en la figura siguiente donde q el calor por unidad de masa se agrega a un gas en un envase rígido.

Como no hay trabajo hecho en este proceso, la primera ley se reduce a:

$$u_2 - u_1 = q \quad du = dq = c_v dt \quad c_v = du / dT$$

$$\text{Esto nos lleva a} \quad q = c_v (T_2 - T_1)$$



Consideremos el proceso isobárico mostrado en la figura siguiente. El calor q por unidad de masa se agrega a un gas que se mantiene bajo presión constante. A medida que el gas se expande levantará el peso y se realizará un trabajo W .

La primera ley en este caso puede ser escrita como:

$$u_2 - u_1 = q - w = q - p (v_2 - v_1) \quad q = u_2 - u_1 + p (v_2 - v_1)$$

$$q = (u_2 + pv_2) - (u_1 + pv_1)$$

La combinación de cantidades $u + pv$ ocurre con frecuencia en ecuaciones termodinámicas. Este compuesto de la energía interna y del producto presión-volumen se llama entalpía " h ". Así para el proceso isobárico de la figura anterior:

$$q = h_2 - h_1 \quad dq = dh = c_p dT \quad c_p = dh / dT$$

$$\text{Esto nos lleva a:} \quad q = c_p (T_2 - T_1)$$

1.5. ENTROPÍA.

Probablemente el concepto más difícil y el más útil de toda la termodinámica es la entropía. Según lo concebido por Rudolph Clausius (1822-1888), profesor de física en la universidad de Bonn, entropía, semejantemente a otras funciones de punto o de estado, tiene valores únicos en todos los estados de equilibrio.

Desde un punto de vista práctico estamos interesados a menudo no en los valores absolutos de la entropía sino en el cambio de entropía entre dos estados en equilibrio. El cambio de entropía de un sistema se obtiene llevando el sistema a lo largo de una trayectoria reversible que conecte dos estados de equilibrio,

dividiendo el calor agregado al sistema en cada punto de la trayectoria por la temperatura del sistema, y sumando el cociente que así se obtenga. El cambio en entropía $S_1 - S_2$ entre los estados 1 y 2 es:

$$S_2 - S_1 = \int \frac{dQ}{T} = \int ds \text{ joules/}^\circ K \text{ or BTU/}^\circ R$$

El cambio en entropía específica es:

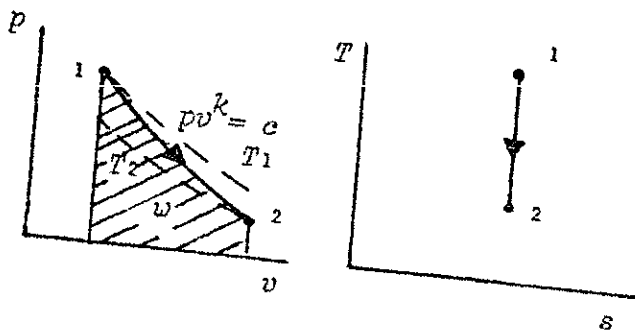
$$s_2 - s_1 = \int \frac{dq}{T} = \int ds \text{ joules/kg/}^\circ K \text{ or BTU/lb/}^\circ R \quad ds = \frac{dQ}{T} \text{ and } ds = \frac{dq}{T}$$

La expresión de la entropía asume que el calor infinitesimal dq agregado o rechazado en cualquier punto a lo largo de su trayectoria reversible no cambiará la temperatura del sistema en ese punto.

El calor específico por otra parte es una expresión del calor requerido para producir cierto cambio de temperatura en el sistema. Un proceso adiabático es aquel en el cual ningún calor cruza los límites del sistema. Pues Q y dQ son cero, en un proceso adiabático reversible $S_2 - S_1 = 0$

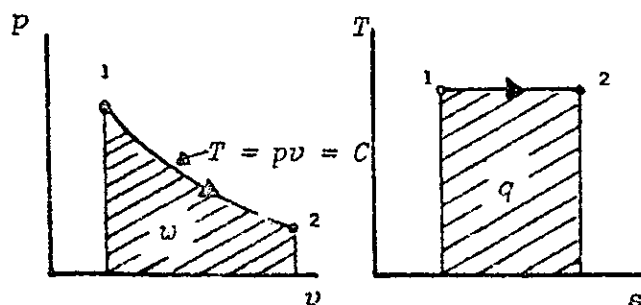
Alternativamente, no hay cambio en entropía. Así, un proceso adiabático reversible es un proceso a entropía constante isentrópico. Uno de los diagramas más utilizados en termodinámica y en refrigeración es el diagrama temperatura-entropía.

Las siguientes gráficas muestran un área la cual representa el calor agregado o rechazado durante un proceso reversible.



Proceso isentrópico en el diagrama $p - v$ y en el $T - s$.

El área en un proceso isentrópico es cero debido a que no hay calor agregado ni rechazado del sistema.

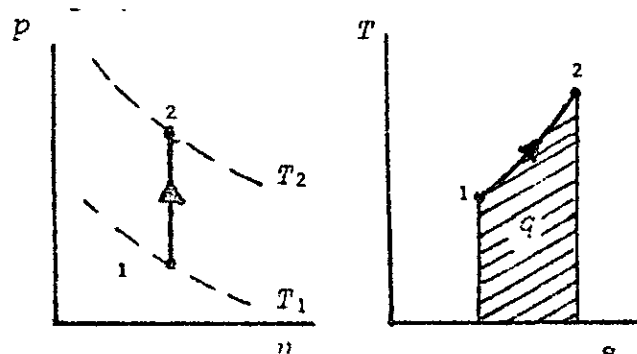


Para un proceso isotérmico:

$$\Delta_{2-1} = \int \frac{dq}{T} = \frac{1}{T} \int dq$$

$$\Delta_{2-1} = \frac{q}{T}$$

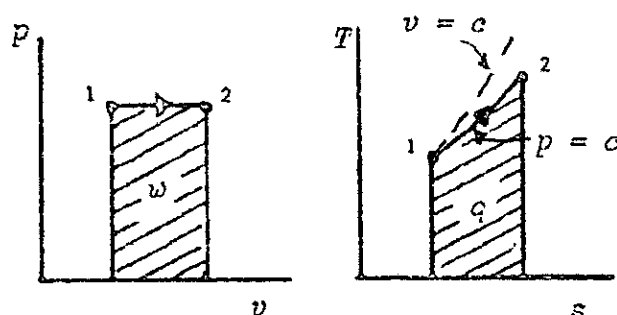
$$q = T(s_2 - s_1)$$



Para un proceso isométrico:

$$\Delta_{2-1} = \int \frac{dq}{T} = c_v \int \frac{dT}{T} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$q = c_v (T_2 - T_1)$$



Para un proceso isobárico:

$$\Delta_{2-1} = \int \frac{dq}{T} = c_p \int \frac{dT}{T} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$q = c_p (T_2 - T_1)$$

La Tabla 3 del Anexo muestra las relaciones p , v , T de un gas ideal en los procesos Isométrico, Isobárico, Isotérmico y Isentrópico.

1.6. CICLO INVERSO DE CARNOT.

EL CICLO DE CARNOT.

Un ciclo se compone de una serie de procesos en el que el final de un proceso es el inicio del siguiente y siempre se regresa al estado original en que se inició. Elementos de cualquier ciclo termodinámico que involucren a una bomba de calor o a un refrigerador son:

- Una sustancia de trabajo que recibe y rechaza calor y experimenta posibles cambios de fase.

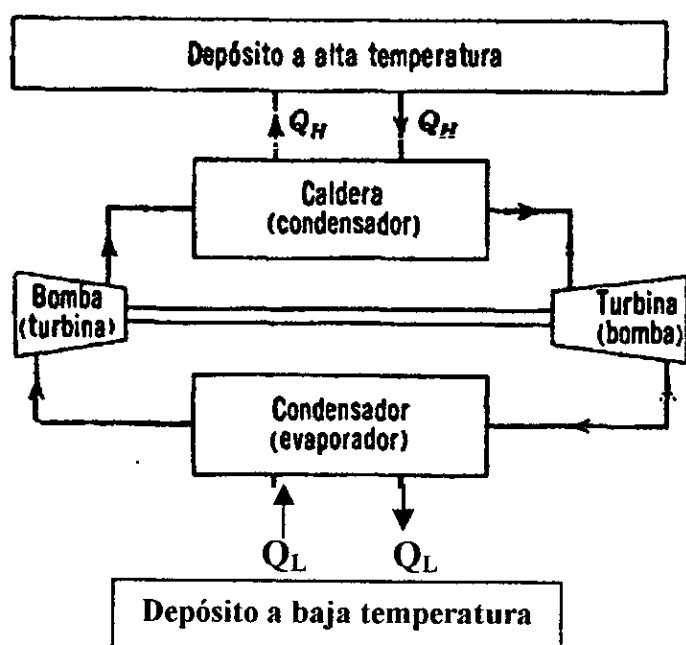
- Una fuente de calor o un depósito caliente de temperatura.
- Un disipador de calor o un depósito frío de temperatura.
- Una bomba de calor o refrigerador.

Definimos como estado estable cuando la energía almacenada en el sistema permanece constante y no hay cambio en la energía interna a partir de un ciclo al siguiente. También durante el estado estable la sustancia de trabajo repite la misma serie de eventos y de procesos de un ciclo al siguiente.

Nicolás Carnot, estableció la segunda ley de la termodinámica, era un ingeniero militar francés que investigaba para obtener el ciclo teórico más eficiente, él formuló el "principio de Carnot" en 1819 a la edad de 23 años, "Ningún motor que funcione en ciclos entre dos depósitos a temperaturas constantes puede tener una eficacia mayor que un motor de Carnot que funcione entre los mismos dos depósitos".

En otras palabras, si el rendimiento de todas las máquinas es inferior al 100%. ¿Cuál es el ciclo más eficiente que se puede tener?

Analizando una máquina térmica que recibe calor de un depósito a temperatura alta y expide calor a otro depósito a temperatura baja, debido a que se trata de depósitos, las dos temperaturas, alta y baja, permanecen constantes, sin importar la cantidad de calor transmitido, si esta máquina térmica funcionando entre los dos depósitos de temperaturas, alta y baja, opera en un ciclo en el cual cada proceso es reversible, el ciclo completo también es reversible, y si se invierte el ciclo, la máquina térmica se convierte en un refrigerador. Este es el ciclo más eficiente que pueda operar entre dos depósitos de temperatura constante.



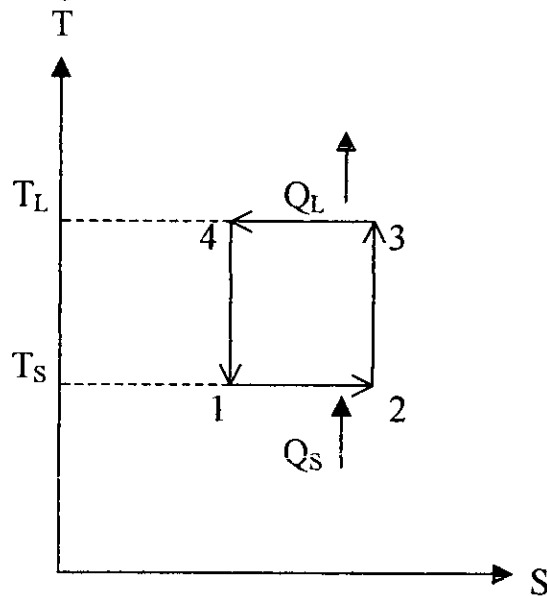
Ejemplo de una máquina térmica que opera con el Ciclo de Carnot.

Supongamos, también, que el fluido de trabajo sea una sustancia pura, tal como el vapor. El calor se transmite del depósito de alta temperatura al agua (vapor), dentro de la caldera. Para que sea una transmisión de calor reversible, la temperatura del agua (vapor) debe ser mas baja, que la temperatura del depósito, en una magnitud infinitesimal. Esto también implica que, puesto que la temperatura del depósito permanece constante, sea constante también la temperatura del agua. Por tanto, el primer proceso en el ciclo de Carnot es isotérmico reversible, en el cual el calor se transmite del depósito de alta temperatura al fluido de trabajo. Por supuesto, un cambio de fase líquida a fase vapor a presión constante es un proceso isotérmico para una sustancia pura.

El siguiente proceso ocurre en la turbina. Allí ocurre sin transmisión de calor sí, por tanto, adiabático. Debido a que todos los procesos en el ciclo de Carnot son reversibles, este tendrá que ser un proceso adiabático, reversible, durante el cual la temperatura del fluido de trabajo decrece de la temperatura del depósito de baja temperatura.

CICLO INVERSO DE CARNOT.

Diagrama T - S.



- 1→2 Proceso isotérmico
(Suministro de calor)
- 2→3 Proceso isentrópico
(Incremento de temperatura)
- 3→4 Proceso isotérmico.
(Rechazo de calor)
- 4→1 Proceso isentrópico
(Disminución de temperatura)

$$\text{Rendimiento} = W / Q_S$$

$$W = Q_S - Q_L$$

$$\eta = (Q_S - Q_L) / Q_S$$

$$Q_S = \Delta S T_S$$

$$Q_L = \Delta S T_L$$

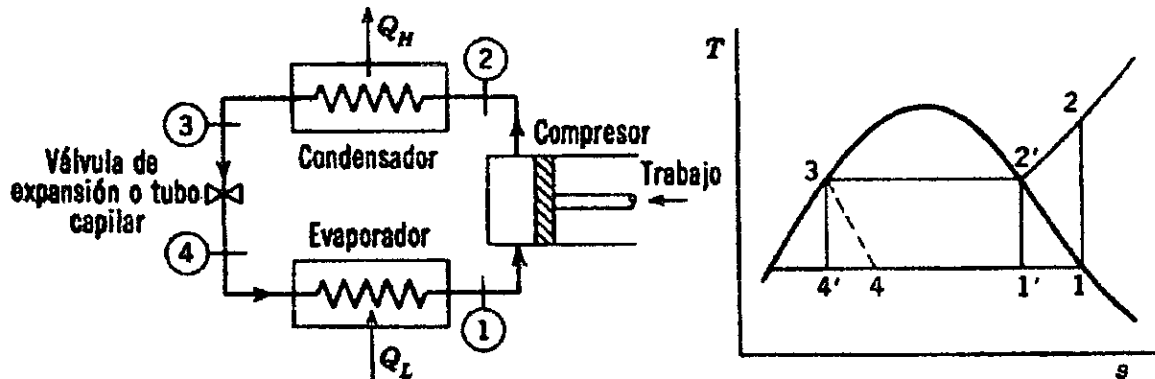
$$\eta = (T_S \Delta S - T_L \Delta S) / T_S \Delta S$$

$$\eta = \Delta S (T_S - T_L) / T_S \Delta S = (T_S - T_L) / T_S = 1 - (T_L / T_S) = 1 - (T_1 / T_2)$$

$$\eta = 1 - (T_1 / T_2)$$

CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DEL DIAGRAMA DE MOLLIER.

El siguiente esquema en el diagrama de Molier muestra los ciclos invertidos de Carnot ($1'-2'-3-4'-1'$) y Rankine ($1-2-3-4-1$) que representan al ciclo de refrigeración en el plano Temperatura-Entropía.



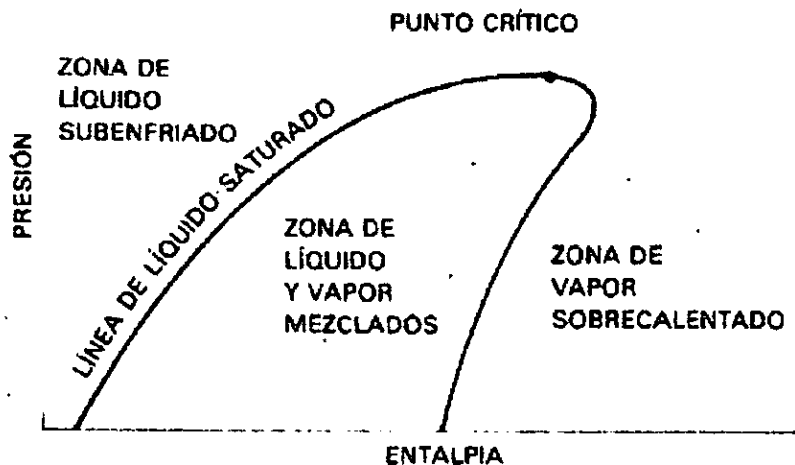
El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor se ve en el ciclo 1-2-3-4-1. Entra vapor saturado a baja presión al compresor y sufre una compresión reversible y adiabática, 1-2. El calor es cedido a presión constante en el proceso 2-3, y el refrigerante sale del condensador como, líquido saturado. Sigue un, proceso adiabático de estrangulamiento durante 3-4, luego, la sustancia de trabajo se evapora a presión constante durante 4-1, lo cual completa el ciclo.

La similitud entre este ciclo y el ciclo Rankine es evidente, ya que se trata del mismo ciclo, pero invertido, excepto que una válvula de expansión reemplaza a la bomba. Este proceso de estrangulamiento es irreversible, mientras que el proceso de bombeo del ciclo Rankine es reversible. La divergencia, de este ciclo ideal, con el ciclo de Carnot $1'-2'-3-4'-1'$ es notoria en el diagrama T-s.

La razón de la divergencia es que es mucho más conveniente tener un compresor que opere sólo vapor y no una mezcla de líquido y de vapor, como sería necesario durante el proceso $1'-2'$ del ciclo de Carnot. Es virtualmente imposible comprimir (en una relación razonable) una mezcla tal, como la representada por el estado $1'$, y mantener el equilibrio entre el líquido y el vapor, porque ahí debe haber un calor y una masa transferida a través de los límites de fase.

Es mucho más sencillo que el proceso de expansión tenga lugar irreversiblemente en una válvula de expansión, que lo haga en un dispositivo de expansión, que reciba líquido saturado, y descarga una mezcla de líquido y de vapor, como se necesitaría en el proceso 3-4. Por estas razones el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor es el indicado en la figura anterior.

El diagrama representa al refrigerante y es una presentación gráfica de los datos contenidos en las tablas termodinámicas. Tiene tres zonas cada una de las cuales corresponde a un estado físico diferente del refrigerante. El diagrama simplificado muestra a los tres. La zona de la izquierda representa refrigerante líquido sub-enfriado.



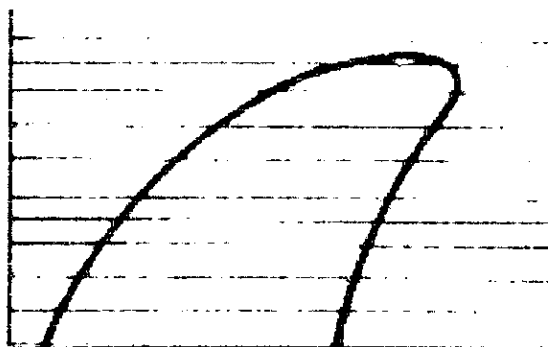
La zona central representa al refrigerante en un estado mixto de líquido y vapor, y la zona de la derecha representa al refrigerante en el estado de vapor sobrecalentado.

Las líneas inclinadas que separan las zonas indican las condiciones límite o de frontera.

En cualquier punto sobre la línea a la izquierda de frontera, existe líquido saturado esto es, líquido a su temperatura de evaporación pero sin que se hay formado ningún rastro de vapor todavía. En cualquier punto sobre la línea de la derecha de frontera, existe vapor saturado (esto es, vapor a su temperatura de evaporación pero sin rastro alguno del líquido que se ha vaporizado) Por lo tanto, la línea de la izquierda es la línea de líquido saturado y la de la derecha la línea de vapor saturado.

Estas líneas de frontera convergen al aumentar la presión y finalmente se juntan en el punto crítico, el cual representa la condición límite para la existencia de líquido. A temperaturas mayores que la crítica, el refrigerante puede existir sólo en la fase gaseosa.

PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE.



En el diagrama completo aparecen cinco propiedades básicas del refrigerante:

1. PRESIÓN, psia. La escala vertical del diagrama es la presión en libras absolutas.

Las líneas de presión constante corren en forma horizontal a través de la carta. Para obtener la presión manométrica,

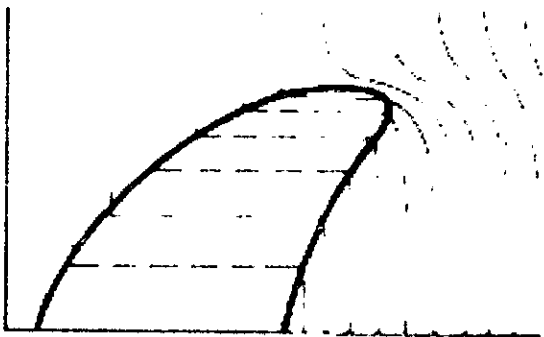
se resta la presión atmosférica (ordinariamente 14.7 psi) de la presión absoluta. La escala de presión no está graduada en intervalos constantes, sino que sigue una escala logarítmica, lo cual permite un amplio rango de cobertura en un diagrama de tamaño razonable.



2. ENTALPÍA, h , Btu/lb. La escala horizontal representa la entalpía. Las líneas de entalpía constante son verticales.

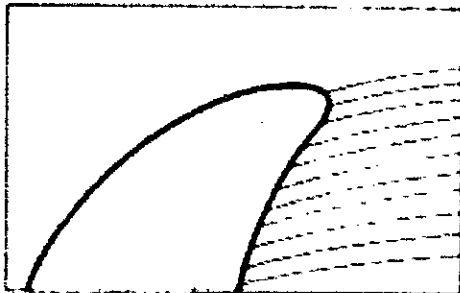
En un proceso de flujo constante tal como un ciclo de refrigeración, la entalpía representa el contenido de energía por cada libra de refrigerante.

Los valores absolutos de la entalpía no son de un significado particular, pero los cambios de entalpía entre los puntos de un proceso son muy importantes.



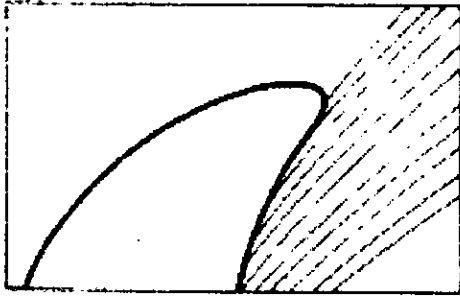
3. TEMPERATURA, $^{\circ}\text{C}$. Por lo general, las líneas de temperatura constante corren en dirección vertical en las zonas de vapor sobrecalentado y de líquido sub-enfriado.

En la zona de mezcla, siguen una trayectoria horizontal entre las líneas de saturación. El diagrama, normalmente simplificado, incluye líneas de temperatura sólo en la zona de sobrecalentamiento. En la zona mixta, se muestran los puntos de intersección con las líneas de saturación.



4. VOLUMEN ESPECÍFICO, pie^3/lb . Las líneas de volumen constante se extienden desde la línea de vapor saturado hacia la zona de vapor sobrecalentado y forman un pequeño ángulo con la horizontal.

Las líneas de volumen específico no se incluyen normalmente en la zona de líquido o de mezcla.



5. ENTROPÍA, s , Btu/lb- $^{\circ}$ F. Las líneas de entropía constante se extienden y forman un cierto ángulo con la línea de vapor saturado y a partir de ella.

Estas líneas aparecen sólo en la zona de vapor sobrecalentado porque es donde ordinariamente se requieren los datos de entropía, la cual está relacionada con la disponibilidad de energía.

Los cambios en la entropía, más que sus valores absolutos son de interés para el ingeniero. En un proceso de trabajo termodinámicamente reversible, la entropía permanece constante. Además, no puede detectarse por medio de los sentidos, ya que es una relación matemática entre el calor y la temperatura.

El cambio de entropía se define como la relación de la cantidad de calor que se agrega o se resta a la temperatura absoluta en la que ocurre el flujo térmico.

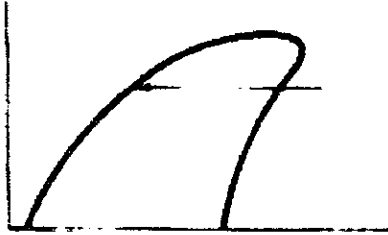
1.7. CICLO DE REFRIGERACIÓN BÁSICA.

El ciclo normal de compresión de vapor consta de los siguientes cuatro procesos básicos:

1. Evaporación del refrigerante líquido, que se convierte en vapor en condiciones de presión constante.
2. Compresión del vapor desde una baja presión hasta una alta presión. Este proceso puede suponerse que ocurre a entropía constante.
3. Condensación del refrigerante, el cual se convierte de vapor en líquido. Antes de que pueda comenzar la condensación, el vapor debe llevarse hasta el punto de saturación, removiendo cualquier sobrecalentamiento existente. El proceso completo tiene lugar a presión constante.
4. La expansión del refrigerante líquido desde un nivel de presión en la mezcla de líquido y vapor hasta una presión más baja. Esto ocurre sin que haya transferencia de energía hacia dentro o hacia fuera del refrigerante. En consecuencia, la entalpía permanece constante.

Cada uno de estos procesos básicos, permaneciendo constante una de las propiedades del refrigerante, puede ser representado por una recta en el diagrama. Los procesos a presión constante (evaporación y condensación) se ilustran con rectas horizontales. La expansión a entalpía constante se muestra por una por una

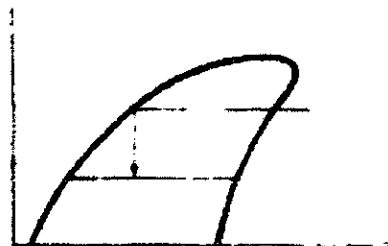
línea vertical. La compresión a entropía constante está representada por línea inclinada. Los siguientes dibujos esquemáticos muestran cómo se representa el ciclo de refrigeración en el diagrama o carta. Las líneas de condensación y de evaporación están dibujadas primero. Las líneas de expansión y de compresión se agregan después para completar el ciclo.



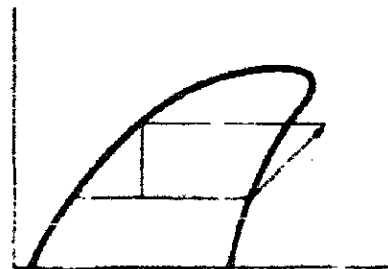
La línea de condensación, trazada horizontalmente, (a presión constante) a la temperatura apropiada de condensación a partir de la línea de líquido saturado hacia el interior de la zona de mezcla, se origina en la zona de vapor sobrecalentado.



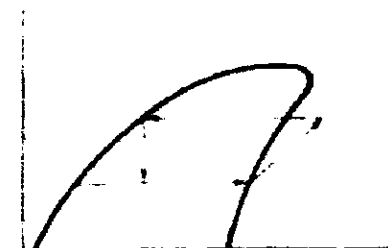
La línea de evaporación, trazada horizontalmente, (a presión constante), a la temperatura apropiada de evaporación, parte de la línea de líquido saturado hacia la línea de vapor saturado.



La línea de expansión, trazada verticalmente, (a entalpía constante), parte del extremo de la línea de condensación hasta la línea de evaporación.



La línea de compresión, trazada con cierta pendiente, (a entropía constante), parte del extremo de la línea de evaporación y llega hasta la línea de condensación en la zona de vapor sobrecalentado.



El ciclo completo representa la historia de una libra de refrigerante fluyendo una vez alrededor del sistema.

LIMITACIONES DEL CICLO IDEAL.

El ciclo empleado en la ilustración es un típico ciclo ideal saturado. Se basa en un cierto número de suposiciones simplificadoras; que son: que no hay sobrecalentamiento del vapor ni subenfriamiento del líquido; que no hay pérdidas de presión, excepto en el dispositivo de expansión y que no hay más flujos térmicos que los que ocurren en el evaporador y en el condensador y la compresión es termodinámicamente reversible.

El concepto de ciclo ideal es valioso porque representa la aproximación más cercana a lo práctico que puede hacerse entre cualquier refrigerante real y el rendimiento teóricamente ideal del ciclo de Carnot.

Los ciclos reales de refrigeración difieren de los ideales en varios aspectos:

1. El sobrecalentamiento del gas de succión es normal en los ciclos reales. La cantidad varía ampliamente. Las líneas de succión no aisladas y los motores herméticos son dos fuentes mayores de sobrecalentamiento de succión.

2. Es normal cierto subenfriamiento en el refrigerante líquido. Algunas veces se emplean sub-enfriadores, especialmente con este objeto.

3. Las pérdidas de presión, aunque sean pequeñas, ocurren en todos los procesos con flujo, como parte necesaria del mismo.

4. Se produce un flujo de calor entre los tubos y el medio que lo rodea. Normalmente el flujo es pequeño, pero puede llegar a ser de consideración a temperaturas bajas del evaporador o en tramos largos de tubería.

5. La compresión real sólo se aproxima al proceso reversible. Por lo tanto, la compresión a entropía constante es una simplificación.

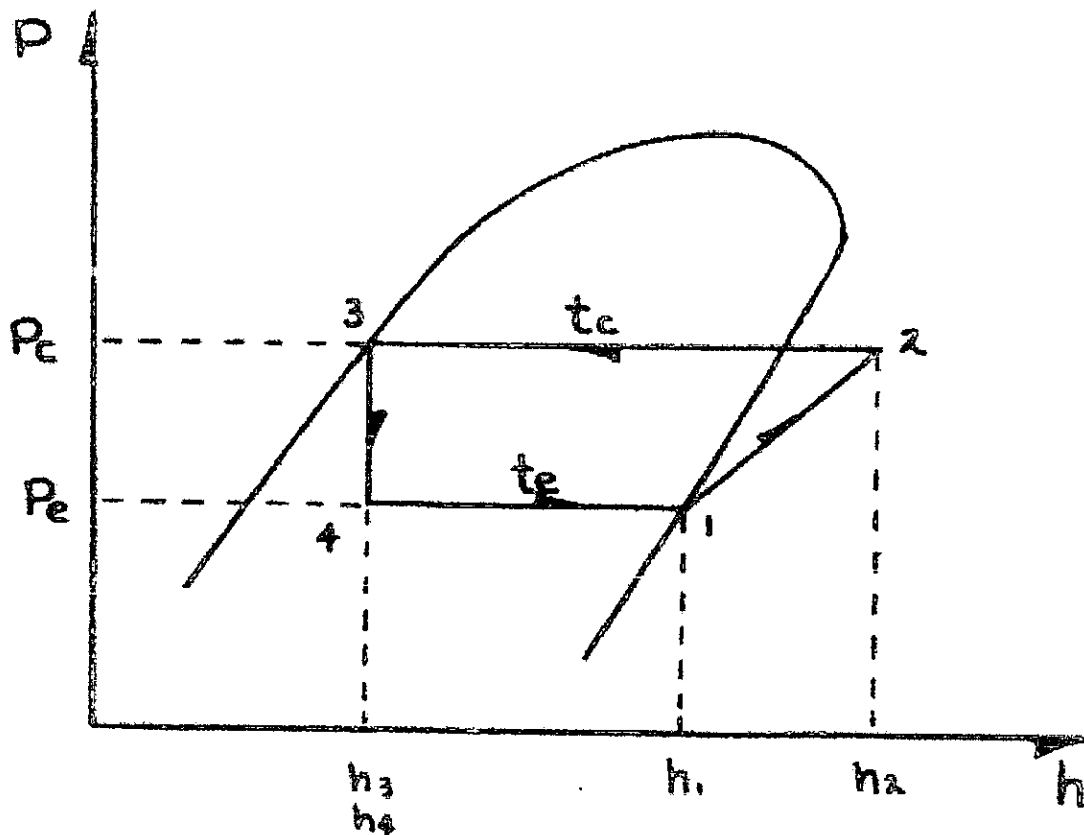
6. Los compresores reales requieren cierta holgura o tolerancia en los cilindros. El volumen de la holgura permite que parte del gas comprimido vuelva a expandirse. Ocurren pérdidas de presión cuando el vapor es obligado a salir a alta velocidad por las válvulas del compresor. Para vencer algunas de estas pérdidas internas, el compresor debe trabajar con presión interna ligeramente superior a la presión del condensador y ligeramente inferior a la presión del evaporador.

La medida en que se separan el ciclo real del ideal, varía. Algunas desviaciones como el sobrecalentamiento y el subenfriamiento pueden determinarse con facilidad y el diagrama puede ser regulado para mostrarlos.

Otras desviaciones son más difíciles de precisar. El equipo nunca es totalmente eficiente. Los compresores, por ejemplo, no bombean el 100% de su volumen de barrido o desplazamiento, por lo cual éste debe agrandarse para compensar la pérdida. Las exigencias de potencia del compresor serán más altas que las indicadas por el ciclo ideal debido a la irreversibilidad y las pérdidas por fricción en las partes mecánicas y en los vapores de refrigerante.

El ciclo ideal proporciona medios expeditos para determinar aproximadamente las condiciones de un ciclo de refrigeración. Sin embargo, las condiciones determinadas en esta forma representan una condición idealizada. Para una ilustración precisa de cualquier ciclo real, sería necesario determinar estas desviaciones y ajustarlas de manera que estén de acuerdo con el diagrama. Nótese cuál es el aspecto del ciclo cuando se incluyen las desviaciones mencionadas:

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:



EL EFECTO REFRIGERANTE. Es la cantidad de calor absorbida por unidad de masa de refrigerante y se obtiene por la diferencia de entalpías $h_1 - h_4$.

$$E. R. = h_1 - h_4 \text{ Btu/lbm.}$$

FLUJO MÁSICO DE REFRIGERANTE. Es la cantidad de refrigerante necesario para absorber la carga térmica Q.

$$m_o = Q / E. R. \text{ Lb / min.}$$

CALOR DE COMPRESIÓN. Es el calor absorbido por el refrigerante durante el proceso de compresión.

$$Q_{cm} = h_2 - h_1 \text{ Btu/lbm}$$

POTENCIA DEL COMPRESOR. Es la potencia requerida del compresor para ejecutar el trabajo de compresión.

$$\text{Pot} = m_o (h_2 - h_1) \text{ Watt}$$

CALOR DISIPADO EN EL CONDENSADOR. Es el calor que se libera al medio ambiente a través del condensador.

$$Q_{cd} = m (h_2 - h_3) \text{ Watt}$$

COEFICIENTE DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO. Es el indicador de la eficiencia de nuestro sistema de refrigeración, si el C. O. F. = 3 quiere decir que obtenemos el triple de la potencia suministrada en efecto refrigerante.

$$\text{C. O. F.} = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \text{ sin dimensión.}$$

COMPONENTES DEL REFRIGERADOR DOMÉSTICO

En este capítulo se hace un resumen de la evolución del refrigerador a lo largo de este siglo, se hace también un poco de historia sobre el origen de la refrigeración y se mencionan inventores y fabricantes de refrigeradores, así como las mejoras que fue teniendo el refrigerador doméstico a través de los años. Se analizan los componentes principales del refrigerador doméstico como son el compresor, evaporador, condensador y tubo capilar, los cuales forman el ciclo de refrigeración básica, acompañados de algún freón como fluido de trabajo. Finalmente se integran todos los componentes del refrigerador doméstico para generar así su ciclo de funcionamiento, se hace mención de algunos accesorios no menos importantes como son: el temporizador, las resistencias de deshielo y el intercambiador de calor, pero que no aparecen en el ciclo de refrigeración como parte de él.

CAPITULO 2. COMPONENTES DEL REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

Antes de comenzar a describir los componentes principales del refrigerador doméstico, daré una breve historia de cómo fue evolucionando el refrigerador doméstico.

2.1. EVOLUCIÓN DEL REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

En la historia de la preparación de comida rápida, se ha puesto especial interés en enmascarar el sabor rancio que adquieren las carnes y las verduras durante su transporte y almacenamiento. Aunque era bien conocido que las bajas temperaturas actúan como un preservativo de la comida, encontrar hielo era prácticamente imposible en ciertas situaciones y estaciones del año.

Se realizaron varios experimentos en los siglos XVIII y XIX que llevó al descubrimiento de ciertos principios que todavía están en uso hoy en día en el desarrollo de sistemas enfriamiento. A principios de 1700 el Dr. William Cullen, un escocés, estudió la evaporación de líquidos en el vacío y en 1810 (a. C.) Michael Faraday, un londinense, licuó amoníaco generando bajas temperaturas, esto llevó al desarrollo del compresor.

El Dr. John Gorrie, director del Hospital Marino americano en Apalachicola, Florida, patentó las primeras máquinas de hielos en América en 1851. Fue la primera máquina de refrigeración de aire frío. El Dr. Gorrie utilizó la máquina para refrescar a sus pacientes de paludismo y fiebre amarilla. David Boyle inventó el primer compresor de amoníaco práctico en 1872, el cual utilizó para producir hielo en su rancho en Tejas. Diez años después, las cervecerías, los restaurantes, y las plantas empacadoras de alimentos estarían utilizando la tecnología de la refrigeración a lo largo y ancho de los Estados Unidos.

El carro de ferrocarril refrigerado, introducido por Gustafus F. Swift en 1877, abrió el mercado nacional para las carnes y dio un importante empujón económico a la industria de la carne empacada, especialmente a la corporación Swift & Armour.

Durante las dos primeras décadas del siglo XX, la "nevera" dominó la refrigeración doméstica, ya que los obstáculos técnicos para desarrollar un refrigerador mecánico doméstico (pequeño) eran considerables.

El primer refrigerador doméstico que aparecer en el mercado americano se desarrolló en Francia. General Eléctrico comercializó la máquina "Audiffren", inventada por Abbé Audiffren, monje francés, de 1911 a 1928. La máquina

“Audiffren” usó el dióxido de azufre como refrigerante para enfriar la salmuera circulante en el sistema.



Empezando 1911, investigadores de GE en la Planta Winter Street en el Fuerte Wayne, Indiana, habían fabricado la primera unidad de refrigeración "herméticamente sellada" la cual fue incorporada en el modelo de Audiffren.

Los avances eléctricos desarrollados en el Fuerte Wayne, Nueva York (que se volvió una subsidiaria de GE en 1911), construyeron el refrigerador comercial tipo "Audiffren" hasta 1928. Estos modelos costaban aproximadamente \$1,000.00 dólares que eran dos veces el costo de un automóvil.

El “MONITOR TOP” fue el primer refrigerador residencial exitoso. Esta máquina creció fuera de los modelos con el molesto CO2 introducidos atrás en 1924 y 1925, el

“MONITOR TOP” había incorporado el sistema de refrigeración herméticamente sellado. Christian Steenstrup diseñó y agregó un nuevo cilindro oscilante a este modelo. El 1 de enero de 1927, se formó el Departamento de Refrigeración Eléctrica en GE.

Los modelos originales de 5 y 7 pies cúbicos de capacidad del GE “MONITOR TOP” traían el compresor sellado con lubricación forzada y una bobina de tubo montada encima del refrigerador que le permitía enfriarse por convección natural. Los modelos también ofrecían el primer gabinete de acero que hizo a los refrigeradores más durable y así, permitió a la compañía extender la garantía de 90 días a 5 años. En el primer año, el GE “MONITOR TOP” capturó el 7% del mercado de la refrigeración doméstica.

Steenstrup diseñó y construyó un refrigerador combinado en 1929 con un espacio para almacenar comida congelada que tenía su propio evaporador y puerta, y un espacio para almacenar comida fresca con su propio sistema de enfriamiento y puerta separada.

En 1928, Thomas Midgely, Hijo, científico en General Motors, dirigió sus investigaciones a los refrigerantes y descubrió el Freón 12, su aplicación masiva en la industria empezó en los años 30's.

General Electric hizo el primer descubrimiento importante en los refrigeradores aislados en 1931 con el desarrollo y producción del "aislamiento térmico", que redujo el peso de los materiales aislantes usados en los refrigeradores de doce libras por pie cúbico a dos y media libras. También redujo las fugas de calor en los gabinetes en un quince por ciento. Durante años los competidores de GE pagaron los derechos de autor para usar la tecnología del "aislamiento térmico".

En 1933, GE incorporó las primeras parrillas ajustables en los refrigeradores y Crosley presentó el modelo "Shelvador" que ofrecía anaqueles en la puerta. Debido a que Crosley poseía la patente, otras compañías no podían emular esta innovación hasta que la patente expirara en 1950.

En 1911, A. Myers, A. Singrun, Abbé Audiffren, inventor del refrigerador eléctrico y James Wood gestionaron para GE la fabricación del refrigerador Audiffren en el Fuerte Wayne, Indiana, y en 1935, GE inicia la tendencia hacia las esquinas redondeadas, y en 1937 los refrigeradores GE ya lucían con apariencias modernas.

En 1940, Hotpoint produce el popular refrigerador Duplex, desafortunadamente fue muy ancho para la mayoría de las cocinas y demasiado caro para la mayoría de los bolsillos. El primer refrigerador de la post guerra se produjo en la línea de ensamble de la planta de Erie, Nueva York en 1946, y un año mas tarde produjo el primer refrigerador-congelador de dos puertas. En esta unidad de 7.5 pies cúbicos de capacidad, el compartimiento del congelador mantuvo alimentos congelados entre 0 y 10 °F, mientras la sección del refrigerador mantuvo una temperatura de aproximadamente 38 °F para el almacenamiento de comida fresca.

El refrigerador se volvió el producto más popular del país, y por 1950, se encontraba en mas del 90% de las casas en los Estados Unidos de América. A principio de los años 50's hasta las grandes compañías se hundían con el trabajo burocrático. GE no era ninguna excepción. Por ejemplo, figurando en la nómina 9,600 empleados pagados por hora de trabajo, la mayoría de los cuales estaban a destajo, lo cual implicaba un inmenso quehacer, había la necesidad de generar tecnología que solucionara estas necesidades.

El 13 de noviembre de 1953, la GE puso a la computadora UNIVAC frente a su primera aplicación industrial. En ese momento, sólo existían seis computadoras de ese tipo, cinco pertenecían al gobierno federal. La computadora UNIVAC era mayor que la mitad de una sala de juntas de 80 m², la máquina automáticamente calculaba el pago de cada obrero, computaba su pago neto después de deducir y detener el impuesto, seguro social, deducciones de jubilación, y compras a crédito. La computadora UNIVAC se arrendó de la Corporación Rémington Rand, y

después de que fue instalada, tomó a la computadora ocho horas para completar automáticamente el cálculo de los sueldos de los 9,600 empleado.

1956, año en que GE promociona el refrigerador con puertas de sello magnético, refrigerador arriba y congelador abajo.

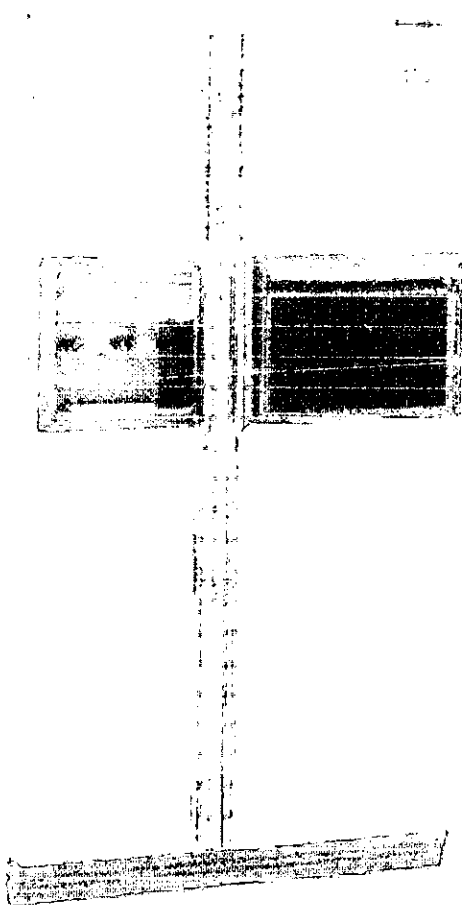
1965, año de lanzamiento del refrigerador con el revolucionario sistema de deshielo llamado "Mobil Cold".

1967, año en que el refrigerador Duplex era el producto mas completo de General Electric.

1969 año en el que el refrigerador cuenta con un despachador de hielos, agua fría y caliente a través de la puerta.

1971, Año en que se consolida la producción masiva de refrigeradores.

Comparativo entre los modelos de refrigeradores de los años 1927 y 1973



1974, año en el que se produjo el refrigerador 20 millones.

1975 año en que se introduce el despachador de hielo a través de la puerta en el refrigerador de dos puertas. Las modernas cocinas integrales contaban con el refrigerador Duplex en 1976.

POLK BROS. Y GENERAL ELECTRIC celebran los 50 años de la refrigeración eléctrica en 1977. En el cincuentenario de la refrigeración se introdujeron al mercado modelos con colores almendra y ónix.

En 1985 se introduce el "compartimiento refrescante" en los refrigeradores Duplex, y en 1986 se lanza al mercado el primer refrigerador con controles electrónicos.

En el año 2001 la modernidad y el lujo están presentes en los diseños de los

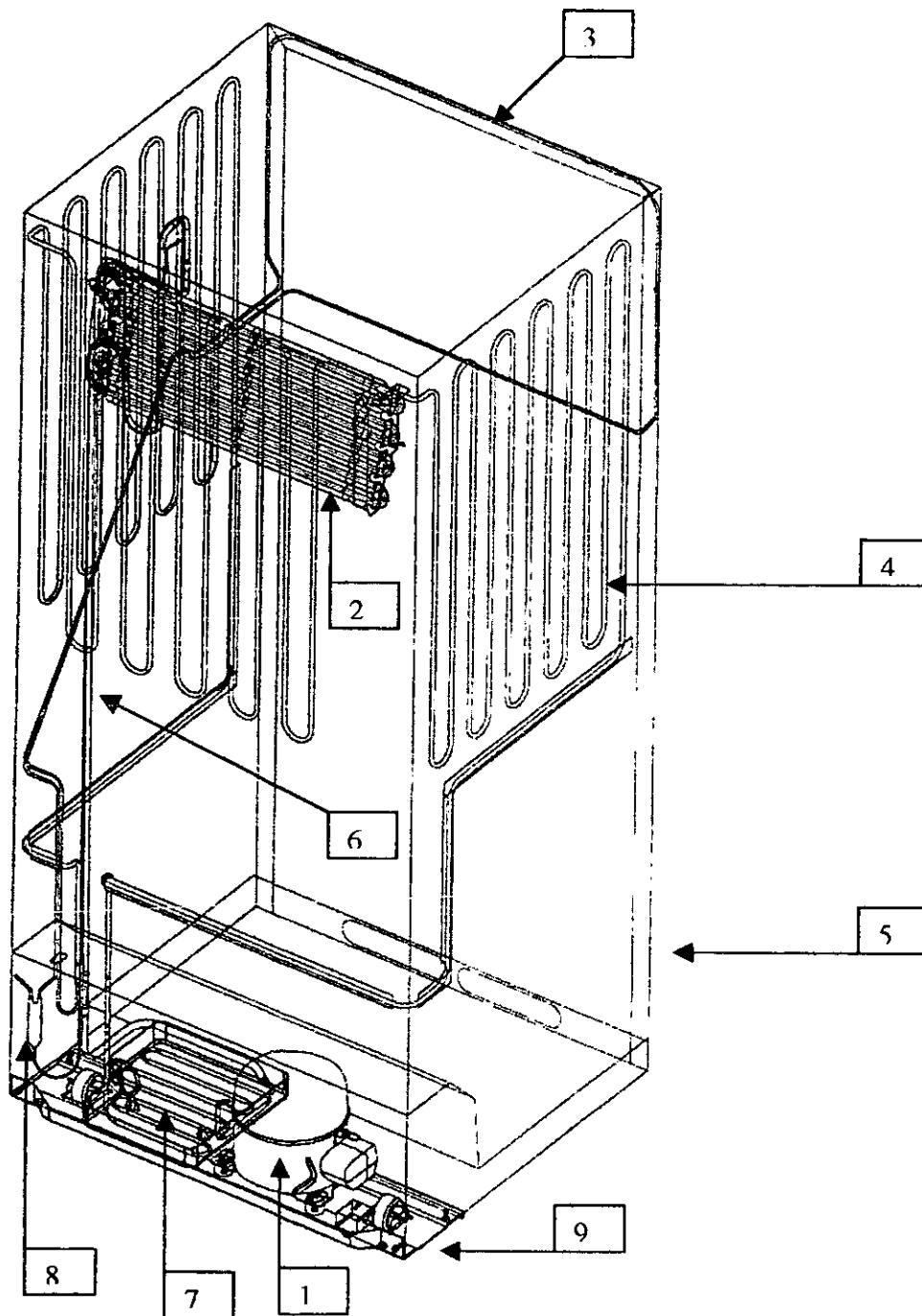
refrigeradores Duplex.

En el Anexo existe una sección de FOTOGRAFÍAS que muestran los modelos de refrigeradores domésticos correspondientes al año de su fabricación.

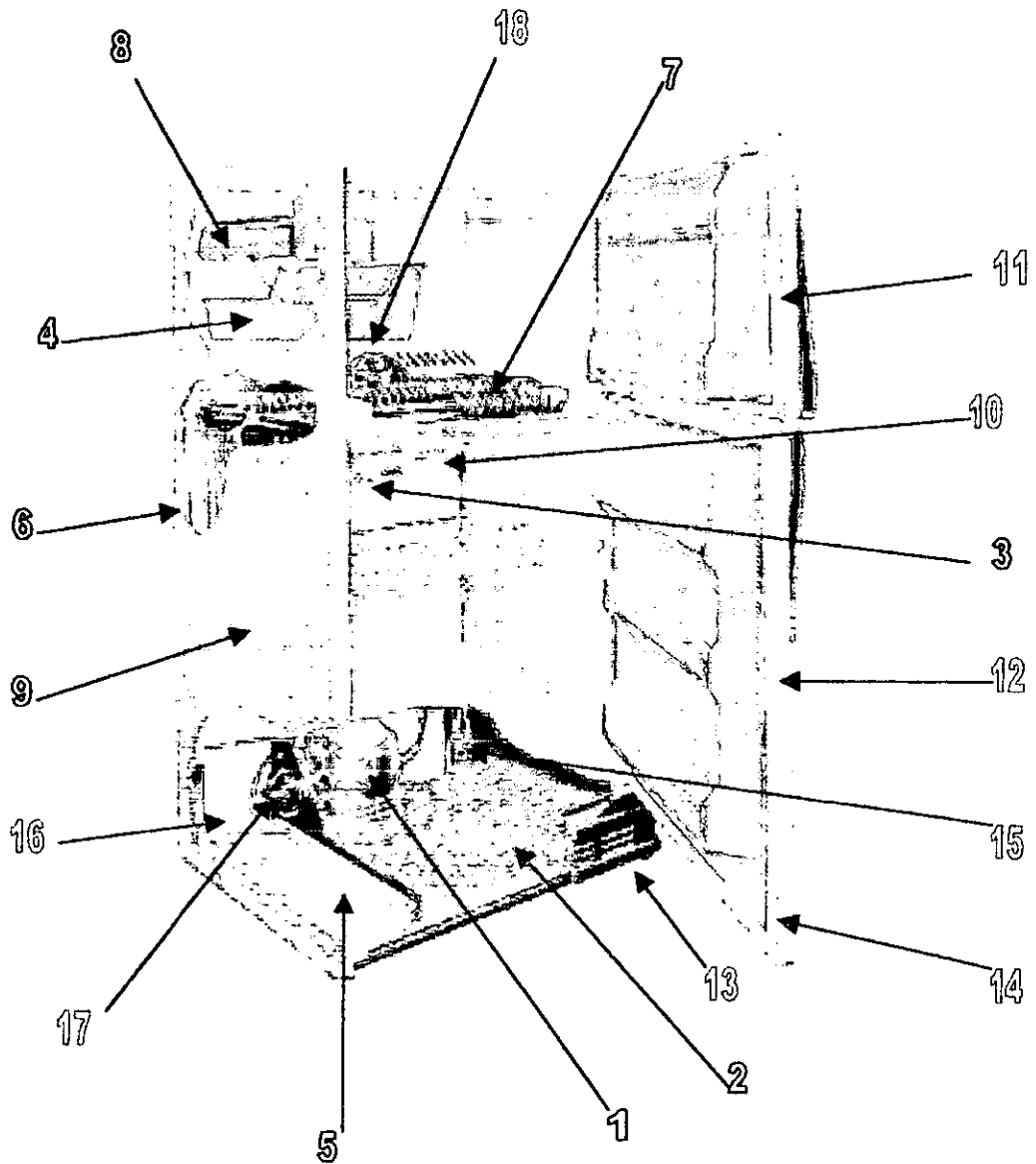
2.2. COMPONENTES DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA SON:

- | | | |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1. - Compresor. | 2. - Evaporador. | 3. - Tubo marco. |
| 4. - Condensador. | 5. - Gabinete. | 6. - Línea de succión |
| 7. - Charola de deshielo. | 8. - Filtro deshidratador. | 9. - Soporte compresor. |

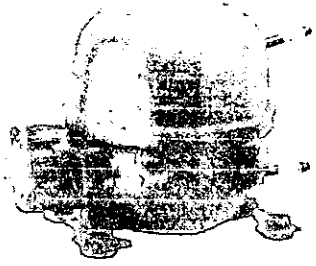


PARTES COMPONENTES DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO DE DOS PUERTAS.



- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Compresor. | 10. Luz interior. |
| 2. Condensador. | 11. Puerta del congelador. |
| 3. Control temperatura. | 12. Puerta del refrigerador. |
| 4. Charola de la fábrica de hielos. | 13. Rejillas de ventilación. |
| 5. Charola del condensado. | 14. Sello magnético. |
| 6. Espuma aislante. | 15. Temporizador "timer". |
| 7. Evaporador. | 16. Tubo drenaje del condensado. |
| 8. Fábrica de hielos. | 17. Ventilador del condensador. |
| 9. Gabinete. | 18. Ventilador del evaporador. |

2.2.1. EL COMPRESOR:



Este dispositivo es uno de los componentes más importantes del sistema de refrigeración ya que es el encargado de realizar el trabajo de compresión, existen diferentes modelos de compresor según la capacidad frigorífica del refrigerador.

Para una máxima eficiencia, las características de un compresor y el sistema de refrigeración tienen que estar bien combinadas.

Debido a que la capacidad refrigerante de un compresor depende de la temperatura de operación, presión y el método de enfriamiento del compresor, es esencial, para un compresor el contribuir al balance del sistema. En otras palabras, no hay un compresor que pueda ser el mejor ó más adecuado para cualquier sistema. La capacidad de un sistema no necesariamente se incrementa junto con el incremento de la capacidad del compresor. Por el contrario, un compresor inadecuado puede resultar en una operación no económica e ineficiente.

Selección de un compresor específico.



Para seleccionar un modelo específico de compresor, primero se verifica que el sistema de refrigeración requiere un compresor de baja presión de retorno, al analizar las especificaciones de compresores,

se debe prestar especial atención a los siguientes puntos:

- Rendimiento.
- Capacidad de refrigeración.

El rendimiento y la capacidad de refrigeración son determinados por el balance del refrigerante circulando en el compresor y la cantidad de calor intercambiada entre el condensador y el evaporador en el sistema de refrigeración.

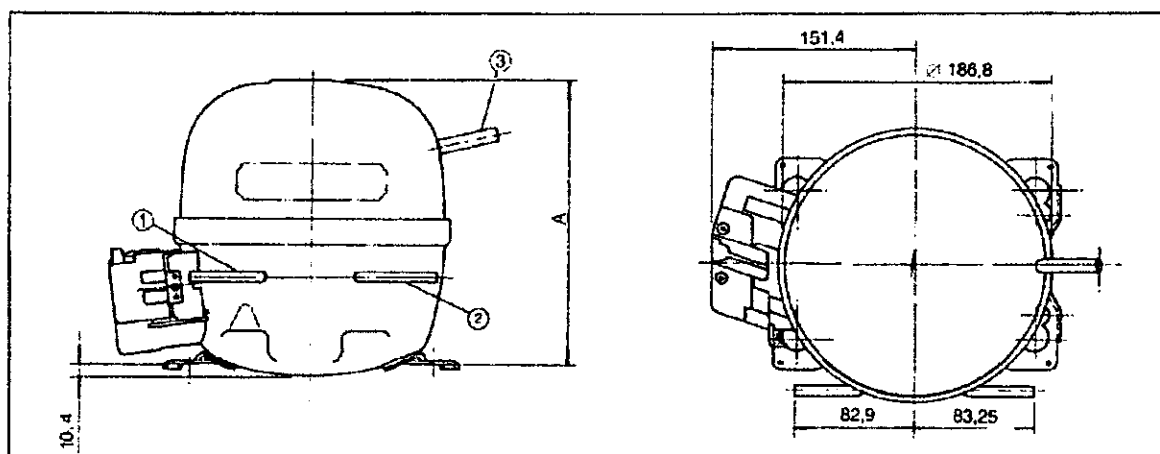
Por lo tanto, el valor preciso de la capacidad de refrigeración sola puede ser determinado probando cada sistema de refrigeración.

La siguiente tabla muestra modelos de compresores Tecumseh de baja presión de retorno y algunas de sus características principales:

MODELO DE COMPRESOR	GAS REFRIGERANTE	TORQUE DE ARRANQUE	REFER. COMERC. (HP)	DESPLAZAMIENTO (cm ³ /rev.)	TIPO DE MOTOR	ENFRIAMIENTO DEL CONDENS.	PESO NETO (kg)	CARGA DE ACEITE (cm ³)	CAPACIDAD NOMINAL			
									60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz
TP 1370 AS	R-12	NORMAL	1/5	5,14	PTCSIR	N	10,5	270	710	610	179	154
TP 1375 AS	R-12		1/5	5,65					780	670	197	169
TP 1390 AS	R-12		1/4	6,53					920	790	232	199
TP 1410 AS	R-12		1/3	7,28					1050	900	264	227
TP 1412 AS	R-12		1/3	8,37					1170	1003	295	253
TP 1360 YS	R-134a		1/5	5,14					620	500	156	126
TP 1370 YS	R-134a		1/5	5,65					710	580	179	146
TP 1380 YS	R-134a		1/4	6,53					825	673	208	170
TP 1390 YS	R-134a		1/3	7,28					920	750	232	189
TP 1410 YS	R-134a		1/3	8,37					1100	900	278	227

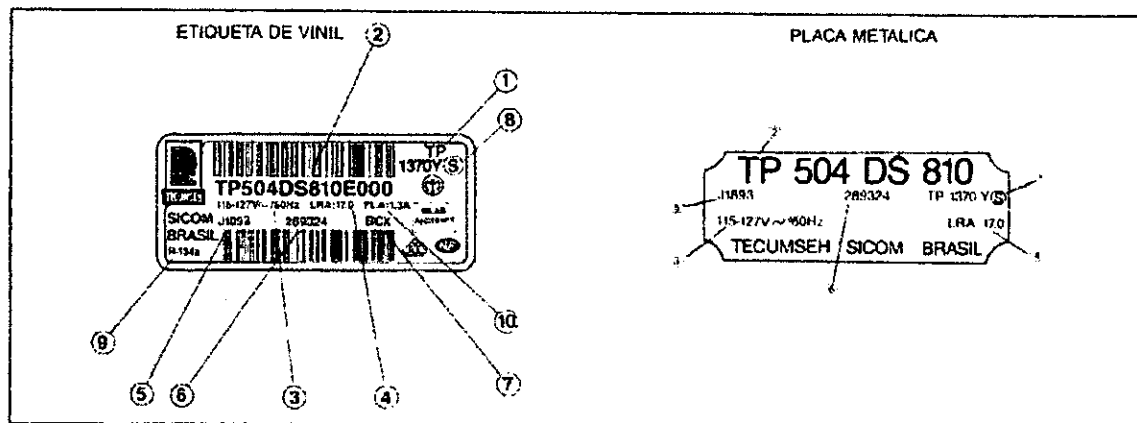
El tipo de aceite que usa el compresor para R-12 es el Alquibenceno y para R134a es el Poliol Ester.

Dimensiones del compresor.



Altura del compresor. 1. Tubo de servicio. 2. Tubo de descarga. 3. Tubo de succión.

Identificación de los datos del compresor.



1. - Modelo T P 1 3 70 Y S
 a b c d e f

a - Familia del compresor (T P)

b - Aplicación

(1) Baja presión de evaporación (L B P) torque normal

c - Número de dígitos de la capacidad frigorífica (Btu / h 60 Hz.)

d - Capacidad frigorífica reducida a dos números significativos

e - Gas refrigerante

A, B, C, D R-12

E, F, G, H R-22

J, K, L R-502

V, W R-12 (alta eficiencia)

Y R-134a

f - La letra "S" en el modelo significa compresor no sometido a U. L. Underwriter's Laboratories.

2. Código de la lista de materiales: Identifica los componentes usados. Cada modelo es producido con varios códigos de la lista de materiales.

3. Tensión y frecuencia: (ver tabla de códigos de tensiones)

4. L R A (corriente de rotor trabado)

5. Fecha de fabricación J 18 93
 a b c

a.- mes b.- día c.- año

CÓDIGO PARA EL MES DE FABRICACIÓN

A enero	G julio
B febrero	H agosto
C marzo	J septiembre
D abril	K octubre
E mayo	L noviembre
F junio	M diciembre

6. Número de serie

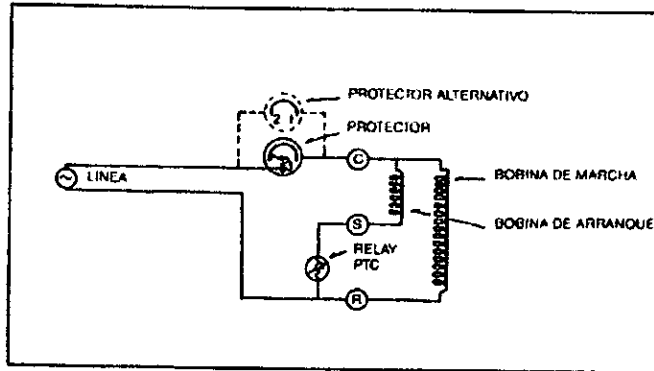
7. Local de fabricación, datos del motor y turno de fabricación

8. La letra "S" en el modelo significa compresor no sometido a U. L. (Underwriter's Laboratories)

9. Gas refrigerante aprobado para ser utilizado en el compresor.

10. F L A (corriente nominal)
Diagramas eléctricos.

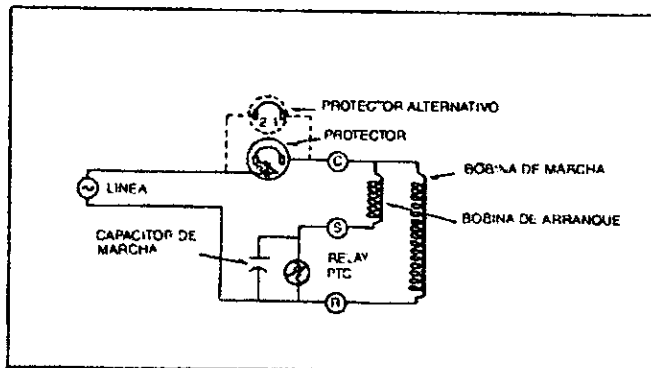
COMPRESOR CON MOTOR PTCSIR.



Arranque por resistencia y funcionamiento por inducción. Posee torque normal de arranque.

Utiliza un relevador amperimétrico, recomendado para aplicación con sistemas con elemento de control de flujo de refrigerante por tubo capilar, con presiones equilibradas antes del arranque.

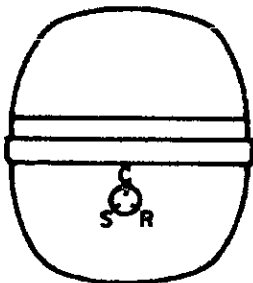
COMPRESOR CON MOTOR PTCSCR.



Arranque por resistencia a través del relevador PTC y funcionamiento semejante al motor PSC, posee un torque de arranque normal.

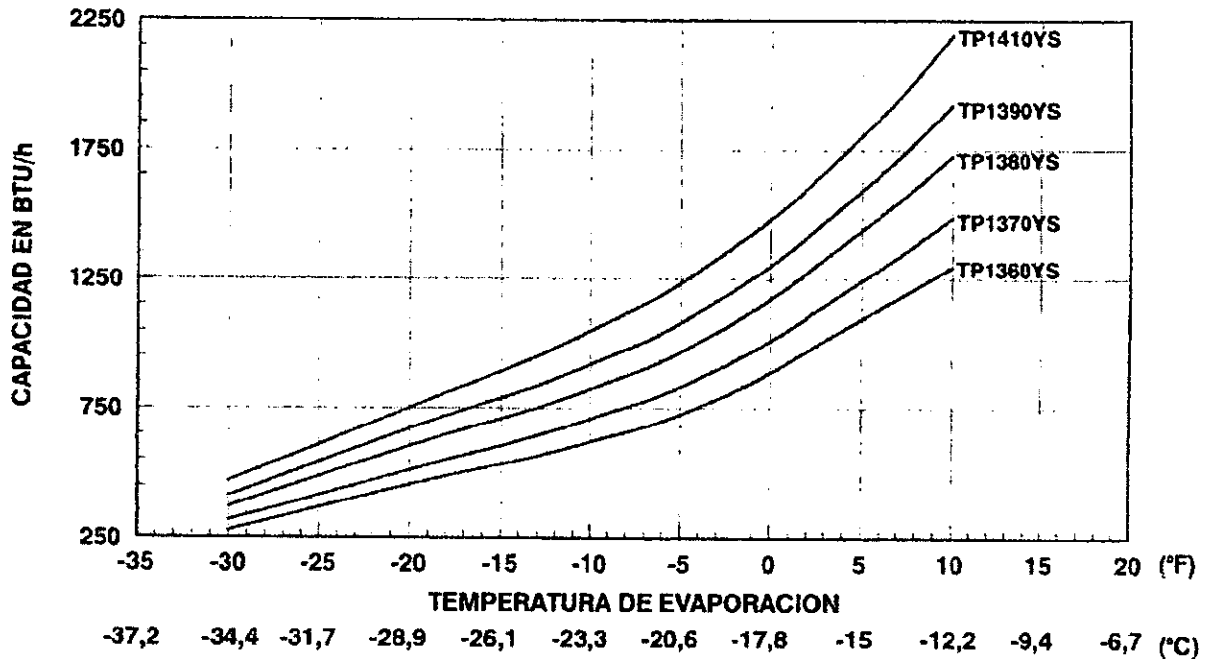
Después del arranque, el capacitor permanecerá en serie con la bobina de arranque.

Disposición de las terminales.



C = COMÚN.
S = ARRANQUE.
R = MARCHA.

CURVA DE DESEMPEÑO:



2.2.2. EL EVAPORADOR.

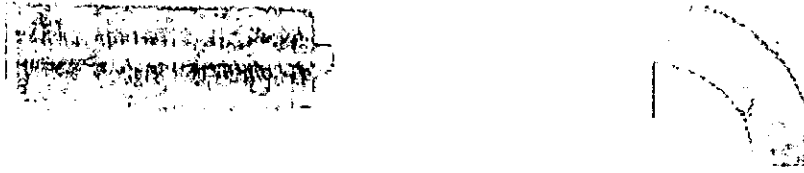


Un evaporador es un dispositivo para evaporar el refrigerante y absorber el calor del sistema de refrigeración. El tipo básico de evaporador que se utiliza en un refrigerador doméstico es el de expansión directa, también son llamados serpentines de tipo mixto, ya que dentro de él está el refrigerante en dos estados líquido y gaseoso, es decir, ni está seco ni completamente inundado.

En condiciones normales de operación, el 95 % del evaporador está lleno de líquido. El ciclo de refrigeración comienza en el orificio de salida del tubo capilar, al pasar por este orificio, el refrigerante se expande y entra a la línea de conexión del evaporador que es de un diámetro mayor. El cambio de presión origina que aproximadamente la tercera parte del refrigerante se convierta de inmediato en vapor.

El refrigerante que queda se deja hervir. Si se aumenta la relación de compresión, o sea, la relación de la presión de carga absoluta sobre la presión de succión absoluta, aumenta la proporción de refrigerante que se convierte de inmediato en vapor. El refrigerante no puede estar en forma de líquido a una temperatura superior a la que le correspondiente a la presión de saturación (ebullición); por lo cual algo del líquido se convertirá en vapor.

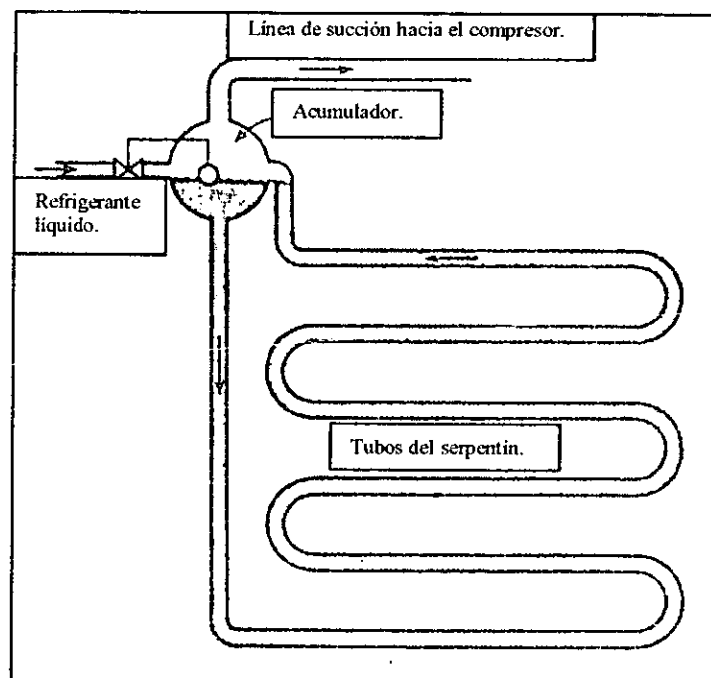
Esto hará que el líquido restante se enfríe hasta alcanzar la condición de presión-temperatura del evaporador controlado por el compresor.



El evaporador de un refrigerador doméstico generalmente es fabricado de tubo de aluminio y puede tener aletas de diferentes formas, circulares, cuadradas, rectangulares o de espigas como se muestra en las figuras de arriba.

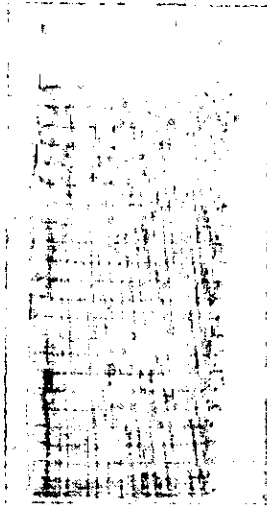
Los evaporadores se pueden clasificar como de convección forzada o natural dependiendo si el aire que pasa a través del evaporador es forzado por un ventilador o simplemente circula naturalmente por diferencia de densidades entre el aire frío y el caliente. Otra forma de clasificar a los evaporadores es si el refrigerante hierve dentro o fuera de los tubos.

Algunos evaporadores contienen el refrigerante dentro de los tubos y el fluido a enfriar circula por fuera de los tubos, otros evaporadores contienen el refrigerante en una concha y los tubos inmersos en el refrigerante transportan al fluido a enfriar.



En esta figura se muestra un evaporador inundado por el refrigerante, todos sus tubos e incluso parte del acumulador están ocupados por refrigerante líquido. En el tubo de succión se aprecia que retorna gas hacia el compresor.

2.2.3. EL CONDENSADOR.



Un condensador para un refrigerador doméstico es un dispositivo generalmente fabricado de tubos y alambres de hierro pintados de color negro, es diseñados para disipar calor a un medio circundante por medio de convección natural, o forzada, cuando se emplea un ventilador eléctrico para dicho fin.

El condensador tiene dos propósitos:

1. Disipar el calor del sistema en el medio ambiente.
2. Condensar el vapor de refrigerante, convirtiéndolo en líquido nuevamente para volver a usarlo en el evaporador.

La Delta t (Δt), en un condensador enfriado por aire, el intervalo de temperaturas entre el condensador y el medio ambiente debe ser apropiado, generalmente es de 17°C , la temperatura del condensador es la temperatura de condensación del refrigerante.

Cuando se revisa la lectura en el manómetro del lado de alta de una unidad con condensador enfriado por aire, lo primero que se verifica es la temperatura ambiente y se agregan 17°C para encontrar la temperatura de condensación esperada. Luego se convierte la temperatura de condensación en presión usando una carta de presión-temperatura.

La temperatura de condensación máxima no debe exceder 49°C . La eficiencia disminuye con temperaturas más altas. A veces se usa un condensador sobredimensionado para balancear la emisión de calor del compresor.

El condensador desecha aproximadamente 25% más de calor del que absorbe el evaporador dentro del sistema. Por lo tanto, el desprendimiento total de calor es igual a la carga del evaporador en Btu/hr más el calor de compresión "25%". El calor de compresión representa el trabajo hecho al comprimir el gas de succión a baja temperatura y baja presión convirtiéndolo en vapor sobrecalentado, a alta presión y alta temperatura.

Para calcular el calor de compresión en Btu/hr, primero se encuentra la corriente que consume el motor. Luego se multiplican los amperes por el voltaje para encontrar los watts "capacidad de trabajo por hora". Un Watt (w.) es equivalente a 3.412 Btu/hr y 1 HP es la potencia de 746 W. Por lo tanto, la fórmula para encontrar el calor ocasionado por la compresión es:

$$\text{HP} = (746) (3.412) \text{ Btu/hr} \quad \text{Btu} = 0.000393 \text{ HP-hr}$$

El refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado a alta presión. Su temperatura es de 15 a 20 grados mayor que la temperatura de condensación, normalmente la primera hilera de los serpentines remueve el calor de sobrecalentamiento, los serpentines restantes tienen la misma temperatura debido a que están disipando el calor latente de condensación.

A veces, la última hilera de los serpentines puede sub-enfriar el refrigerante líquido. Sub-enfriar es hacer bajar la temperatura del líquido por abajo de la temperatura de condensación.

LA PRESIÓN DE CARGA ALTA.

Si el condensador está sucio, es demasiado pequeño o sustancias no condensables se mezclan con el refrigerante en el sistema, los resultados pueden ser:

- Presión de carga alta
- Pérdida de eficiencia
- Aumento de la potencia requerida para hacer girar el compresor
- El refrigerante no se condensa completamente.

Para determinar si el sistema tiene aire, hay que permitir que la presión del lado de alta descienda hasta la temperatura del medio. La lectura del lado de alta debe compararse con la referencia de la carta de presión-temperatura. Una presión más alta indica la presencia de sustancias no condensables normalmente, aire.

LA PRESIÓN DE CARGA BAJA.

Por otro lado, una presión baja produce:

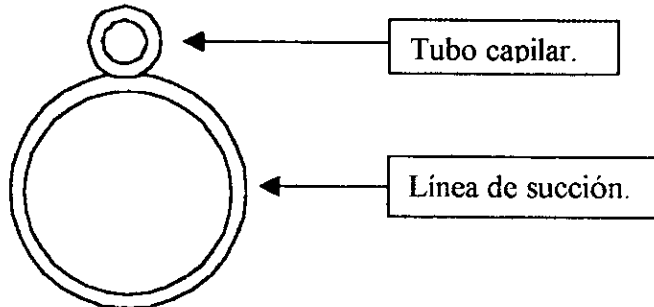
- Velocidad insuficiente del refrigerante que se mueve a través del sistema para mezclarse con el aceite
- Una presión de carga baja no proporcionará la caída suficiente de presión a través del tubo capilar, por lo cual sólo se podrá contar con una cantidad insuficiente de refrigerante para alimentar el evaporador, hecho que producirá una falta de enfriamiento.

2.2.4. FILTRO DESHIDRATADOR.

El filtro deshidratador es un dispositivo que se encarga de absorber la humedad que durante el proceso de evacuación haya quedado dentro del sistema además de los sólidos u algún otro agente extraño al sistema, su forma es como de una salchicha con una entrada con reducción a la medida del tubo capilar en un extremo y con dos salidas de ¼ de pulgada de \varnothing_{in} en el otro, dicha salchicha se encuentra llena de un material desecante, generalmente sílice granulada, su

localización es al final del condensador y antes del tubo capilar con el fin de garantizar que no entren objetos extraños y obstruyan o reduzcan el δ_{in} del tubo capilar.

2.2.5. INTERCAMBIADOR DE CALOR.



PERFIL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

El intercambiador de calor está formado por dos componentes del sistema de refrigeración, el tubo capilar y la línea de succión, los cuales se encuentran unidos por soldadura de estaño para incrementar el flujo de calor entre ambos. El refrigerante caliente que va por el tubo capilar cede calor al refrigerante frío que va por la línea de succión, ambos fluyen en sentido contrario ya que el contra flujo es más eficiente que el flujo paralelo en la transferencia de calor. El intercambiador de calor se representa en el ciclo de refrigeración, como el subenfriamiento del refrigerante antes de entrar al evaporador, y, como el sobrecalentamiento del refrigerante antes de entrar al compresor.

El tubo capilar es el dispositivo de control empleado más comúnmente para los refrigeradores domésticos, en las unidades de aire acondicionado de pared y en las unidades paquete variando en capacidad hasta las 20 toneladas. La razón de su popularidad es su bajo costo.

El tubo capilar consiste simplemente en un tubo de cobre de cierta longitud que tiene un pequeño diámetro interior. El tamaño del diámetro interior varía de 0.026 pulgadas (0.66 mm) para un compresor de 200 Btu / h, hasta 0.085 pulgadas (2.159 mm) para un compresor de 20 000 Btu / h.

La longitud del tubo capilar es tan importante como su diámetro. Si un tubo con cierto diámetro se sustituyera por otro de un diámetro menor, el tubo con diámetro mayor debería ser más largo para proporcionar la misma restricción.

Un refrigerador con tubo capilar debe tener la carga apropiada de refrigerante para un día templado. Por lo tanto, en un día caliente la unidad queda un poco escasa de refrigerante a causa de la carga crítica. Si se pone una carga adicional de

refrigerante en un día templado, no todo el refrigerante entra en ebullición en el evaporador, por lo cual el líquido perjudicaría al compresor. Esto puede originar que el compresor se arruine por completo.

Prácticamente, todos los refrigeradores domésticos y las pequeñas unidades de aire acondicionado usan un tubo capilar. Los tubos capilares permiten igualar las presiones del lado de alta y del lado de baja durante los periodos en que la unidad reposa, lo que permite usar un motor de compresor con bajo par de arranque.

La carga de refrigerante es crítica con un tubo capilar, por lo tanto con frecuencia, el fabricante de la unidad indica la cantidad apropiada de carga en la placa del aparato. También recomienda que se deseche la carga anterior y se la sustituya por la cantidad apropiada de refrigerante, en lugar de agregar éste cuando la unidad tenga poca carga.

Se puede comprobar si un sistema con un tubo capilar tiene suficiente carga mediante diversas verificaciones:

La temperatura de condensación del lado de alta debe ser aproximadamente 17°C por arriba de la temperatura ambiente en el caso de un condensador enfriado por aire.

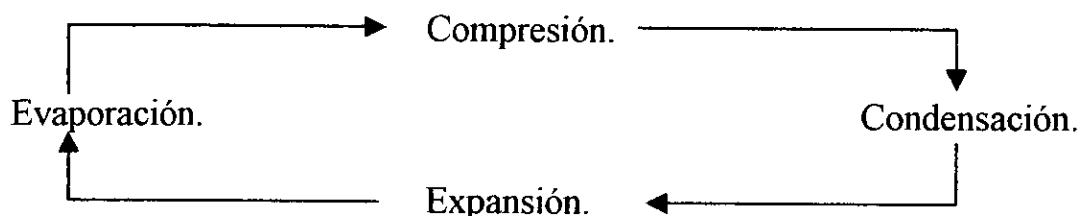
La línea de succión 15 cm después del evaporador no deberá tener una temperatura menor a la ambiental.

El evaporador debe presentar una temperatura uniforme en todo el evaporador.

La línea de succión está constituida por un tubo de cobre de diámetro exterior de $5/16$ a $1/2$ de pulgada y de 6 a 8 pies de largo, el cual conecta a la salida del evaporador y a la entrada del compresor.

2.3. FUNCIONAMIENTO DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

El ciclo de refrigeración se compone de los siguientes procesos:



Debido a que es un ciclo, podemos iniciar en cualquier proceso, el refrigerante que proviene del evaporador es comprimido por el compresor con el fin de elevar su temperatura y presión, de ahí pasa al condensador, donde la finalidad de éste es retirar al refrigerante el calor que le imprimió el compresor, el refrigerante cruza por el filtro deshidratador donde es “colado” de cualquier sólido o agente extraño al sistema, además de retener la humedad que pudiera existir en el refrigerante, posteriormente entra al tubo capilar ya condensado y a alta presión, para que a su salida se encuentre con un súbito cambio de presión lo cual hará que el refrigerante tienda a su estado original de acuerdo a la nueva presión, el cual es el estado gaseoso, para lograr esto, el refrigerante absorbe calor del evaporador, generando así el proceso de evaporación y la sensación de frío en el mismo para después, llegar nuevamente al compresor mediante la línea de succión e iniciar un nuevo ciclo.

Hace años, todos los refrigeradores tenían que ser descongelados manualmente, con el refrigerador apagado, se abría la puerta, y se permitía que la escarcha acumulada en el evaporador se derritiera. Cuando la escarcha se había derretido totalmente, se arrancaba nuevamente el refrigerador, todo ese proceso a quedado atrás hoy en día, hasta los refrigeradores menores cuentan con un sistema de deshielo automático. El sistema de deshielo automático tiene tres componentes principales: el temporizador, la resistencia y el termostato.

EL TEMPORIZADOR “TIMER”.

El temporizador es como un reloj, que avanza continuamente, 24 horas al día, cada 6, 8 o 12 horas el temporizador da vuelta a una leva apagando al sistema de enfriamiento del refrigerador y energiza a la resistencia de deshielo.

LA RESISTENCIA DE DESHIELO

La resistencia de deshielo es similar a las hornillas en una estufa eléctrica. Está situada apenas debajo del evaporador. La resistencia se calienta, y, por consiguiente, funde el hielo acumulado en el evaporador. El condensado que surge del derretimiento del hielo, cae en un canal y es conducido hasta la charola de evaporación situada en el fondo del refrigerador. El agua entonces es evaporada por el aire caliente que lanza el ventilador del compresor y condensador.

EL TERMOSTATO.

El termostato es un interruptor térmico normalmente abierto y que al alcanzar una temperatura específica se cierra, es decir, mientras el evaporador esté frío, el termostato estará cerrado, sólo si el evaporador está frío podrá el proceso de deshielo tener efecto, el proceso de deshielo termina después de que el evaporador

a alcanzado la temperatura de deshielo especificada o cuando el tiempo especificado en el temporizador ha transcurrido.

EL EVAPORADOR.

El evaporador está situado siempre en el interior del refrigerador, generalmente dentro del compartimiento del congelador. También se asemeja a un radiador. Cuando el refrigerante líquido sale del tubo capilar, y es inyectado en los tubos del evaporador causan una caída de presión. Esta caída de presión permite que el refrigerante se expanda nuevamente dentro de un estado gaseoso. Este cambio del estado del líquido al gaseoso absorbe calor.

El refrigerante líquido viaja a través de los tubos del evaporador, con forme avanza se va convirtiendo en vapor debido al calor que va absorbiendo, sale del evaporador y llega hasta abajo en el compresor para comenzar el proceso de la circulación otra vez. Debido a que el evaporador es calor absorbente, es muy frío al tacto, la frialdad hace que cualquier humedad en el aire se congele en el evaporador y de origen a la escarcha. El ventilador dentro del compartimiento del congelador hace circular el aire del refrigerador y congelador para mantener la constante de temperatura. El control de la temperatura se logra mediante un termostato que arranca o para al compresor. Éstos son generalmente dispositivos muy simples.

LAS PUERTAS DEL REFRIGERADOR.

Las puertas del refrigerador tienen un sello, una junta parecida a la goma pegada a la puerta. Generalmente blanca, almendra, negro o marrón, el trabajo del sello es guardar el aire fresco dentro del refrigerador y el aire del medio ambiente mantenerlo afuera. El sello se alinea con un imán, éste ayuda a sostener la puerta cerrada y a crear un sello justo.

En este capítulo se ha cubierto el objetivo particular referente a “Conocer los componentes principales de un refrigerador doméstico así como su funcionamiento”.

En el Anexo se encuentra un diagrama del sistema de refrigeración del prototipo así como su representación en el diagrama P-h.

SISTEMA TEMPORIZADO PARA EL DESHIELO CONVENCIONAL Y POR CONDUCCIÓN DEL EVAPORADOR

Se estudia en este capítulo el sistema de deshielo convencional de un refrigerador doméstico el cual es controlado por un temporizador, más conocido como "Timer", se analizan las características de sus componentes principales, el sistema de drenaje del condensado y su evaporación acompañan al sistema de deshielo y ambos completan lo que ahora se conoce como refrigerador de deshielo automático.

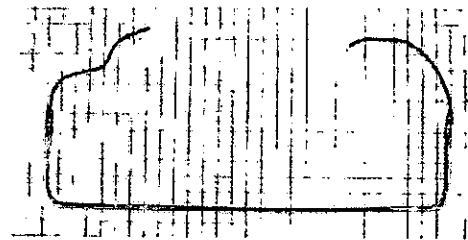
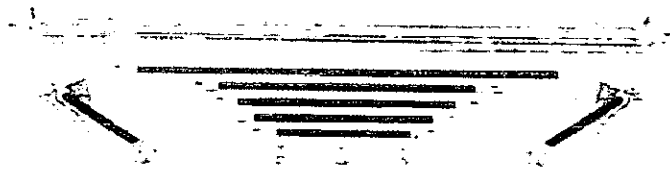
CAPÍTULO 3. - SISTEMA TEMPORIZADO PARA EL DESHIELO CONVENCIONAL Y POR CONDICIÓN DEL EVAPORADOR.

En este capítulo daré a conocer las diferencias que existen entre los dos sistemas de deshielo mostrando las características de cada uno de ellos.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA TIPO CAL-ROD DEL SISTEMA DE DESHIELO CONVENCIONAL.

Resistencia rígida cal-rod.

Resistencia	= 43 Ω
Tubo de acero de	= 70 cm de longitud.
Potencia	= 350 W
Diámetro exterior	= ¼ de pulgada
Terminales zapata macho	= 2 (una en cada extremo)
Aisladores eléctricos	= 2 (uno en cada extremo)
Voltaje	= 123 V.



3.2. RESISTENCIA RÍGIDA POR RADIACIÓN.

La resistencia eléctrica rígida tipo cal-rod que es utilizada en todos los refrigeradores domésticos en México para deshielar el evaporador, tiene una potencia mínima de 350 W, algunos refrigeradores llamados Duplex llegan a tener dos resistencias de las mismas características, o sea, que utilizan en el proceso de deshielo del evaporador una potencia de hasta 700 W, con una resistencia de 43 Ω y bajo un voltaje de 123 Voltios en promedio, tenemos una intensidad de:

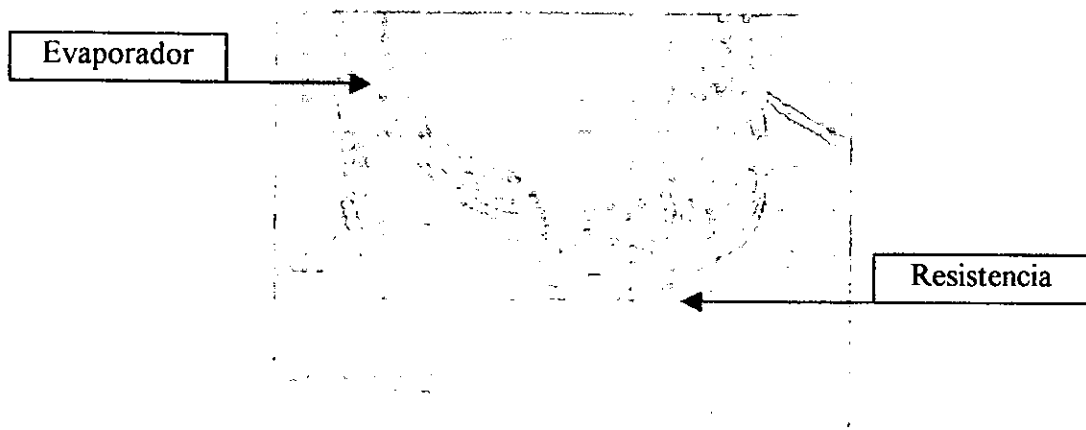
$$I = V/R_e = 123/43 \\ = 2.86 \text{ Ampere}$$

Si calculamos la potencia tenemos: $P = V I$

$$P = (123)(2.86) \\ P = 351.84 \text{ W}$$

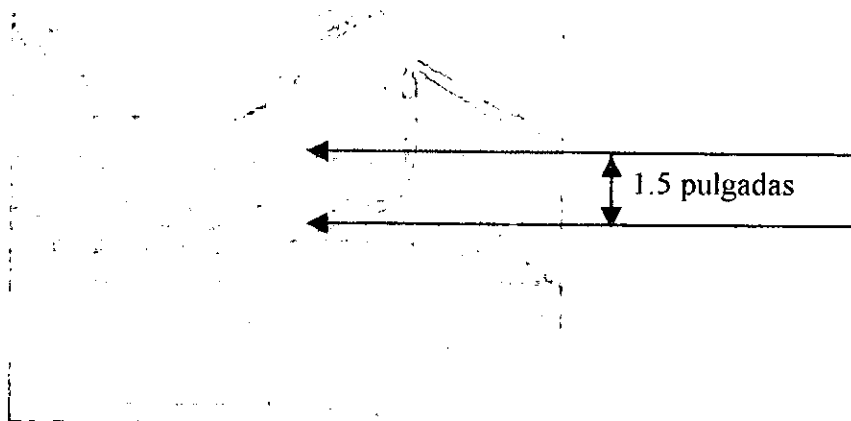
La resistencia esta encapsulada en arcilla o arena dentro de un tubo de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro interior, en sus extremos tiene terminales o zapatas eléctricas aisladas con anillos cerámicos, que evitan su contacto con el tubo de acero. Su geometría es de una U, ya que generalmente los evaporadores son rectangulares, y esta U alargada es la forma que más se ajusta a la geometría del evaporador, las hay mas corta o más largas, dependiendo de las dimensiones del evaporador.

La resistencia que se utiliza en el prototipo de esta tesis, conserva el mismo valor en potencia, solo que la geometría de la resistencia se modificó para ajustarse a la forma del evaporador, tal y como lo muestra la siguiente figura:



3.3. LOCALIZACIÓN DE LA RESISTENCIA RESPECTO AL EVAPORADOR.

La resistencia está situada abajo del evaporador aproximadamente a 1.5 pulgadas de separación como lo muestra la siguiente fotografía:



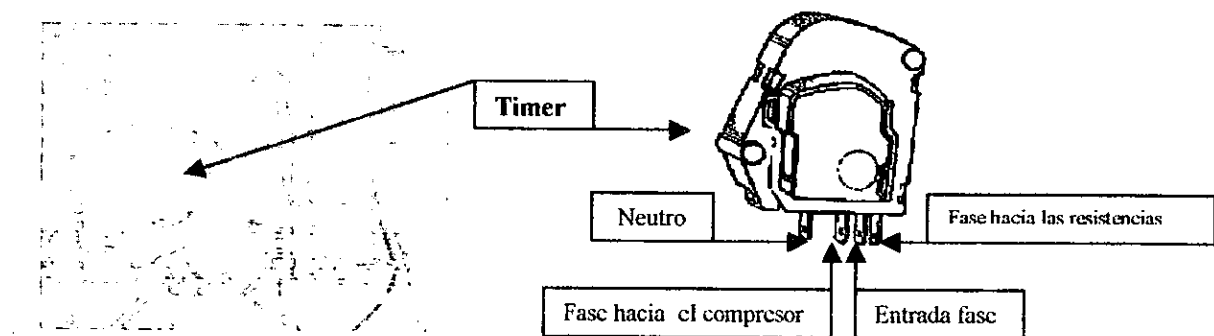
La resistencia cal-rod radia el calor por toda su superficie hacia todas direcciones incluso hacia aquellas en las que el calor no ayuda, al contrario perjudica, como son la base y respaldo del congelador, lugares en los que se hace

necesario adicionar una placa metálica protectora y a su vez reflectora del calor, un 75 % del calor total radiante se pierde o se mal emplea

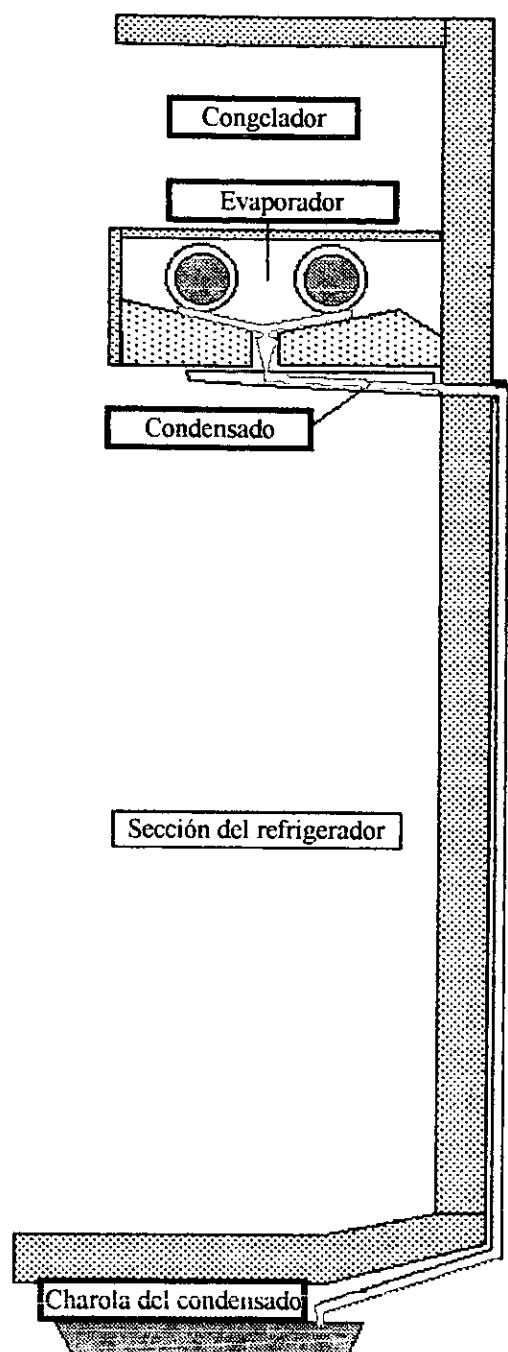
Una manera práctica e indirecta de calcular la cantidad de calor perdido, es cuantificando el calor necesario para fundir la escarcha que se forma en el evaporador, durante las 8 horas de trabajo del compresor, el calor que resulte se restará del consumo de energía a través de la toma de corriente durante los 40 minutos que dura el proceso de deshielo, la diferencia que resulte corresponderá al calor mal utilizado o desaprovechado durante el proceso de deshielo.

3.4. SISTEMA DE DRENAJE Y EVAPORACIÓN DEL CONDENSADO.

El temporizador o más conocido como "Timer", es una leva motorizada que activa y desactiva al compresor y al proceso de deshielo en un orden y lapsos de tiempo específicos, es un reloj que forma parte del circuito eléctrico del sistema de refrigeración, puede desactivar al compresor y activar el proceso de deshielo cada 8 o 12 horas de trabajo del compresor, según el refrigerador doméstico lo requiera, la siguiente figura muestra un timer típico.



El motor que mueve las levas internas del temporizador se energiza solamente cuando el compresor está trabajando, de esta manera contabiliza el tiempo de trabajo del compresor, cuenta con un par de platinos que se cierran o se abren por acción de las levas según se requiera, ya sea para activar o desactivar al compresor o para activar o desactivar el proceso de deshielo, dicho proceso tiene una duración de aproximadamente 20 minutos en promedio, ya éste varía según el tipo y capacidad del evaporador.



El sistema de drenaje en un refrigerador doméstico sirve para conducir el condensado, producto del proceso de deshielo en el evaporador, hacia una charola recolectora la cual es calentada por medio del condensador y que con la ventilación forzada se facilita la evaporación del condensado hacia la atmósfera.

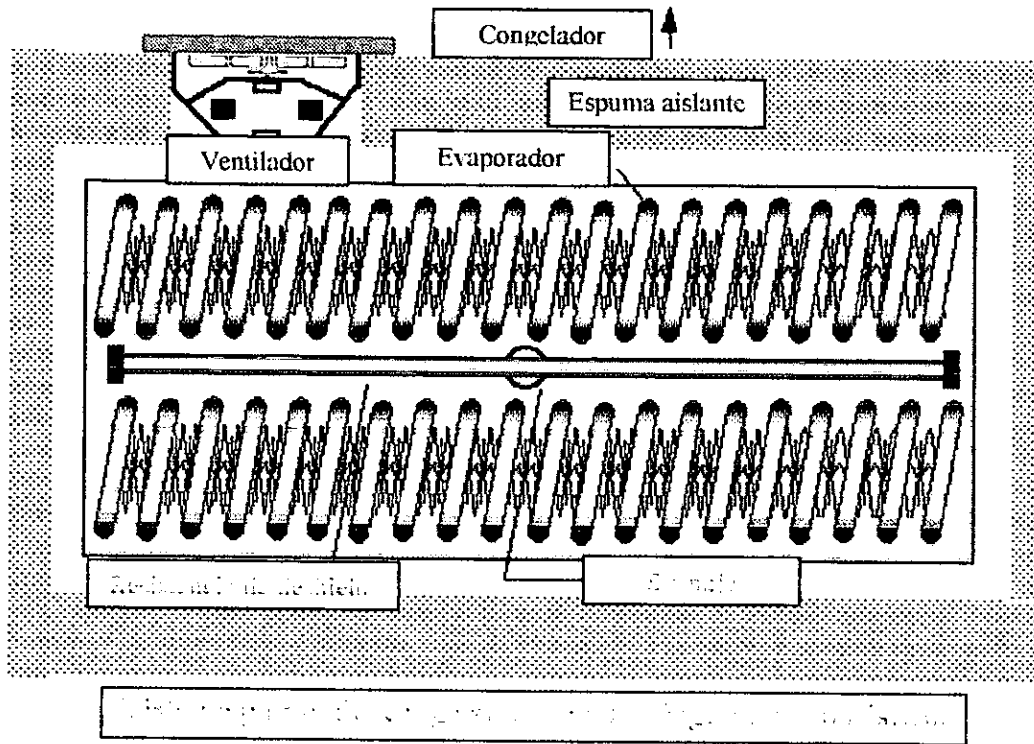
Parte del calor que radia la resistencia de deshielo sirve para mantener caliente el orificio que conecta con la tubería del drenaje, aunque en ocasiones es necesario la adición de una resistencia extra en este orificio, ya que cuando se desprende una porción grande de hielo ésta podría obstaculizar el flujo del condensado, una resistencia en dicho orificio ayudaría a fundir el hielo más rápidamente evitando que se tape el drenaje del condensado.

El aire caliente y húmedo que se incorpora a la sección del congelador cuando se abre la puerta se adhiere en la bobina del evaporador como escarcha.

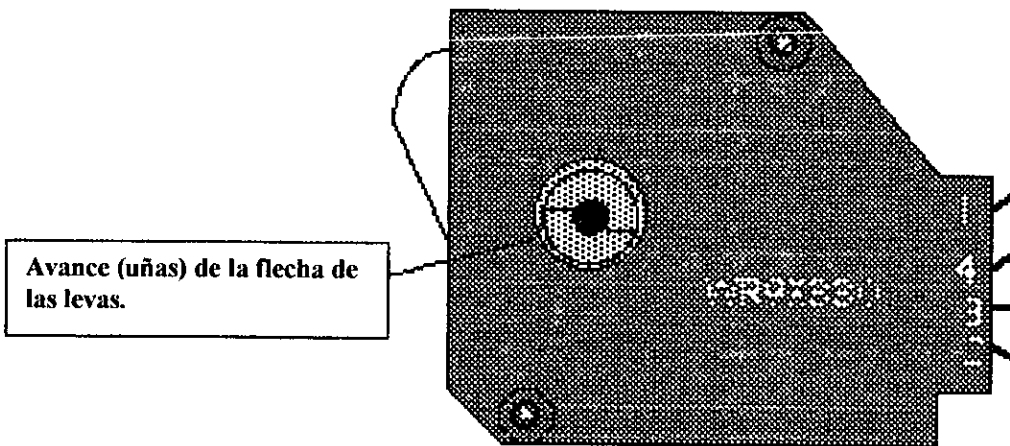
En unos días, esta acumulación de escarcha cubriría totalmente la sección del evaporador. Periódicamente el timer o temporizador desactiva al compresor y energiza a la resistencia de deshielo.

La resistencia de deshielo derrite la escarcha y el condensado se drena hacia abajo y se colecta en la charola del condensado abajo del refrigerador.

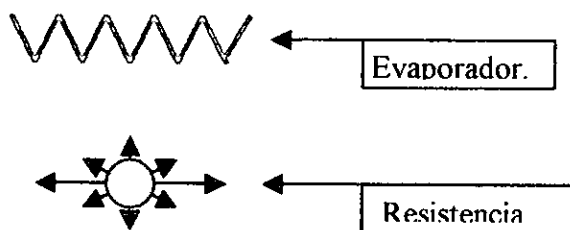
El timer en su parte posterior, cuenta con unas pequeñas uñas que se conectan directamente a la flecha de las levas, y que con la ayuda de un desarmador plano se pueden hacer girar en sentido horario, con el fin de adelantar el proceso de deshielo, esto sucede hasta que girando las uñas del timer se escuche un “clic”, esta acción desactivará al compresor y energizará a la resistencia de deshielo por 40 minutos.



Parte posterior del timer o temporizador.



La resistencia cal rod radia energía en todas direcciones, por lo que la energía que transfiere al medio ambiente no es aprovechada en su totalidad, se estima que el 75 % de la energía radiante se mal emplea en el caso específico del deshielo del evaporador.



Con la resistencia radiante se hace necesario adicionar algunos elementos de protección debido a que el calor que radia la resistencia en las direcciones en las que no se requiere, suele dañar las partes cercanas a la resistencia que comúnmente son de plástico, se hace necesario colocar un reflector del calor y una protección metálica en la pared del congelador para evitar que éste se queme y por consecuencia se daña el aparato.

La resistencia cal-rod alcanza aproximadamente una temperatura de 500 °C, con la cual a una distancia de 6 cm y durante el transcurso de 40 minutos es posible quemar la mayoría de las superficies plásticas por resistentes al calor que sean, el forro interior de los refrigeradores está hecho de poli-estireno alto impacto el cual se quema fácilmente, de hecho, a pesar de la placa metálica que los fabricantes de refrigeradores adicionan al forro para su protección, éste suele quemarse.

Un refrigerador de aproximadamente 1 año de uso normal tiene el área circundante a la resistencia de deshielo quemada o con ampollas y grietas debido a las exposiciones continuas a altas y bajas temperaturas, éste problema no es reportado por el consumidor debido a que no está a la vista, pero sí lo perjudica debido que la quema de este plástico es dañina para la salud además del mal olor que se impregna a los alimentos congelados y que se le atribuye a otras causas debido a que se ignora su origen.

La mayoría de los fabricantes de refrigeradores por naturaleza utilizan los medios y materiales más baratos para la construcción de sus productos, pensando en obtener así mayores utilidades sin importarles el impacto que esto origine en el bolsillo del consumidor y en el consumo de energía para el país.

Existen muy pocas firmas de fabricantes de refrigeradores que canalizan recursos a la investigación de nuevos métodos, técnicas o materiales que eleven la eficiencia de sus procesos, de hecho dicen que lo barato sale caro, y es verdad, porque lo que creen ahorrar en un sistema barato lo gastan (y en ocasiones más de lo que ahorran) en los aditamentos de protección, accidentes y en las llamadas de

servicio que se originan, además de la mala imagen que queda ante el consumidor, esto poco importa a algunos fabricantes de refrigeradores ya que para ellos de cualquier forma es negocio, pero lo que debe importarnos a todos es como afecta a la crisis de energía que hay en México, además del sustancial ahorro para nuestros bolsillos.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA FLEXIBLE.

Resistencia	= 600 Ω .
Cable forrado	= 2.5 m de longitud.
Potencia	= 25.215 W.
Diámetro exterior	= $\frac{1}{8}$ de pulgada.
Terminales zapata macho	= 2 (una en cada extremo)
Voltaje promedio	= 123 V.

3.6. RESISTENCIA FLEXIBLE POR CONDUCCIÓN.

La resistencia eléctrica flexible tiene una potencia aproximada de 25 W, algunos refrigeradores importados de Asia cuentan con una tecnología parecida, o sea, que utilizan en el proceso de deshielo del evaporador una potencia de hasta 95 W, con la diferencia que la ubicación de la resistencia es aproximadamente a 1 pulgada del tubo del evaporador, de ahí que se tenga que utilizar más energía para el proceso de deshielo.

Si calculamos la potencia de la resistencia flexible tenemos:

$$I = V / R_e = 123 / 600$$

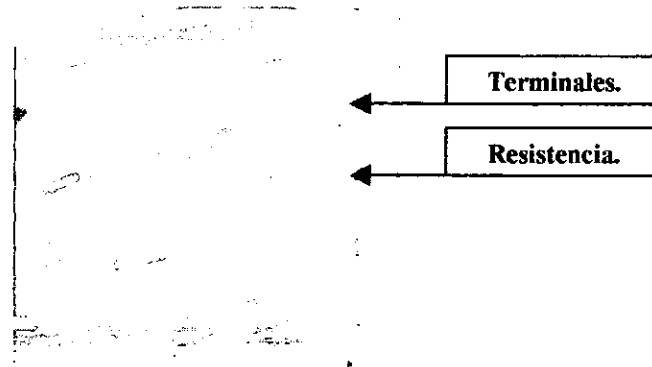
$$I = 0.205 \text{ Ampere}$$

$$P = V I$$

$$P = (123) (0.205)$$

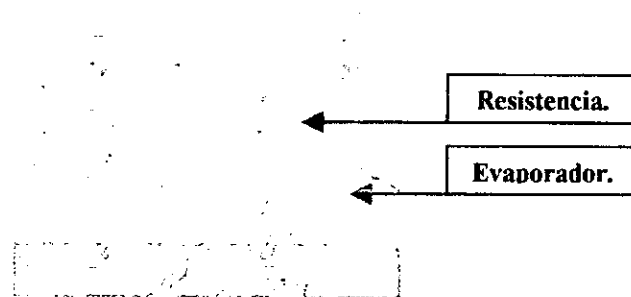
$$P = 25.215 \text{ W}$$

La resistencia esta encapsulada en un material plástico auto-extinguible que soporta temperaturas hasta de 175 °C, tiene un diámetro exterior de $\frac{1}{8}$ de pulgada, en sus extremos tiene terminales o zapatas eléctricas que evitan el contacto con el tubo del evaporador como lo muestra la siguiente figura.



3.7. LOCALIZACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIBLE RESPECTO AL EVAPORADOR.

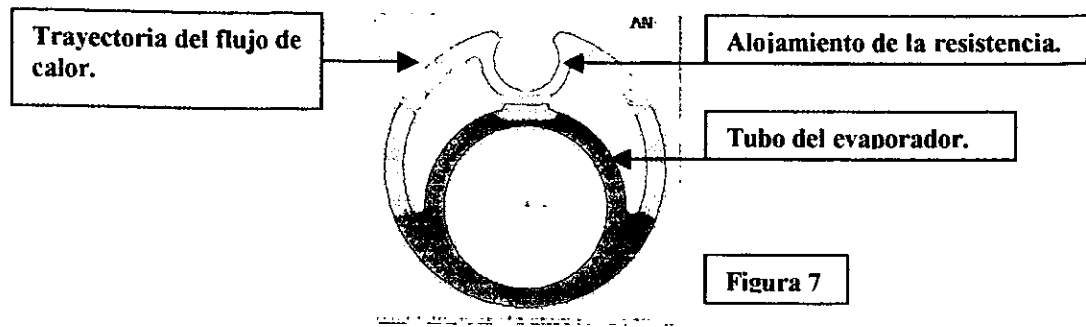
La resistencia flexible se localiza junto y a todo lo largo del tubo del evaporador, dadas sus características de flexibilidad y de baja potencia, además de que la transferencia de calor se hará por conducción, se hace necesario colocarla lo más cerca de los tubos del evaporador, la figura siguiente nos muestra su localización exacta.



3.8. PERFIL DEL TUBO DEL EVAPORADOR

El perfil del tubo del evaporador debe contar con un alojamiento para la resistencia flexible, de tal manera que estén en contacto la mayor superficie del forro de la resistencia y el tubo del evaporador, de esta manera se conduciría la mayor cantidad de calor de la resistencia hacia el tubo del evaporador.

Un perfil aproximado lo muestra la siguiente figura arrojada como resultado de un análisis por elemento finito el cual muestra la trayectoria del flujo de calor, el color rojo representa la zona de mayor temperatura y la zona azul la de menor temperatura.



Si bien se encuentra fácil su fabricación y no la manufactura (doblecés) del evaporador, se puede cambiar la geometría del evaporador, de tal manera que doblar los tubos no nos represente ningún problema.

En este capítulo se cubrió el objetivo particular referente a “Conocer el funcionamiento de los sistemas de deshielo por conducción y convencional en un refrigerador doméstico”.

En el Anexo se encuentra el plano del circuito eléctrico del prototipo, en el cual aparecen localizados los instrumentos de medición, como son: voltímetro, amperímetro, termómetros de bulbo y digitales, así como un registrador de Watt-hora.

4

CONSUMO DE ENERGÍA REQUERIDA EN LOS PROCESOS DE DESHIELO CONVENCIONAL Y

En este capítulo se cuantifica la cantidad de energía requerida para cada uno de los dos sistemas de deshielo convencional y por conducción, con el fin de hacer un comparativo entre ambos sistemas desde los puntos de vista de eficiencia, consumo de energía, llamadas de servicio, factibilidad, costos, ahorros para el consumidor y para la industria eléctrica, así como resaltar sus ventajas y desventajas de ambos sistemas de deshielo. Basados en datos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad y el INEGI, se calcula que con el sistema de deshielo por conducción se ahorraría mas energía que con el horario de verano.

CAPITULO 4. CONSUMO DE ENERGÍA REQUERIDA EN LOS PROCESOS DE DESHIELO CONVENCIONAL Y CONDUCTIVO EN UN

En este capítulo hablaremos del consumo de energía de los dos sistemas de deshielo, del costo de fabricación y su impacto en la economía del país y del CONSUMIDOR.

4.1. ENERGÍA REQUERIDA PARA EL DESHIELO DEL EVAPORADOR.

Una forma indirecta pero muy práctica de calcular la energía requerida para deshielar el evaporador de un refrigerador es la siguiente:

Después de completar el ciclo de 8 horas de trabajo del compresor, y con las condiciones de 90 °F de temperatura ambiente y una humedad relativa del 90 %, se ha estandarizado que la escarcha acumulada en el evaporador equivale a media libra de condensado.

La temperatura de corte de un refrigerador doméstico en la posición media de su control temperatura es de 5 °F, su masa de drenado es en promedio de 0.135 libras de agua y la temperatura del condensado es aproximadamente de 45 °F, la energía necesaria para llevar una libra de agua de 5 a 45 °F es:

$$\begin{aligned} \text{Btu/lb} &= ((0.5 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F})(32-5 ^\circ\text{F})+(144 \text{ Btu/lb})+(1.0 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F})(45-32 ^\circ\text{F})) \\ &= 170.5 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

Si se recolecta solamente 0.135 libras de condensado, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= (170.55 \text{ Btu/lb})(0.135 \text{ lb}) \\ \text{Energía} &= 23.02425 \text{ Btu} \\ \text{Si 1Btu} &= 0.000293 \text{ kW-hr} \\ 23.02425 \text{ Btu} &= 0.006748 \text{ kW-hr} \end{aligned}$$

4.2. CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE DESHIELO CONVENCIONAL.

En la actualidad los refrigeradores domésticos con deshielo automático utilizan un timer que activa la resistencia de deshielo durante 40 minutos cada 8 o

12 horas de trabajo del compresor, si tomamos el caso más crítico el cual es el de 8 horas, y tomando en cuenta que, un refrigerador doméstico, en la posición media de su control de temperatura, trabaja un 60% de su ciclo de trabajo, se puede calcular el número de veces que el deshielo se ejecutará en un año de la siguiente manera:

$$8 \text{ hr} / 0.6 + 40 \text{ min} / 60 \text{ min} / \text{hr} = 14 \text{ hr.}$$

Si el año tiene 8760 horas, entonces habrá 625.71 deshielos al año.

El sistema de deshielo convencional utiliza una resistencia rígida del tipo calorod, esta resistencia es de una potencia de 350 W, si calculamos su consumo anual de energía, éste quedaría representado de la siguiente manera:

Potencia de la resistencia	= 350 W.
Tiempo de deshielo	= 40 minutos.
Consumo de energía	= (0.35 kW)(40 min / 60 min / hr) = 0.233 kW-hr
Consumo de energía anual	= (0.233 kW-hr)(625.71 veces / año)
Consumo de energía anual	= 145.999 kW-hr/año.

4.3. CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN.

El sistema de deshielo por conducción propone reubicar y reducir la potencia de la resistencia de deshielo, y como su nombre lo indica, utiliza únicamente la conducción para realizar y completar exitosamente el deshielo de un evaporador de refrigerador doméstico. Con una resistencia de 25 W se logra el deshielo completo del evaporador.

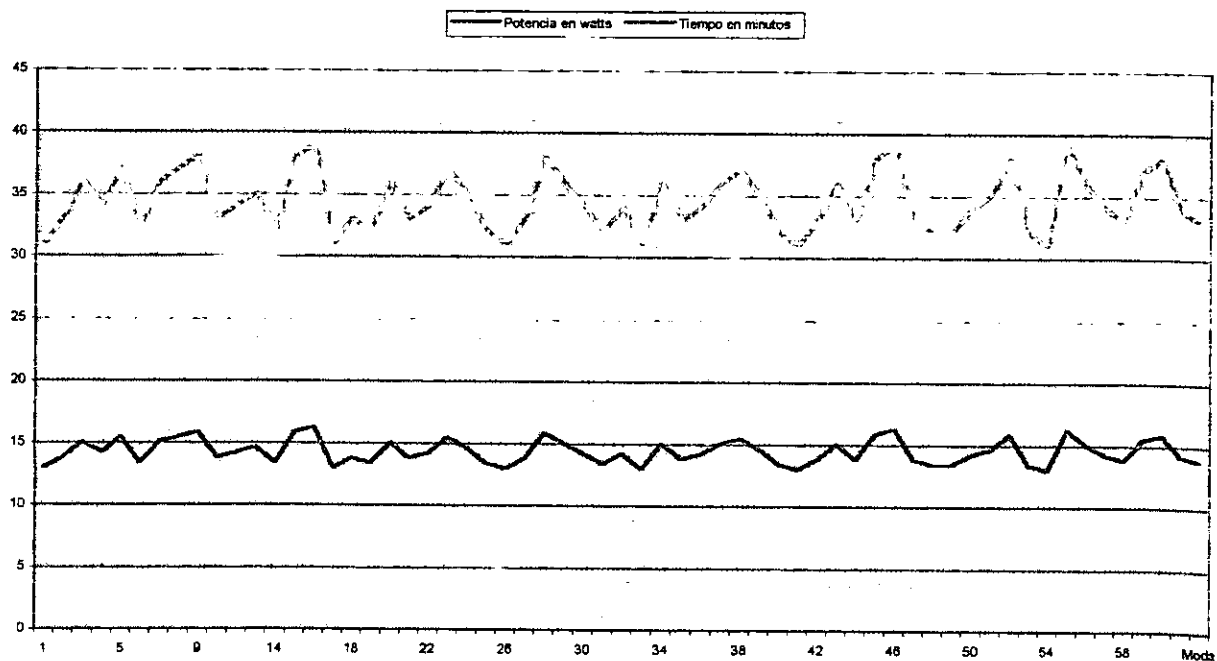
Potencia de la resistencia	= 25 W.
Tiempo de deshielo	= 40 minutos.
Consumo de energía	= (0.025 kW)(40 min / 60 min / hr) = 0.016 kW-hr
Consumo de energía anual	= (0.016 kW-hr)(625.71 veces / año)
Consumo de energía anual	= 10.429 kW-hr/año.

Para garantizar que la fusión de la escarcha con el sistema de deshielo por conducción fuera completada exitosamente, es decir, que el evaporador quedara sin residuos de escarcha una vez terminado el proceso de deshielo, se realizaron 60 ciclos de deshielo y se registraron las siguientes mediciones:

Número del ciclo	Tiempo en minutos	en Condensado en libras	Potencia en watts	Residuo de escarcha
1	31	0.129	12.95	Ninguno
2	33	0.130	13.75	Ninguno
3	36	0.133	15	Ninguno
4	34	0.131	14.17	Ninguno
5	37	0.1335	15.42	Ninguno
6	32	0.1295	13.33	Ninguno
7	36	0.133	15	Ninguno
8	37	0.1335	15.42	Ninguno
9	38	0.134	15.83	Ninguno
11	33	0.130	13.75	Ninguno
12	34	0.131	14.17	Ninguno
13	35	0.132	14.58	Ninguno
14	32	0.1295	13.33	Ninguno
15	38	0.134	15.83	Ninguno
16	39	0.135	16.25	Ninguno
17	31	0.129	12.95	Ninguno
18	33	0.130	13.75	Ninguno
19	32	0.1295	13.33	Ninguno
20	36	0.133	15	Ninguno
21	33	0.130	13.75	Ninguno
22	34	0.131	14.17	Ninguno
23	37	0.1335	15.42	Ninguno
24	35	0.132	14.58	Ninguno
25	32	0.1295	13.33	Ninguno
26	31	0.129	12.95	Ninguno
27	33	0.130	13.75	Ninguno
28	38	0.134	15.83	Ninguno
29	36	0.133	15	Ninguno
30	34	0.131	14.17	Ninguno
31	32	0.1295	13.33	Ninguno
32	34	0.131	14.17	Ninguno
33	31	0.129	12.95	Ninguno
34	36	0.133	15	Ninguno
35	33	0.130	13.75	Ninguno
36	34	0.131	14.17	Ninguno
37	36	0.133	15	Ninguno
38	37	0.1335	15.42	Ninguno
39	35	0.132	14.58	Ninguno
40	32	0.1295	13.33	Ninguno
41	31	0.129	12.95	Ninguno

42	33	0.130	13.75	Ninguno
43	36	0.133	15	Ninguno
44	33	0.130	13.75	Ninguno
45	38	0.134	15.83	Ninguno
46	39	0.135	16.25	Ninguno
47	33	0.130	13.75	Ninguno
48	32	0.1295	13.33	Ninguno
49	32	0.1295	13.33	Ninguno
50	34	0.131	14.17	Ninguno
51	35	0.132	14.58	Ninguno
52	38	0.134	15.83	Ninguno
53	32	0.1295	13.33	Ninguno
54	31	0.129	12.95	Ninguno
55	39	0.135	16.25	Ninguno
56	36	0.133	15	Ninguno
57	34	0.131	14.17	Ninguno
58	33	0.130	13.75	Ninguno
59	37	0.1335	15.42	Ninguno
60	38	0.134	15.83	Ninguno
Promedio	33.9	0.1293	14.125	Ninguno
Moda	33	0.130	13.75	Ninguno

Representación gráfica de la potencia contra el tiempo



4.4. COMPARATIVO DEL COSTO Y CONSUMO DE LA ENERGÍA ENTRE LOS SISTEMAS DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN Y CONVENCIONAL.

El consumo de energía del sistema de deshielo por conducción respecto al convencional es del 7.14 %, es decir, que utilizando el sistema de deshielo por conducción se ahorra el 92.86 % de la energía que se gasta utilizando el sistema de deshielo convencional, en otras palabras el sistema de deshielo por conducción es 14 veces más eficiente que el sistema de deshielo convencional.

Según la CFE las tarifas de la energía están en función del nivel de consumo y son los siguientes:

Costo del kW-hr por nivel de consumo

Consumo básico	\$ 0.445	Por cada uno de los primeros 75 kW-hr.
Consumo intermedio	\$ 0.524	Por cada uno de los siguientes 125 kW-hr.
Consumo excedente	\$ 1.536	Por cada kW-hr adicional a los anteriores.

Un refrigerador doméstico promedio de $14 \text{ pie}^3 = 396.4359 \text{ dm}^3$, tiene un compresor de $\frac{1}{4}$ de HP equivalente a 187.5 W, el consumo del timer 4 W, ventiladores del congelador y condensador 25 W, y accesorios extras como controles electrónicos, fábrica de hielo y lámparas 10 W, y considerando que el compresor trabaja un 60 % de su ciclo de trabajo, se puede calcular su consumo anual de la siguiente manera:

$$\text{Consumo del compresor} = (8760 \text{ hr} - (625.71)(40 \text{ min}/60 \text{ min/hr}))(0.6)(0.2215 \text{ kW}) \\ = 1,108.766 \text{ kW-hr/año.}$$

Caso 1:

Si adicionamos el consumo del sistema de deshielo convencional tenemos:

$$\text{Consumo total} = 1,108.766 + 145.999 = 1,254.765 \text{ kW-hr/año.}$$

Si lo dividimos entre 6 bimestres:

$$\text{Consumo bimestral} = 1,254.765 / 6 = 209 \text{ kW-hr / bimestre.}$$

Por lo tanto el costo de la energía consumida por el refrigerador es de:

Los primeros 75 kW-hr	= \$ 33.375
Los siguientes 125 kW-hr	= \$ 65.5
Los siguientes 9 kW-hr	= \$ 13.824
Total	= \$ 112.70 por bimestre.

Costo del consumo de energía del sistema de deshielo convencional:

$$\text{Si } 209 \text{ kW-hr bimestrales} = \$ 112.70, \text{ entonces;}$$

$$145.999/6 = \$ 13.12 \text{ bimestral.}$$

Caso 2:

Si adicionamos el consumo del sistema por conducción tenemos:

$$\text{Consumo total} = 1,108.766 + 10.429 = 1,119.195 \text{ kW-hr/año.}$$

Si lo dividimos entre 6 bimestres:

$$\text{Consumo bimestral} = 1,119.195 / 6 = 186.533 \text{ kW-hr / bimestre.}$$

Por lo tanto el costo de la energía consumida por el refrigerador es de:

$$\text{Los primeros 75 kW-hr} = \$ 33.375$$

$$\text{Los siguientes 111.533 kW-hr} = \$ 58.443$$

$$\text{Total} = \$ 91.82 \text{ por bimestre.}$$

Costo del consumo de energía del sistema de deshielo por conducción:

$$\text{Si } 186.533 \text{ kW-hr bimestrales} = \$ 91.82, \text{ entonces;}$$

$$10.429/6 = \$ 0.86 \text{ bimestral.}$$

La tabla comparativa siguiente muestra los consumos de energía de ambos sistemas de deshielo:

TABLA COMPARATIVA:

	Sist. por conducción.	Sist. Convencional.
Potencia disponible	25 W	350 W
Energía consumida	0.016 kW-hr	0.233 kW-hr
	10.429 kW-hr/año	145.999 kW-hr/año
Energía requerida	0.006748 kW-hr	0.006748 kW-hr
	4.2223 k-hr/año	4.2223 k-hr/año
Energía no utilizada	0.009252 kW-hr	0.226252 kW-hr
	6.207 kW-hr/año	141.777 kW-hr/año
	57.13.75 %	97.104 %
Energía utilizada	42.175 %	2.896 %
Costo total del proceso de deshielo	\$ 5.13 anuales	\$ 78.72 anuales
Eficiencia entre ambos sistemas	14	1

Si observamos el ahorro en pesos utilizando el sistema de deshielo por conducción, lo podemos considerar despreciable ya que un ahorro de: $\$ 78.72 - \$ 5.13 = \$ 73.59$ pesos al año no es significativo, debido a que en México la energía esta subsidiada por el gobierno, si se cobrara el costo real del kW-hr la cifra se tornaría muy diferente, ahora, si consideramos el ahorro del consumo de energía de 141.777 kW-hr/año, también nos podría sonar una cantidad baja, pero, el real ahorro se muestra cuando esta cantidad la multiplicamos por los millones de refrigeradores en el país, que funcionan todo el año.

En el Anexo se muestran datos estadísticos proporcionados por el INEGI los cuales sirvieron de apoyo para los cálculos del consumo de energía en el país.

Según el XII censo general de población y vivienda 2000, del INEGI, existen en México 21'954,733 viviendas de las cuales el 95.03 % en promedio disponen de energía eléctrica, lo que hace un total de 20'863,583 viviendas, si asumimos que en el mejor de los casos el 50 % tenga refrigerador automático, tendríamos 10'431,791 viviendas, y un ahorro de energía de:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de energía} &= (10'431,791)(141.777 \text{ kW-hr/año}) \\ &= 1,478'988,087 \text{ kW-hr/año} \end{aligned}$$

$$\text{AHORRO DE ENERGÍA} = 1,478 \text{ GW-hr/año}$$

A partir de 1999 las actividades de ahorro de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad fueron integradas en 12 programas institucionales:

- Instalaciones de la CFE.
- Instalaciones industriales y de servicios.
- Sector doméstico.
- Micro y pequeñas empresas.
- Sector agropecuario.
- Programa de incentivos y desarrollo agropecuario.
- Horario de verano.
- Normalización y sello FIDE.
- Capacitación y formación de recursos humanos.
- Formación de una cultura de ahorro de energía eléctrica en la población infantil.
- Promoción y difusión.
- Servicio de asistencia técnica al extranjero.

Por lo que toca a los ahorros obtenidos, como consecuencia de las acciones emprendidas en los programas y proyectos apoyados directamente por el

Fideicomiso de Ahorro de Energía, y considerando la permanencia de las medidas aplicadas desde el comienzo de las actividades, estos fueron 1,999 GW-hr/año en energía.

Tomando en cuenta los ahorros obtenidos con el horario de verano se estiman en 3,091 GW-hr/año en energía, por lo que deducimos que la energía ahorrada por el horario de verano fue de 1,092 GW-hr/año.

Si comparamos estas cifras con los ahorros de energía que arroja el sistema de deshielo por conducción, tenemos:

AHORRO DE ENERGÍA:

Por el horario de verano	= 1,092 GW-hr/año.
Por el sistema de deshielo por conducción	= 1,478 GW-hr/año.

Si para la CFE y el gobierno federal es importante el ahorro de energía obtenido por el horario de verano, el ahorro de energía obtenido por el sistema de deshielo por conducción debería ser $1,478/1,092 = 1.36$ veces más importante, pero, obtener este ahorro energético no es tan fácil como adelantar o atrasar las manecillas del reloj, hay que hacer conciencia en los fabricantes de refrigeradores automáticos, para que inviertan parte de sus utilidades en el desarrollo de productos de calidad con sistemas novedosos que beneficien al consumidor y al país, por otro lado se debe elaborar una norma oficial mexicana que realmente regule y limite el consumo de energía en aparatos electrodomésticos, ya que la actual no contempla estos aspectos a profundidad.

De los puntos 4.1 a 4.4 de este capítulo se ha cubierto el objetivo particular referente a "Determinar el ahorro en el consumo de energía de los sistemas de deshielo por conducción y convencional".

4.5. COSTO DE LOS SISTEMAS DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN Y CONVENCIONAL.

COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN:

Componente	Costo en pesos.
Resistencia flexible de 25 w	\$ 45.00
Interruptor térmico	\$ 20.00

Cables auto-extinguibles	\$ 5.00
Terminales eléctricas	\$ 0.50
Charola de deshielo	\$ 3.00
Tubería de drenaje del condensado	\$ 5.00
Mano de obra	\$ 3.00
Cinta adhesiva de aluminio	\$ 5.00
Total	\$ 86.50

COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESHIELO CONVENCIONAL:

Componente	Costo en pesos.
Resistencia rígida de 350 w	\$ 55.00
Interruptor térmico	\$ 20.00
Cables auto-extinguibles	\$ 5.00
Terminales eléctricas	\$ 0.50
Charola de deshielo	\$ 3.00
Tubería de drenaje del condensado	\$ 5.00
Mano de obra	\$ 3.00
Cinta adhesiva de aluminio	\$ 5.00
Protección metálica del forro	\$ 4.00
Deflector del calor	\$ 12.00
Resistencia auxiliar de la charola de deshielo	\$ 20.00

Reparaciones por llamadas de servicio	\$ 32.00
Total	\$164.50

Si bien en el sistema de deshielo por conducción se tiene que hacer una inversión en el dado de la extrusora del tubo, de aproximadamente \$ 4,000 dólares, ésta se puede amortizar rápidamente y no formar parte del costo del sistema, además, se puede negociar con el proveedor del tubo de aluminio y compartir los costos del nuevo dado.

4.6. TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE AMBOS SISTEMAS.

Sistema	Ventajas	Desventajas
Conductivo	Menor costo	
	Menor consumo de energía	
	Menos componentes	
	Silencioso	
	Menor calor adicional	
	Alarga la vida del compresor	
	Trabaja a menor temperatura	
	No eleva la presión	
	No produce resplandor	
	Sin riesgos de incendio	
	Fácil de instalar	
Convencional		Instalación laboriosa
		Mayor costo
		Mayor consumo de energía
		Más componentes
		Hace ruido
		Mayor calor adicional
		Acorta la vida del compresor
		Trabaja a mayor temperatura
		Eleva la presión
		Produce resplandor
	Riesgos de incendio	

Como se puede apreciar, el sistema de deshielo por conducción ofrece más ventajas sobre el sistema de deshielo por radiación, de hecho resulta ser más bajo en costo de producción, lo que lo hace aún más atractivo.

Entre las ventajas del sistema de deshielo por conducción, las referentes a: Menor costo, Menor consumo de energía y Menos componentes, se encuentran demostradas en los puntos 4.4 y 4.5 de este capítulo.

Referente al ruido que generan las gotas de agua al caer sobre la resistencia de deshielo por radiación, se registró un nivel de ruido de 65 db en una prueba en cámara silente en los laboratorios de GE, posteriormente se realizó la misma prueba con el sistema de deshielo por conducción, registrándose un nivel de ruido de solamente 35 db, lo cual nos lleva a concluir que, el nivel de ruido que se genera por el contacto entre la resistencia activa (caliente) del sistema de deshielo por radiación y las gotas de agua de la escarcha fundiéndose se reduce su magnitud a menos de la mitad.

En el anexo se muestra una gráfica que clasifica a los sistemas de deshielo por conducción y radiación junto a distintos tipos de ruido según su magnitud en decibelios (db).

Lo anterior demuestra que el sistema de deshielo por conducción cumple con el objetivo particular referente a “Reducir el ruido originado por el sistema de deshielo convencional (radiación)”.

Otra de las ventajas significativas del sistema de deshielo por conducción sobre el sistema radiante es que, no afecta la vida del compresor y para demostrarlo recurrimos a las pruebas de vida que realizan los fabricantes de compresores. Los fabricantes de refrigeradores domésticos no son necesariamente los fabricantes de todos los componentes del refrigerador, por ejemplo, la GE de Estados Unidos fabrica refrigeradores con compresor marca Sicom de Brasil, la GE ofrece una garantía de un año sobre defectos de fabricación en su refrigerador, y 5 años en el compresor, pero la garantía del compresor realmente la ofrece Sicom que es quien lo fabrica, Sicom para determinar la vida útil del compresor lo somete a las siguientes pruebas de trabajo:

- Abatimiento de temperatura ambiente a 32.2 °C, la cual consiste en estabilizar el refrigerador con las puertas abiertas y apagado dentro de una cámara de temperatura controlada a 32.2 °C durante 24 horas, acto seguido se deben cerrar las puertas del refrigerador y arrancarse en modo puente o trabajo continuo, éste debe lograr una temperatura de -23 °C en el congelador en un lapso no mayor de 4 horas. Esta prueba se repite durante un año, lo cual representa una vida útil garantizada del compresor de 5 años bajo un ciclo del 50 % de trabajo compresor.
- Abatimiento de temperatura ambiente a 43 °C, la cual consiste en estabilizar el refrigerador con las puertas abiertas y apagado dentro de una cámara de temperatura controlada a 43 °C durante 24 horas, acto seguido se deben cerrar las puertas del refrigerador y arrancarse en modo puente o trabajo continuo, éste debe lograr una temperatura de -23 °C en el congelador en un lapso no mayor de 4 horas. Esta prueba se repite durante un año, lo cual representa una vida útil garantizada del compresor de 3 años bajo un ciclo del 50 % de trabajo compresor.

Las presiones de trabajo correspondientes a las temperaturas de abatimiento según la tabla 1 del anexo son:

BAR	R-12	R-22	R-134a	R-408A	R-502	R-502
6.90	32	15	31	11	11	8
9.32	43	24	41	20	21	17
22.43	81	58	75	54	55	49

Las pruebas de deshielo con el sistema radiante nos reportan las siguientes lecturas de temperatura en cada uno de los tubos del evaporador

No de tubo:	Temperatura en °C:
1	107
2	97
3	92
4	85
5	81
6	76
7	73
8	70
9	66
10	63
Promedio	81 °C.

Si el fabricante de compresores garantiza su producto por 5 años bajo una presión de trabajo de 6.9 bar y por 3 años si la presión se incrementa a 9.32 bar, entonces, cual sería la garantía del mismo compresor si se le somete a una presión de trabajo de 22.43 bar que corresponde a la temperatura promedio (81 °C) del evaporador cuando finaliza el proceso de deshielo con la resistencia radiante?

Gracias a que el sistema del refrigerador en su totalidad no se encuentra bajo la condición de 81 °C de temperatura ambiente es que el compresor logra arrancar, pero sí podemos afirmar que una alta presión en el sistema afecta la vida útil del compresor, ya que los tiempos de garantía que ofrece el fabricante están en función de la presión de trabajo del compresor.

Si estimamos el hecho de que al estar el evaporador a 81 °C en promedio al finalizar el proceso de deshielo por radiación equivalga a un abatimiento de temperatura a 43 °C, entonces se estaría realizando un abatimiento de temperatura a 43 °C después de cada ciclo de deshielo, lo que equivale a 625.71 abatimientos a 43 °C al año.

Según las pruebas de abatimiento de temperatura, un compresor soporta según la presión de arranque un número determinado de ciclos de trabajo los cuales son:

Presión de arranque:	Ciclos de trabajo:
6.9 bar	10,950 (Ciclos de 4 horas de trabajo en 5 años)
9.32 bar	6,570 (Ciclos de 4 horas de trabajo en 3 años)

Entonces si el refrigerador realiza 3,128 ciclos de abatimiento a 43 °C en 5 años, cual sería el porcentaje de vida disminuido?

Cada ciclo de abatimiento a 43 °C equivale a 1.666 ciclos de abatimiento a 32.2 °C, por lo tanto 3,128 ciclos de abatimiento a 43 °C equivalen a 5,213 ciclos de abatimiento a 32.2 °C

Por lo tanto $10,950 - 5,213 = 5,737$ ciclos de abatimiento a 32.2 °C restantes, más los 3,128 ciclos a 43 °C hacen un total de 8,865 ciclos mixtos.

Si el compresor estaba garantizado para completar 10,950 ciclos en 5 años y ahora solamente completa 8,865 ciclos, entonces su vida útil se ha reducido a: 4.048 años. En otras palabras la vida útil del compresor se reduce en un 19.04 %.

Lo anterior nos demuestra que la alta presión de arranque originada por la elevada temperatura de operación de la resistencia radiante, afecta la vida útil del compresor.

En contra parte, la magnitud de la temperatura promedio de operación de la resistencia del sistema de deshielo por conducción es de 29 °C con una presión de 6.56 bar la cual es menor que la presión de la prueba de abatimiento de temperatura a 32.2 °C que es de 6.9 bar.

BAR	R-12	R-22	R-134a	R-408A	R-502	R-507
6.56	29	13	29	10	9	6

Lo anterior corrobora que el sistema de deshielo por conducción no reduce la vida útil del compresor, con lo que se cumple el objetivo particular referente a "Conservar la vida útil del compresor del refrigerador doméstico beneficiando al consumidor".

CONCLUSIONES:

Los recursos naturales a escala mundial inevitablemente se están agotando, de ahí que, el buen empleo de los mismos favorece a todos los que habitamos este planeta. Así como la industria automotriz por citar alguna, se enfoca a producir automóviles cada vez más eficientes, los cuales nos proporcionan mayor rendimiento por cada litro de combustible, beneficiando al medio ambiente y a nuestra economía, los refrigeradores pueden mejorarse y tornarse igualmente más eficientes por cada unidad de energía que consuman.

En el capítulo 2 de este trabajo de tesis, se describieron las partes componentes principales de un refrigerador doméstico así como su funcionamiento, los sistemas de deshielo por conducción y radiación se mostraron en el capítulo 3 marcando sus diferencias fundamentales así como su forma de ejecutar el proceso de deshielo en un refrigerador doméstico, con lo que los objetivos particulares referentes al conocimiento de las partes componentes principales de un refrigerador y su sistemas de deshielo quedaron cubiertos.

Un refrigerador doméstico de 14 pies cúbicos de capacidad, a una temperatura ambiente de 32 ° C y bajo condiciones normales de operación, y que utiliza el sistema de deshielo convencional, consume al año 146 KW-hr por concepto del deshielo de su evaporador, el mismo refrigerador, bajo las mismas condiciones de trabajo, consumiría en un año 10.5 GW-hr por el mismo concepto. Esto representa un ahorro del 92.8 % de la energía consumida en el sistema de deshielo convencional, en ambos casos el objetivo es el mismo, fundir la escarcha acumulada en el evaporador, solamente que utilizando el sistema de deshielo por conducción se logra con menor cantidad de energía. Lo anterior cubre el primer objetivo general de este trabajo de tesis.

Una manera de medir la magnitud del ahorro de la energía que se lograría implementando este sistema de deshielo en todos los refrigeradores domésticos es, comprándolo con un sistema ya establecido y reconocido por las autoridades.

El horario de verano, según la Comisión Federal de Electricidad, aportó un ahorro de 1,092 GW-hr durante el año 2000, según cálculos estimados en el capítulo 4, sobre la base de las tarifas de la CFE del costo de la energía eléctrica doméstica, y datos del INEGI sobre población que vive en casa propia de concreto y con luz eléctrica disponible, el ahorro de energía que generaría el sistema de deshielo por conducción sería del orden de 1,478 GW-hr, 26.12 % mayor que el horario de verano.

Si consideramos que el sistema de deshielo por conducción aportaría un ahorro superior al generado por el horario de verano en México, dicho ahorro de

energía resultaría ser de gran importancia no solo para México sino para todos los países en los que se empleen refrigeradores, ya que las estimaciones que se hicieron en el capítulo 4 referentes a la cantidad de hogares que tengan refrigerador fueron muy conservadoras. Si a las cifras del número de refrigeradores domésticos se le adicionaran las de los refrigeradores comerciales en tiendas, despachadores de refrescos, frigobares cuartos de hoteles, refrigeradores de discotecas, despachadores de hielos, etc., ¿cuántas veces se rebasaría el ahorro por concepto del horario de verano?

Es tiempo de cambios, y de seguir la línea del ahorro o por lo menos la del buen empleo de la energía, si el gobierno federal abriera las fronteras a los productos extranjeros provenientes de Europa y Asia sin imponerles altos aranceles, la competencia entre fabricantes nacionales, estadounidenses, europeos y asiáticos sería más justa, se forzaría a que los fabricantes de refrigeradores se ajustaran a la nuevas tecnologías y a la normatividad internacional, dando como resultado un mejor producto

El sistema de deshielo por conducción además de que aportaría un ahorro de energía considerable para la CFE, tiene un menor costo para el fabricante de refrigeradores domésticos, y para el usuario del refrigerador, resultaría ser más seguro y silencioso, ya que:

- Se eliminaría el resplandor propio de la resistencia por radiación, y que da la impresión de que el refrigerador se está quemando.
- Se manejarían temperaturas de operación de la resistencia mucho más bajas, reduciendo la probabilidad de un incendio del propio refrigerador.
- Se eliminaría el ruido que se genera cuando las gotas de agua (producto del deshielo) caen sobre la resistencia la cual se encuentra a alta temperatura, los índices de ruido se reducen de 65 a 38 db. Cumpliéndose el objetivo particular relacionado a la disminución del ruido en el sistema de deshielo.

Los puntos anteriores reducirían el índice de llamadas de servicio por parte del consumidor hacia el fabricante, así el segundo objetivo general de este trabajo de tesis, referente a reducir el índice de llamadas de servicio por causa de fallas en el sistema de deshielo, estaría cubierto.

Es muy importante que el fabricante de electrodomésticos adopte la cultura del ahorro de energía, y que impulse la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que aporten beneficios a la comunidad y no solamente a sus procesos de producción, ya que por parte del usuario no hay nada que hacer debido a que éste recibe el producto ya terminado.

Los programas gubernamentales a favor del ahorro de energía en mancuerna con los fabricantes de refrigeradores electrodomésticos y apoyados por el desarrollo de nuevas tecnologías, generarían sin duda alguna un producto más eficiente cada año, tal y como lo hace la industria automotriz.

Si analizamos los productos de los fabricantes de electrodomésticos coreanos, encontraremos grandes innovaciones tanto para el consumidor como a favor del medio ambiente, en Europa y Asia la cultura del ahorro de energía tanto de los fabricantes como de los usuarios de electrodomésticos está bien cimentada y entendida, recuérdese que el automóvil compacto, cómodo y muy eficiente es cultura del viejo continente, la cual se refleja también en los aparatos electrodomésticos.

El sistema de deshielo por conducción sí se puede aplicar en México, ya que las fluctuaciones de voltaje que son dañinas para el compresor, no alteran en forma severa el funcionamiento del sistema de deshielo, ya que se trata de una resistencia pura.

La aportación principal que pretende este trabajo de tesis es, proponer un mejor uso de la energía eléctrica que se consume en el sistema de deshielo de los refrigeradores domésticos, además de que conserva la vida útil del compresor, ya que el sistema de deshielo por radiación origina una alta presión de trabajo lo que reduce en un 19.04 % la vida del compresor, mientras que el sistema de deshielo por conducción trabaja con una temperatura de 29 °C y una presión de trabajo de 6.56 bar, la cual no representa ningún esfuerzo extra para el compresor que acelere su envejecimiento por sobrecarga, de esta manera las propuestas que se manifiestan en este trabajo de tesis, contribuirían a una mejor administración de los recursos naturales que se emplean para generar energía eléctrica en México.

ANEXO

Tabla 1

RELACIÓN PRESIÓN-TEMPERATURA DE ALGUNOS REFRIGERANTES EN °C

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

BAR	R-12	R-22	R-134a	R-408	R-502	R-507
0	-30	-41	-26	-43	-46	-47
.05	-27	-38	-23	-41	-43	-44
.28	-24	-36	-21	-39	-40	-42
.42	-22	-33	-18	-37	-38	-39
.56	-19	-31	-16	-33	-36	-38
.69	-17	-29	-14	-32	-34	-35
.83	-15	-27	-12	-30	-32	-34
.97	-13	-26	-11	-29	-30	-32
1.11	-11	-24	-9	-27	-28	-30
1.25	-9	-22	-7	-24	-27	-29
1.38	-8	-21	-6	-23	-25	-27
1.52	-6	-19	-4	-22	-24	-26
1.66	-4	-18	-3	-21	-22	-25
1.80	-3	-17	-1	-19	-21	-23
1.94	-2	-15	-0	-18	-19	-22
2.07	0	-14	2	-17	-18	-21
2.21	1	-13	3	-16	-17	-20
2.35	3	-12	4	-14	-16	-18
2.49	4	-11	5	-13	-15	-17
2.63	5	-9	6	-12	-14	-16
2.76	6	-8	7	-11	-13	-15
2.90	7	-7	8	-10	-12	-14
3.04	8	-6	9	-9	-11	-13
3.18	9	-5	10	-8	-10	-12
3.23	11	-4	11	-7	-9	-11
3.45	12	-3	12	-6	-8	-10
3.59	13	-2	13	-5	-7	-10
3.83	14	-1	14	-4	-6	-9
4.01	15	-5	15	-3	-5	-8
4.14	16	0	16	-2	-4	-7

4.28	17	1	17	-1	-3	-6
4.32	18	2	18	0	-3	-5
4.42	18	3	18	1	-2	-4
4.56	19	3	19	2	-1	-4
4.70	20	4	20	3	0	-3
4.83	21	5	21	4	5	-2
4.97	22	6	22	5	1	-2
5.11	22	7	22	6	2	-1
5.25	23	7	23	5	2	0
5.39	24	8	24	4	3	1
5.52	25	9	26	6	4	1
5.87	27	11	27	7	6	3
6.21	28	12	28	8	8	5
6.56	29	13	29	10	9	6
6.90	32	15	31	11	11	8
7.25	34	17	32	13	12	9
7.59	36	18	34	15	14	10
7.94	37	19	36	16	15	12
8.28	39	21	37	17	17	13
8.63	40	22	38	18	18	14
8.97	42	23	39	19	19	16
9.32	43	24	41	20	21	17
9.66	44	26	42	22	22	18
10.01	46	27	43	24	23	19
10.35	47	28	44	25	24	20
10.70	48	29	46	26	25	21
11.04	49	31	47	27	27	23
11.39	51	32	48	28	28	24
11.73	52	33	49	29	28	25
12.08	53	33	50	30	29	26
12.41	54	34	51	31	31	27
12.77	56	36	52	32	32	28
13.11	57	36	53	33	33	29
13.46	58	37	53	34	34	29
13.80	59	38	55	35	35	30
14.15	60	39	56	36	36	31

14.49	61	41	57	37	37	32
14.84	62	41	58	38	38	33
15.18	63	42	58	39	38	34
15.53	64	43	59	40	39	35
16.22	66	45	61	41	41	36
16.91	68	46	63	42	43	38
17.60	69	48	64	43	44	40
18.29	71	49	66	44	46	41
18.98	73	51	67	46	48	43
19.67	74	53	68	48	49	44
20.36	76	54	70	49	51	45
21.05	78	56	72	51	53	47
21.74	79	57	73	53	54	48
22.43	81	58	75	54	55	49
23.12	83	59	76	55	57	51
23.81	84	61	77	56	58	52
24.50	86	63	78	57	59	53
25.19	88	64	79	58	61	54
25.88	89	65	81	89	62	55
26.57	90	67	82	60	63	56
27.26	91	68	83	61	64	57
27.95	92	69	84	63	65	59
31.05	98	73	86	N/A	70	63
34.50	103	78	94	N/A	75	68

Tabla 2

VALORES DEL CALOR ESPECÍFICO DE SUSTANCIAS COMUNES.

MATERIAL	CALOR ESPECÍFICO
AGUA	1.000
HIELO	0.504
AIRE NORMAL	0.240
COBRE	0.095
VAPOR	0.480

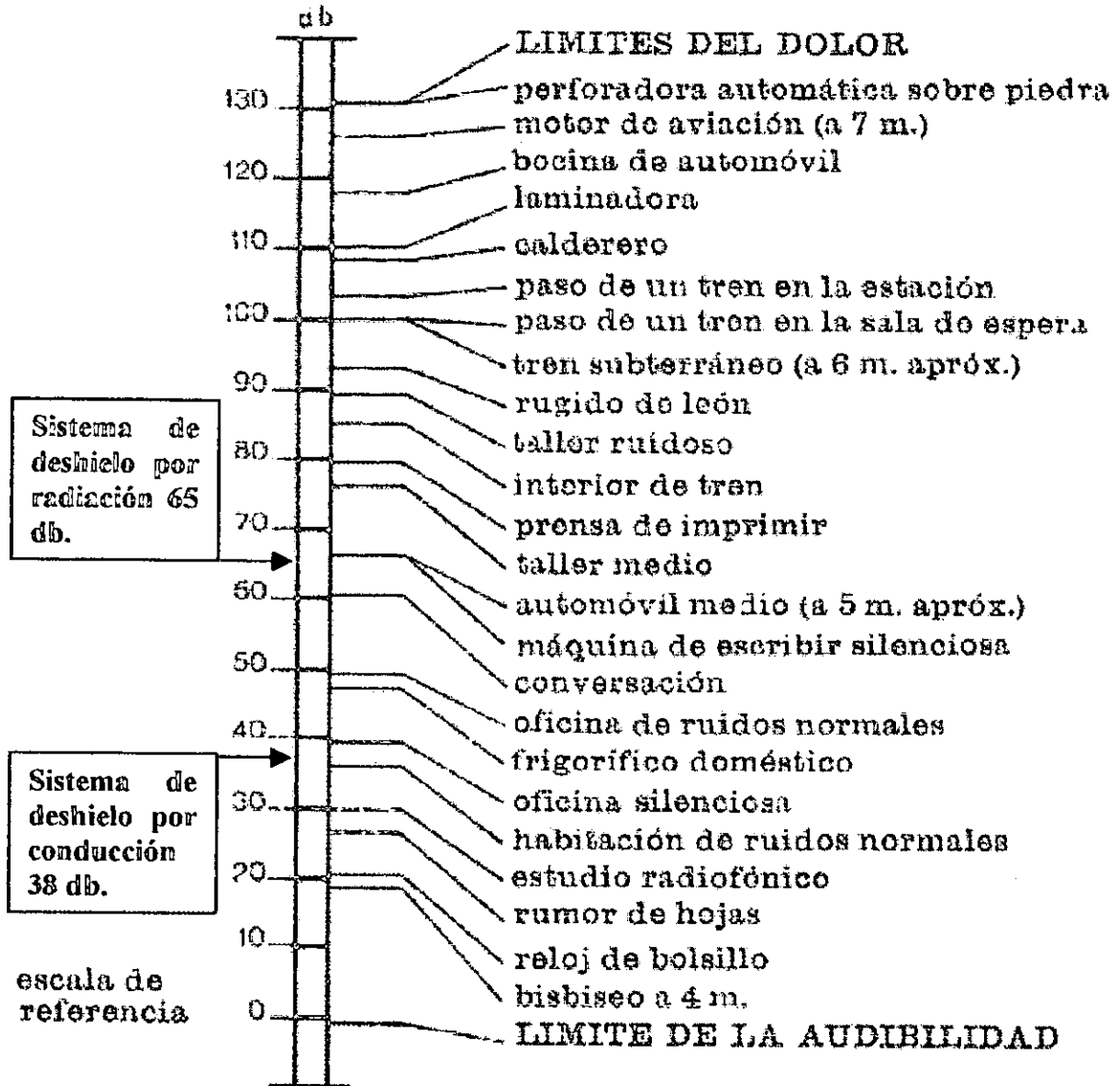
Tabla 3

RELACIONES P, V, T EN UN GAS IDEAL EN LOS PROCESOS ISOMÉTRICO, ISOBÁRICO, ISOTÉRMICO E ISENTRÓPICO.

PROCESOS

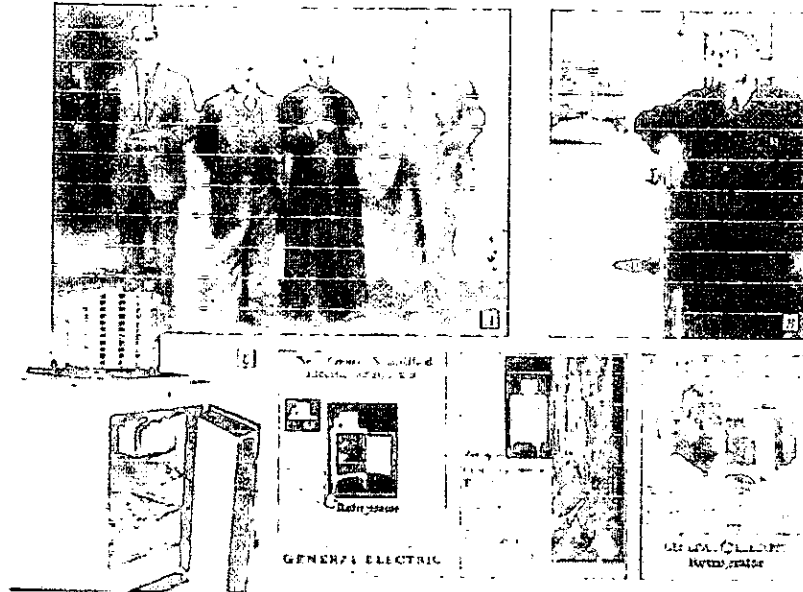
	Isométrico	Isobárico	Isotérmico	Isentrópico
Gas ideal	$v = c$	$p = c$	$T = c$	$S = c$
Relaciones p, v, T	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$	$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$ $T_1 v_1^{k-1} = T_2 v_2^{k-1}$
$w = \int_1^2 p \, dv$	0	$p(v_2 - v_1)$	$p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{1-k}$ $c_v (T_2 - T_1)$
$u_2 - u_1$	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_v(T_2 - T_1)$	0	$c_v(T_2 - T_1)$
q	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_p(T_2 - T_1)$	$p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$	0
$h_2 - h_1$	$c_p(T_2 - T_1)$	$c_p(T_2 - T_1)$	0	$c_p(T_2 - T_1)$
$\Delta s - \Delta i$	$c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$R \ln \frac{v_2}{v_1}$ $\frac{q}{T}$	0

NIVELES DE RUIDOS (EN DECIBELIOS)



FOTOGRAFÍAS

Fotografías correspondientes a personajes importantes que intervinieron en la invención, fabricación y comercialización del refrigerador doméstico, así como de los modelos de refrigeradores correspondientes a aquellos años.

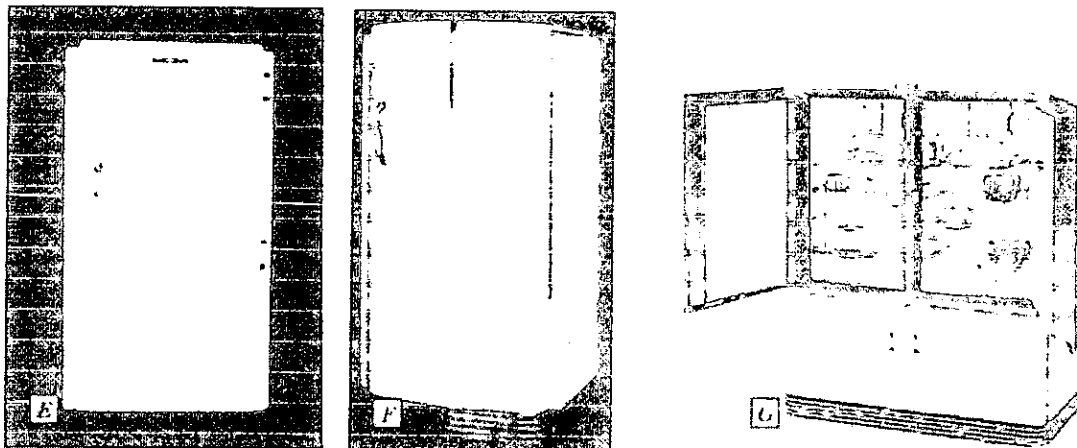


A.- 1911, (de izquierda a derecha) A. Myers; A. Singrun; Abbé Audiffren, inventor del refrigerador eléctrico y James Wood quien gestionó para GE la fabricación del refrigerador Audiffren en el Fuerte Wayne, Indiana.

B.- 1925, C. Steenstrup, "padre" del refrigerador "MONITOR TOP", orgulloso posa al

lado de su exitoso producto.

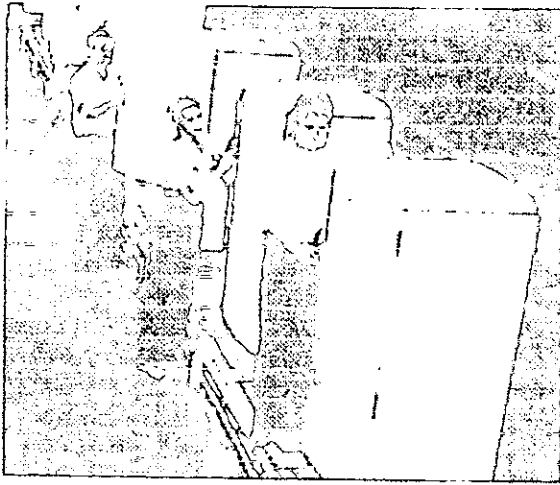
C.- 1927, El revolucionario "MONITOR TOP" generó una ola de publicaciones en las revistas de la época.



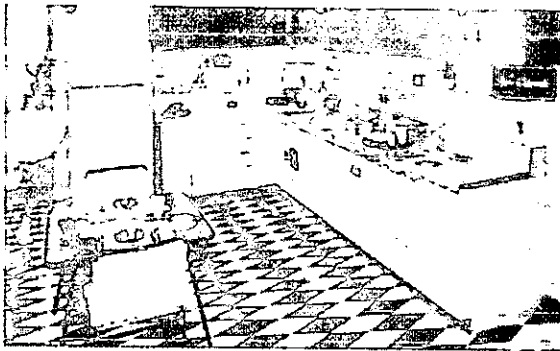
E.- 1935, GE inicia la tendencia hacia las esquinas redondeadas.

F.- 1937, Los refrigeradores GE desarrollados con apariencias modernas.

G.- 1940, Hotpoint produce el popular refrigerador Duplex, desafortunadamente fue muy ancho para la mayoría de las cocinas y demasiado caro para la mayoría de los bolsillos.

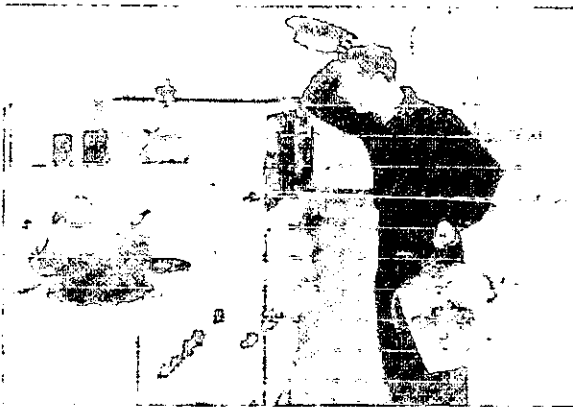


Primer refrigerador de la post guerra en la línea de ensamble de la planta de Erie, Nueva York en 1946.

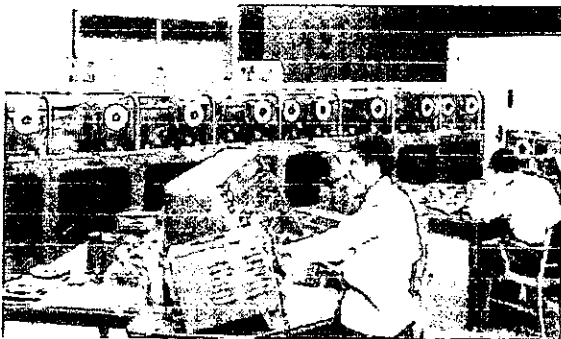


En 1947 la Planta de GE en Erie Nueva York produjo el primer refrigerador-congelador de dos puertas.

En esta unidad de 7.5 pies cúbicos de capacidad, el compartimiento del congelador mantuvo alimentos congelados entre 0 y 10 °F, mientras la sección del refrigerador mantuvo una temperatura de aproximadamente 38 °F para el almacenamiento de comida fresca.

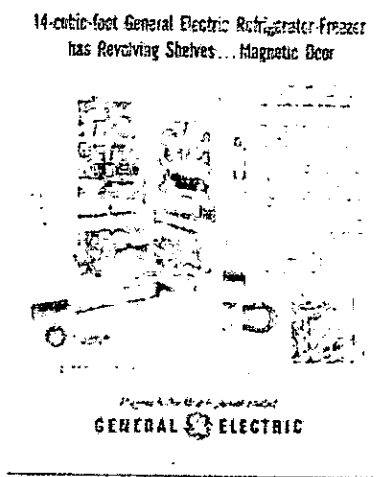


El refrigerador se volvió el producto más popular del país, y por 1950, se encontraba en mas del 90% de las casas en los Estados Unidos de América.

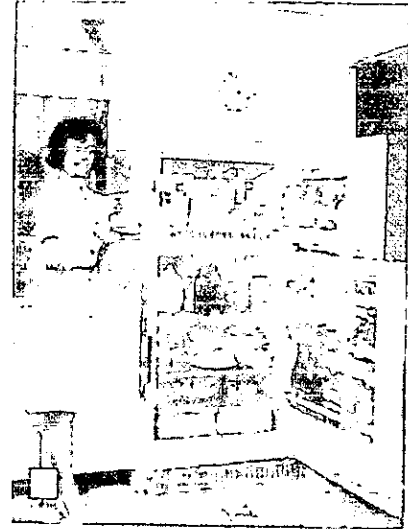


La computadora UNIVAC era más grande que la mitad de una sala de juntas de 80 m², la máquina automáticamente calculaba el pago de cada obrero, computaba su pago neto después de deducir y retener el impuesto, seguro social, deducciones de jubilación, y compras a crédito.

La computadora UNIVAC se arrendó de la Corporación Rémington Rand, y después de que fue instalada, tomó a la computadora ocho horas para completar automáticamente el cálculo de los sueldos de los 9,600 empleado.



(Izq.) 1956, año en que GE promociona el refrigerador con puertas de sello magnético, refrigerador arriba y congelador abajo.



(Der.) 1965, año de lanzamiento del refrigerador con el revolucionario sistema de deshielo llamado "Mobil Cold".



In So. California and Nevada
you'll save 20% on your electric bill
and save on the...

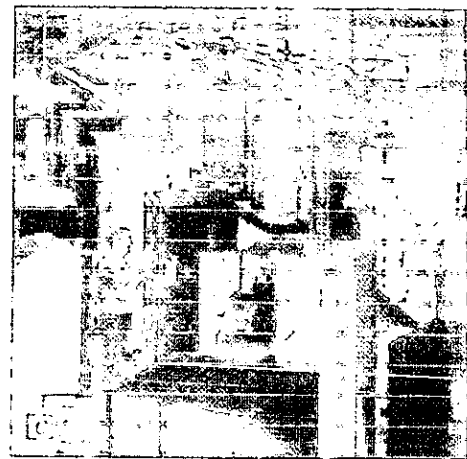
In the North Texas area,
you can save 20% on your electric bill

In the Cincinnati area,
you can save 20% on your electric bill

In the Indianapolis area,
you can save 20% on your electric bill

For the best heat summer's heat
and save up to \$2000

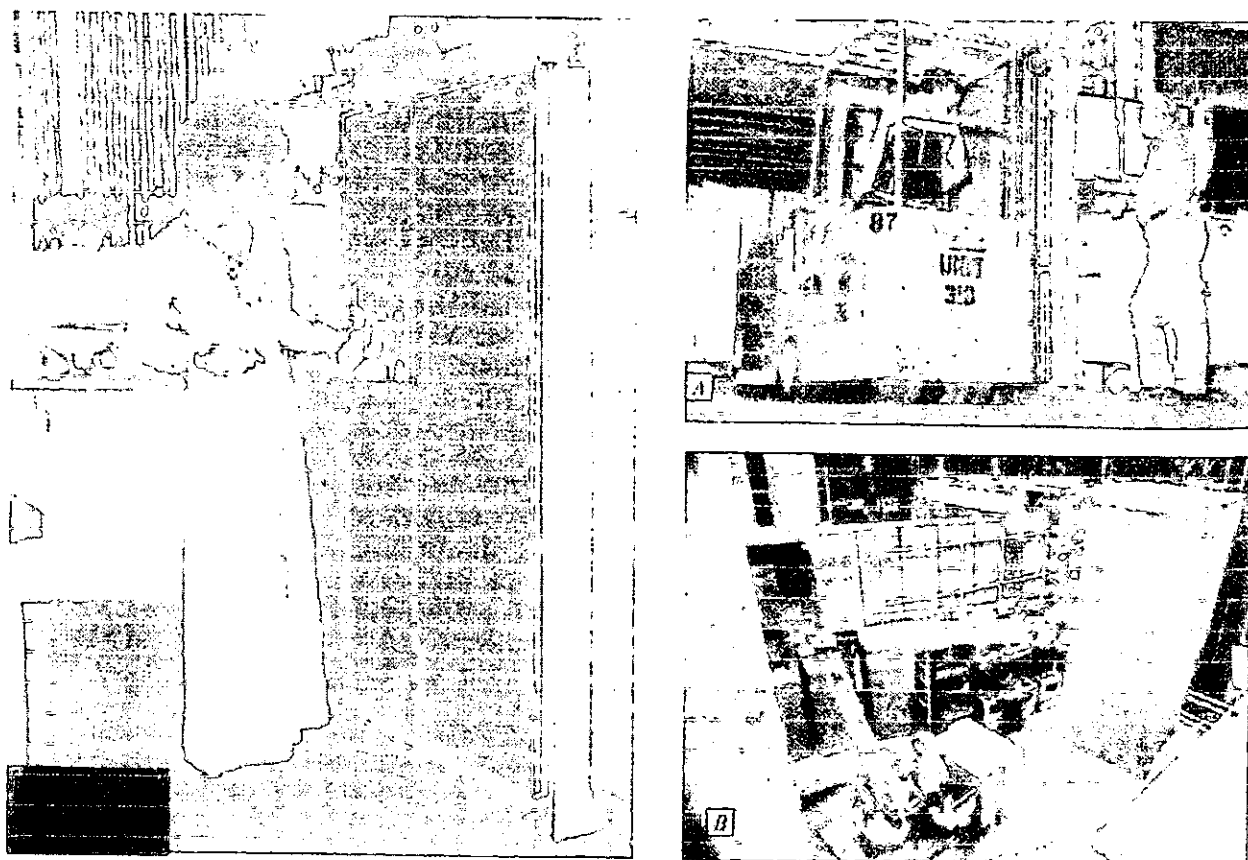
at the GE Electric Company, Inc.



A.- 1967, año en que el refrigerador Duplex era el producto mas completo de General Electric.

B.- Un distribuidor lanza una campaña de "ahorro hasta de 20 dólares" usando un aire acondicionado de General Electric.

C.- El refrigerador Duplex marca Hotpoint se ensambla en la planta de Bloomington, IN.



(Arr. Izq.) 1969, año en el que el refrigerador cuenta con un despachador de hielos, agua fría y caliente a través de la puerta.

(Arr. Der.) A y B.- 1971, Año en que se consolida la producción masiva de refrigeradores.



Comparativo entre los modelos de refrigeradores de los años 1927 y 1973



(Izq.) 1974 año en el que se produjo el refrigerador 20 millones.



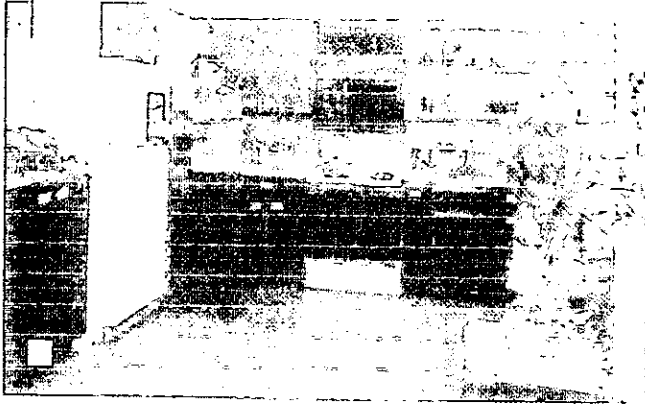
(Der.) 1975 año en que se introduce el despachador de hielo a través de la puerta en el refrigerador de dos puertas.



(Izq.) Las modernas cocinas integrales y el refrigerador Duplex del año 1976.

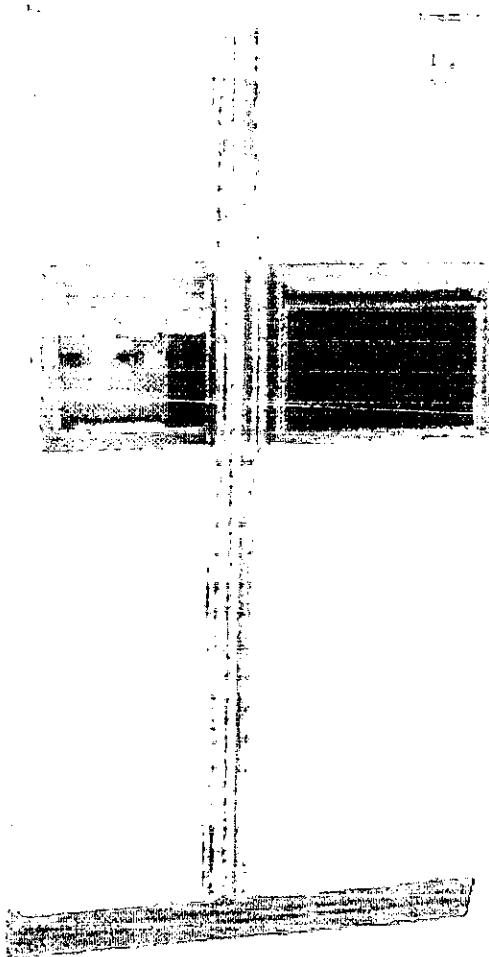
(Der.) Los hermanos POLK y General Electric celebran los 50 años de la refrigeración eléctrica en 1977.



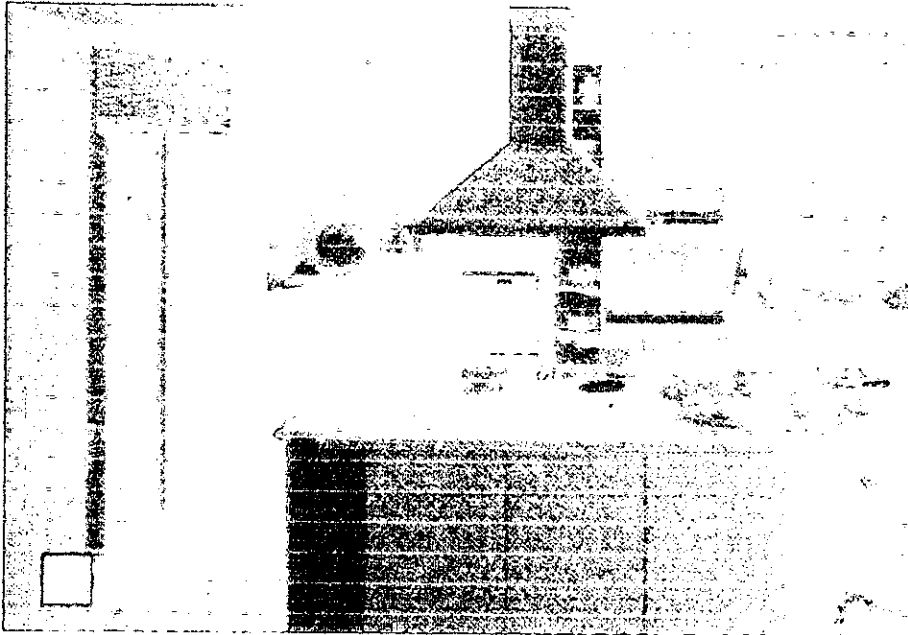


(Izq.) En 1985 se introduce el "compartimiento refrescante" en los refrigeradores de dos puertas.

(Der.) En el cincuentenario de la refrigeración se introdujeron al mercado modelos con colores almendra y ónix.



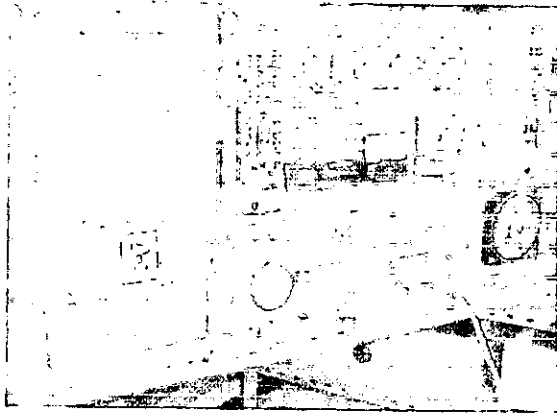
(Izq.) 1986 año en el que se lanza al mercado el primer refrigerador con controles electrónicos.



En el año 2001 la modernidad y el lujo están presentes en los diseños de los refrigeradores Duplex.

Estos modelos de refrigeradores tienen el mismo sistema de refrigeración que los modelos económicos que se puedan encontrar en el mercado, la diferencia suele darla el precio al consumidor y los acabados.

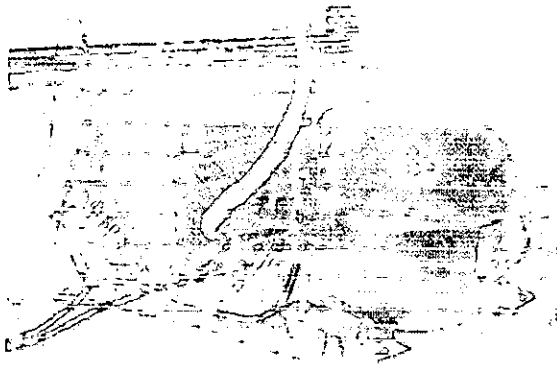
PROTOTIPO DEL SISTEMA DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN:



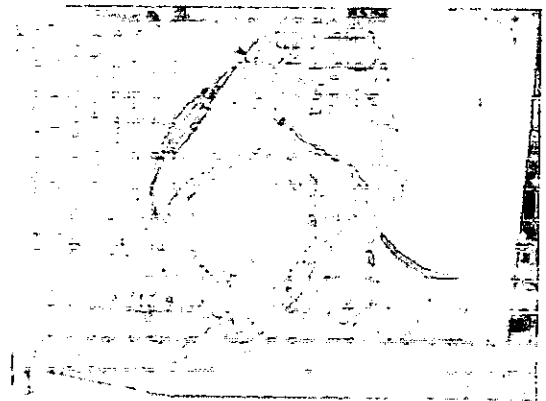
PANEL DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN: PRESIÓN, TEMPERATURA, POTENCIA, VOLTAJE, AMPERAJE, TERMOSTATO, LUCES INDICADORAS Y SELECTOR DE LOS SISTEMAS DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN O RADIACIÓN.



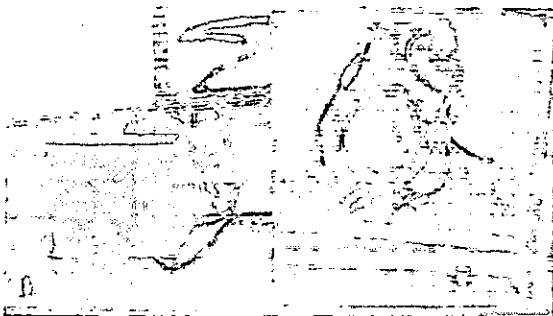
PARTE POSTERIOR DEL PANEL DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN: TRANSDUCTORES TRANSDUCTORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE, TIMER, CABLEADO ELECTRICO Y LINEAS DE PRESIÓN.



LADO DE ALTA PRESIÓN: COMPRESOR, CONDENSADOR, TUBO CAPILAR Y FILTRO DESHIDRATADOR. INTERCAMBIADOR DE CALOR "LÍNEA DE SUCCIÓN Y TUBO CAPILAR.



EVAPORADOR Y ACUMULADOR DE FREON, RESISTENCIAS ELÉCTRICAS Y DE CONDUCCIÓN Y RADIACIÓN. CHAROLA PARA RECOLECCIÓN DE LA ESCARCHA FUNDIDA.



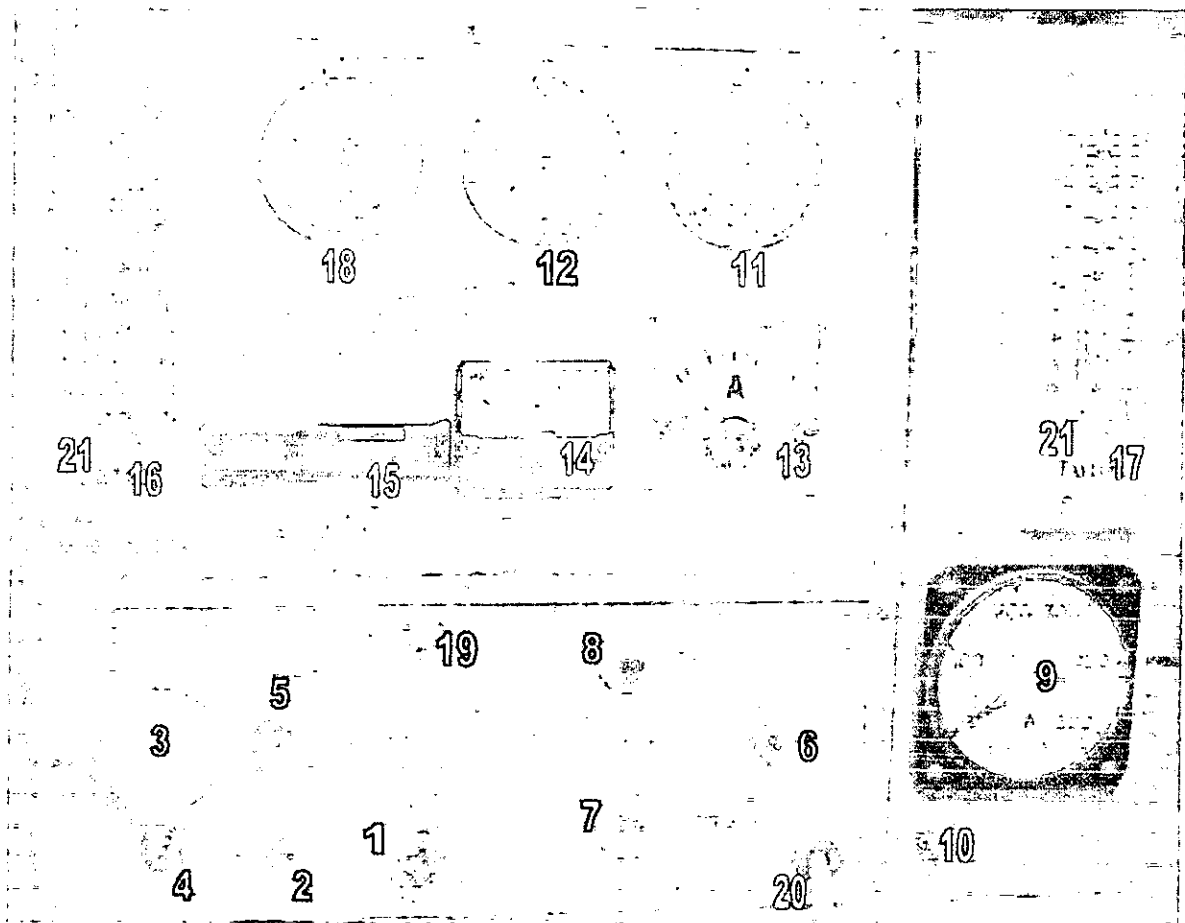
LADO DE ALTA Y BAJA PRESIÓN: EVAPORADOR Y CONDENSADOR. LÍNEA DE SUCCIÓN, FILTRO DESHIDRATADOR, VENTILADOR DEL CONDENSADOR Y CHAROLA RECOLECTORA DE LA ESCARCHA FUNDIDA.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE CONSUMO DE ENERGÍA, EMPLEANDO EL PROTOTIPO DE LOS SISTEMAS DE DESHIELO POR CONDUCCIÓN Y RADIACIÓN.

El prototipo de los sistemas de deshielo por conducción y radiación, cuenta con todos los elementos que componen a un refrigerador doméstico.

El prototipo posee el sistema de deshielo convencional (por medio de una resistencia cal-rod), y el sistema de deshielo por conducción (por medio de una resistencia flexible) propuesto en esta tesis como una alternativa en el ahorro del consumo de energía.

IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN EL PANEL DEL PROTOTIPO.

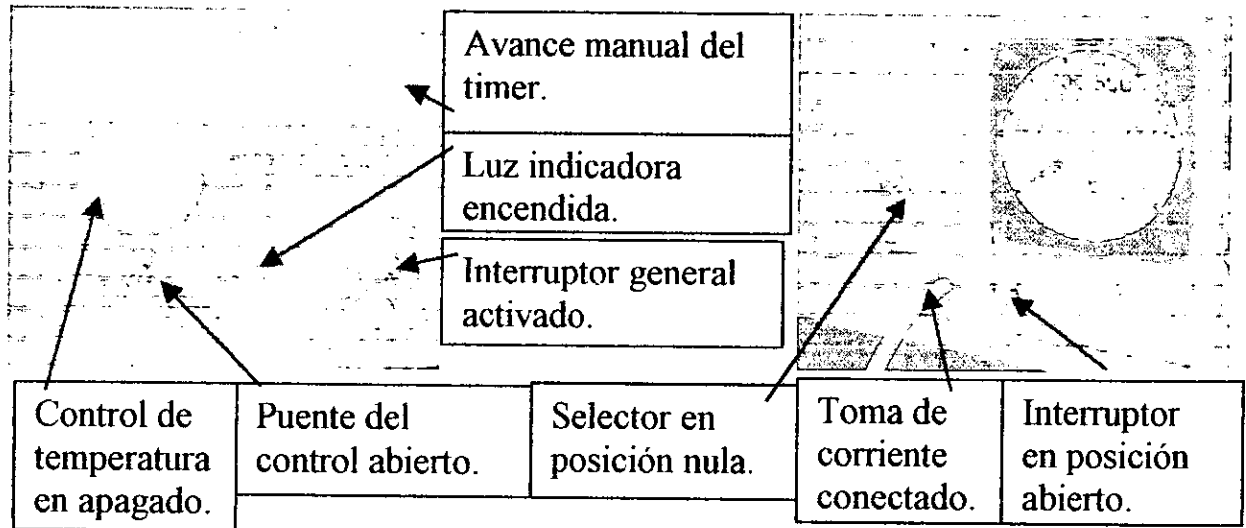


1. Interruptor general.
2. Luz indicadora del interruptor general.
3. Perilla del control de temperatura.

4. Puente del control temperatura.
5. Luz indicadora del compresor activo.
6. Selector del sistema de deshielo.
7. Luz indicadora del sistema de deshielo por radiación activo.
8. Luz indicadora del sistema de deshielo por conducción activo.
9. Registrador de potencia (Watt).
10. Interruptor del watt-metro.
11. Presión de descarga.
12. Presión de condensación.
13. Amperímetro.
14. Voltímetro.
15. Temperatura de descarga.
16. Temperatura de evaporación.
17. Temperatura de condensación.
18. Presión de succión.
19. Avance manual del temporizador "timer".
20. Cordón toma-corriente.
21. Temperatura ambiente.

A continuación se detalla el funcionamiento del prototipo y la secuencia de pasos a seguir para tomar lecturas y mediciones necesarias en la evaluación del consumo de energía de ambos sistemas de deshielo.

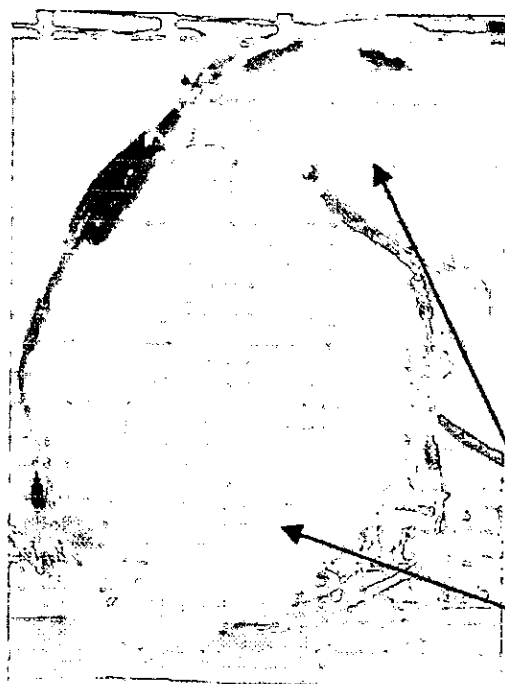
Paso 1: Antes de conectar el cable toma-corriente a una salida de 127 V, se debe verificar que la posición del control de la temperatura este en apagado y su puente abierto, la posición del selector del sistema de deshielo sea nula y que el interruptor del watt-metro este desactivado, posteriormente se activa el interruptor general, esta acción energiza todo el sistema.



Paso 2: Con un desarmador plano se gira en sentido horario el avance del timer hasta que se escuche un “clic”, en esta posición el timer estará energizando el sistema de deshielo, pero, como el selector del sistema de deshielo está en la posición nula no habrá ningún efecto de calentamiento en ninguna de las resistencias, sólo transcurrirán los 40 minutos correspondientes al tiempo de deshielo, si se quiere ahorrar este tiempo se debe hacer girar el avance del timer en el sentido horario hasta que se escuche un segundo “clic”.

Se elige la posición del control de temperatura, éste tiene una graduación de 0 a 10, siendo la posición 10 la más fría, si se quiere que el compresor trabaje de manera continua se debe activar el puente del control de temperatura, se encenderá la luz ámbar situada al lado de la perilla del control de temperatura, esta acción pondrá en marcha al compresor.

Paso 3: Se espera un periodo de 8 horas de trabajo del compresor, si el puente del control de temperatura está activado este periodo transcurrirá en 8 horas, si el puente está desactivado este periodo transcurrirá en aproximadamente 11 horas con 12 minutos, ya que el porcentaje de trabajo del compresor en ciclos es del orden del 60 %, esta acción saturará al evaporador y al acumulador de escarcha.

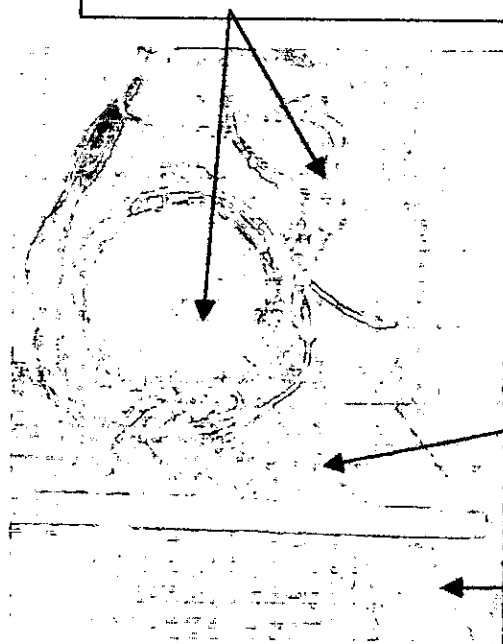


Paso 4: Se selecciona el sistema de deshielo deseado, una vez que el compresor haya concluido su ciclo de ocho horas de trabajo, el timer energizará a las resistencias del sistema de deshielo previamente seleccionado, por ejemplo, si se selecciona el sistema de deshielo por conducción se encenderá la luz indicadora de color verde, si se selecciona el sistema de deshielo por radiación se encenderá la luz indicadora de color rojo, esta acción activa el proceso de deshielo.

Acumulador saturado de escarcha.

Evaporador saturado de escarcha.

Escarcha en fase de fusión.



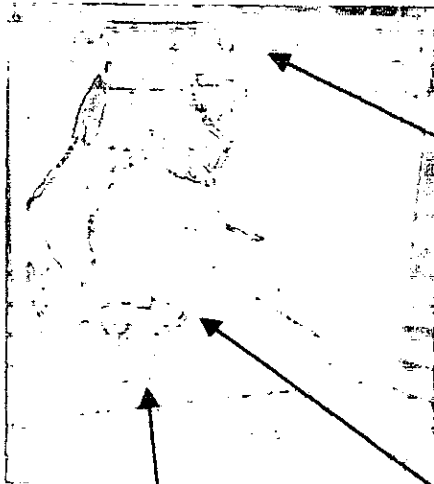
Paso 5: Se procede a esperar a que transcurran los 40 minutos del proceso de deshielo, y al final de éste se recolecta y se registra el volumen y temperatura del agua producto de la escarcha fundida, esta acción ejecuta el proceso de deshielo.

Charola de deshielo.

Recolección de escarcha fundida

Paso 6: Se registran las siguientes lecturas: potencia, volumen y temperatura del condensado, temperatura del evaporador antes de que inicie el proceso de deshielo y tiempo del proceso de deshielo, para posteriormente hacer los cálculos necesarios para determinar el consumo de energía de cada sistema.

OBSERVACIONES:

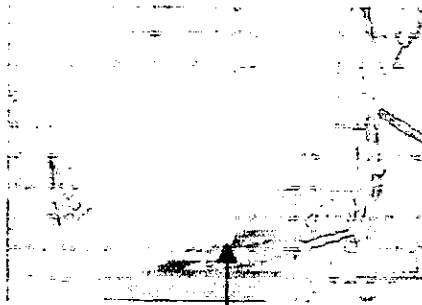


El deshielo por radiación tarda más tiempo en fundir la escarcha del acumulador, ya que es el punto más alejado de la resistencia.

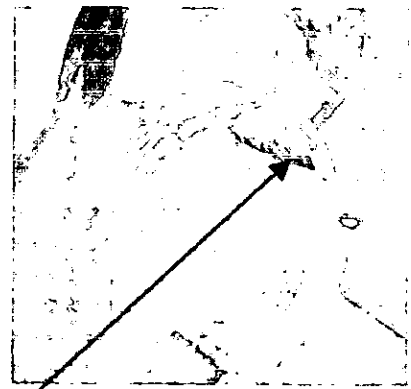
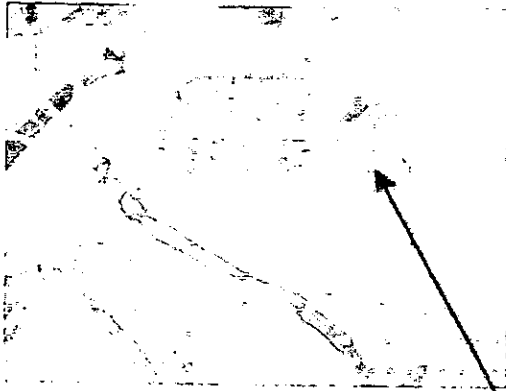
Resistencia.

La resistencia cal-rod también necesita una resistencia auxiliar flexible adherida a la charola de deshielo, para fundir la escarcha que cae en bloques y evitar que se bloquee el tubo de drenaje.

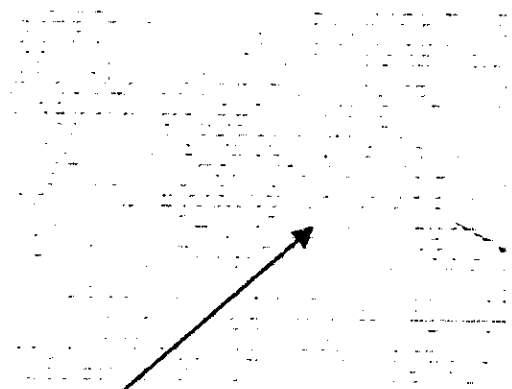
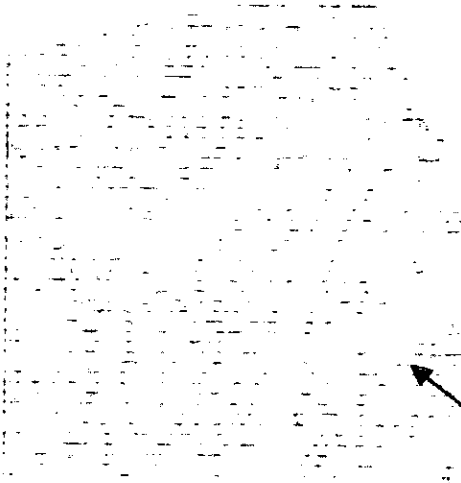
Acumulador con escarcha remanente la cual se acumula para el siguiente ciclo de operación, tomando más difícil su deshielo.



La radiación funde la escarcha de su superficie hacia dentro, provocando ruido cuando el goteo de la escarcha toca a la resistencia caliente.



La resistencia por fricción en el agua de las embarcaciones se incrementa más rápido la estancha y calentando menos el agua. Manteniendo el consumo del combustible con un consumo constante de energía.



La resistencia por fricción en el agua de las embarcaciones se incrementa más rápido la estancha y calentando menos el agua. Manteniendo el consumo del combustible con un consumo constante de energía.

DIAGRAMA p-h DEL CICLO DE REFRIGERACION

h(Btu/lbm) vs. P(psia) with State Points and Saturation Curves for Fluid: R-134A

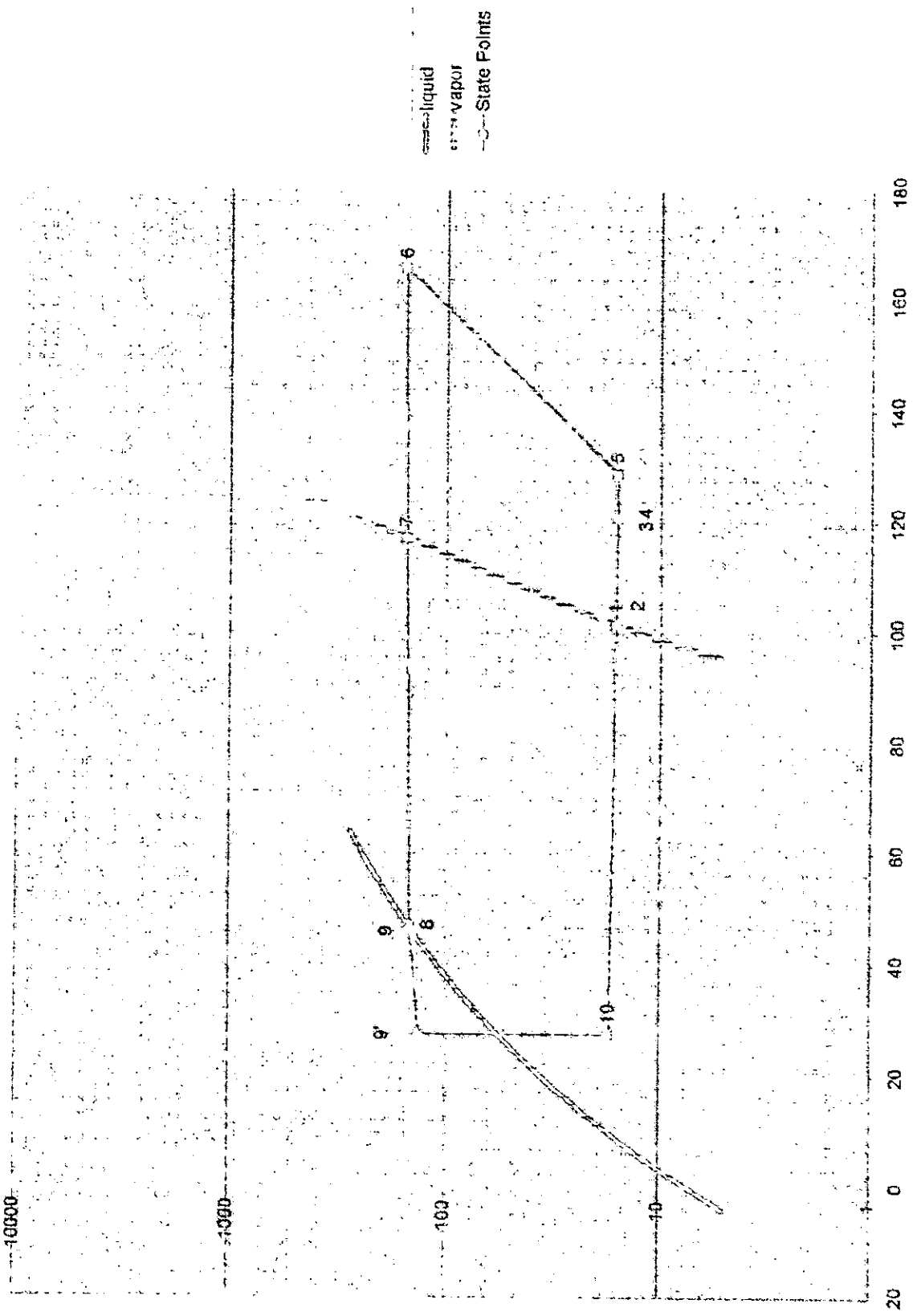
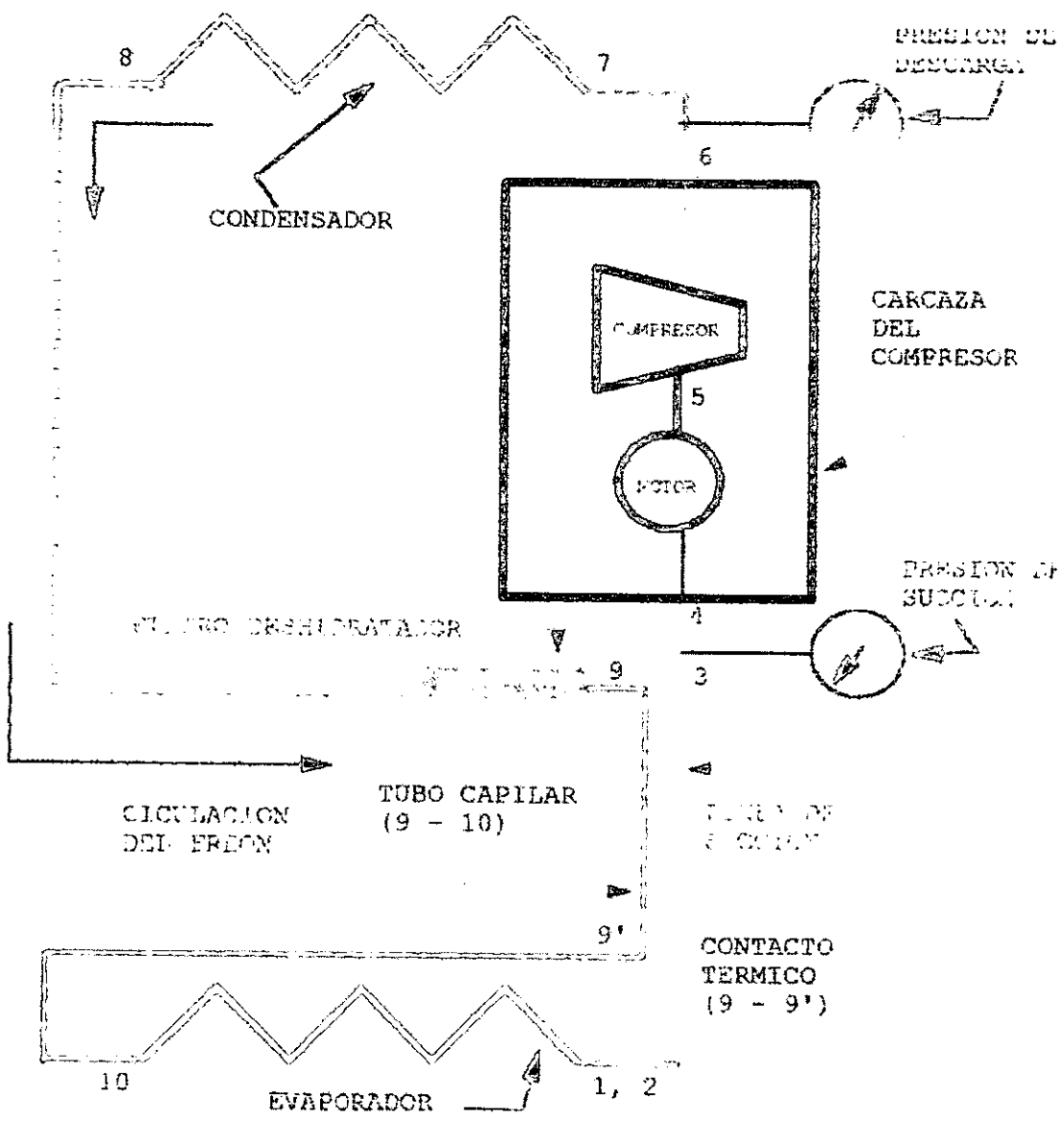
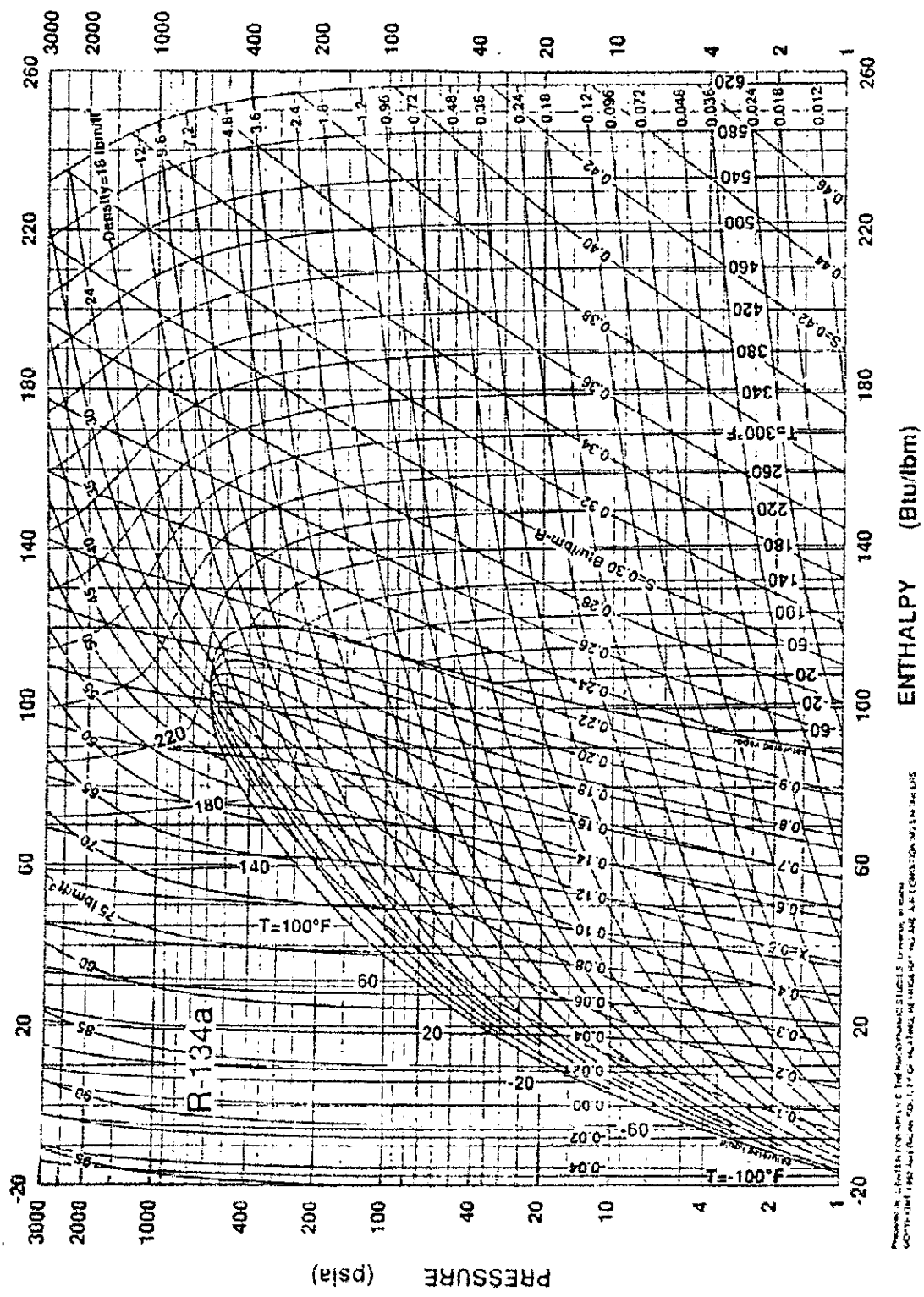


DIAGRAMA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION

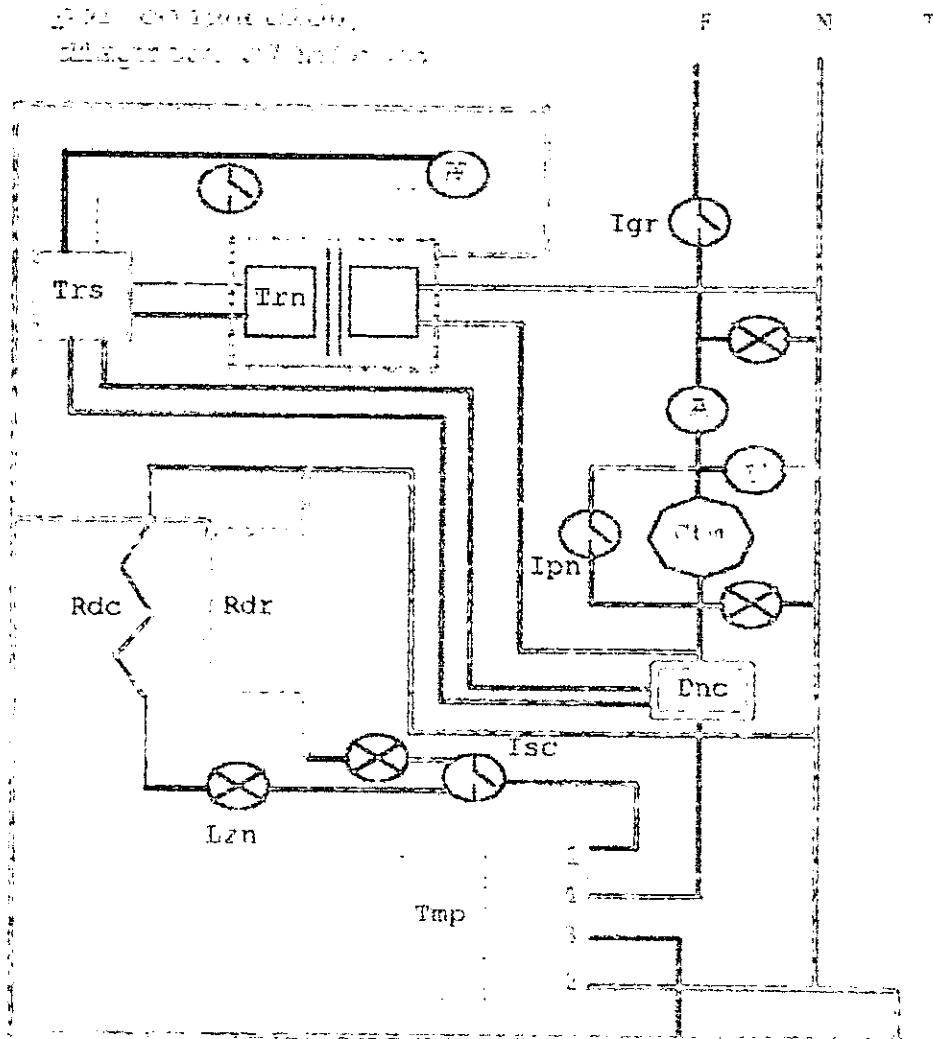




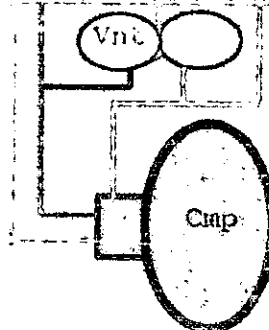
PROPERTIES OF R-134A (1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE) FROM THE REFERENCE STATE OF SATURATED LIQUID AT 0°F AND 101.063 psia. SOURCE: ASHRAE THERMODYNAMIC PROPERTIES OF R-134A (1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE) FROM THE REFERENCE STATE OF SATURATED LIQUID AT 0°F AND 101.063 psia. SOURCE: ASHRAE THERMODYNAMIC PROPERTIES OF R-134A (1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE) FROM THE REFERENCE STATE OF SATURATED LIQUID AT 0°F AND 101.063 psia.

Diagrama de conexión
para el sistema de
energía de un vehículo

LINEA

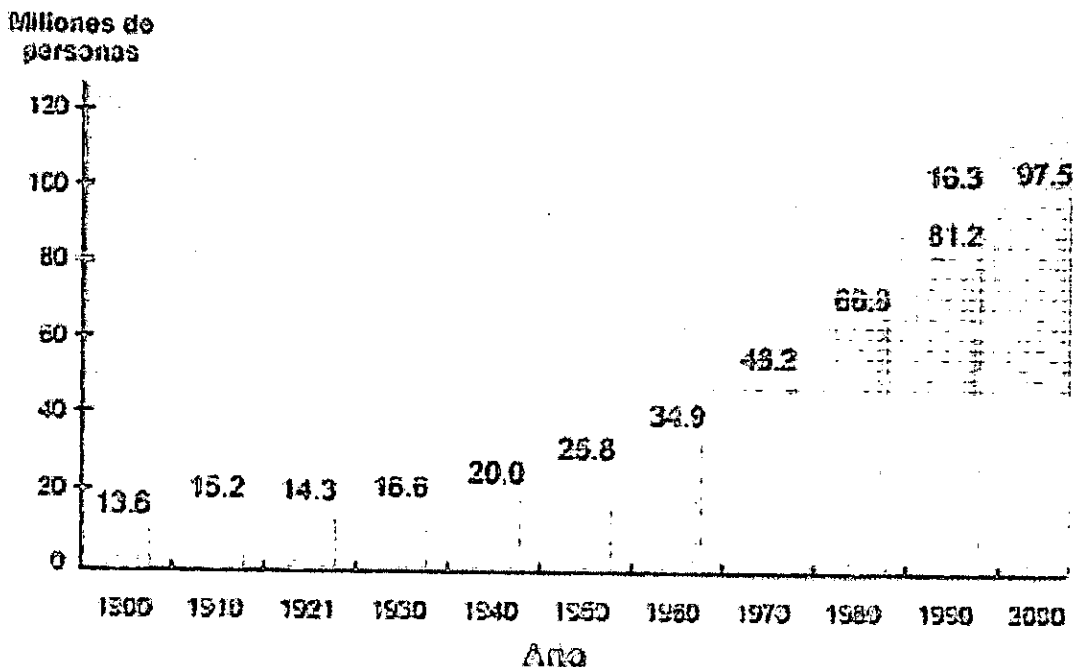


- Cmp = Compresor.
 Tmp = Temporizador.
 Lzn = Luz indicadora.
 Vnt = Ventilador.
 A = Amperímetro.
 V = Voltmetro.
 W = Wátmetro.
 F = Fase.
 N = Neutro.
 T = Tierra.
 Trs = Transductor de
 0-5ACA/0-10VCD.
 Rdc = Resistencia de deshielo
 por conducción.
 Rdr = Resistencia de deshielo
 por radiación.
 Igr = Interruptor general.
 Ipn = Interruptor puente.
 Ctm = Control temperatura.
 Dnc = Dona de inducción de
 corriente 0-50/0-5A.
 Trn = Transformador de voltaje
 127 VCA / 24 VCD.
 Isc = Interruptor selectivo.

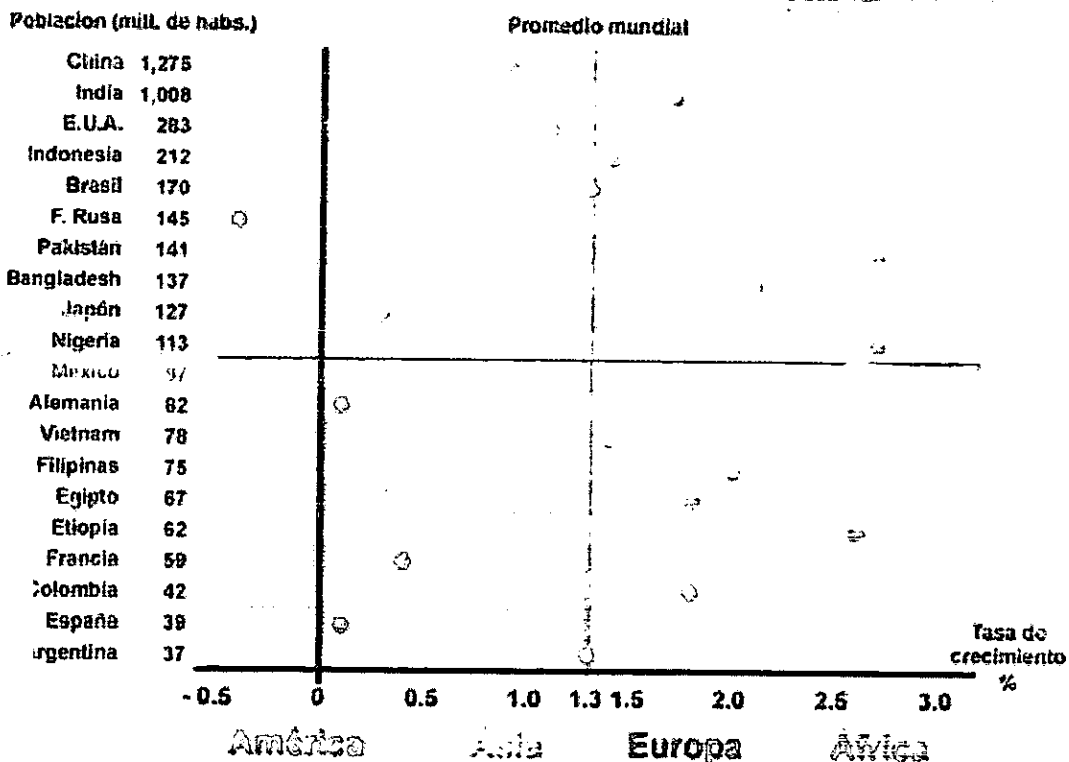


¿Cuántos somos y cómo crecemos?

Población residente, 1900-2000

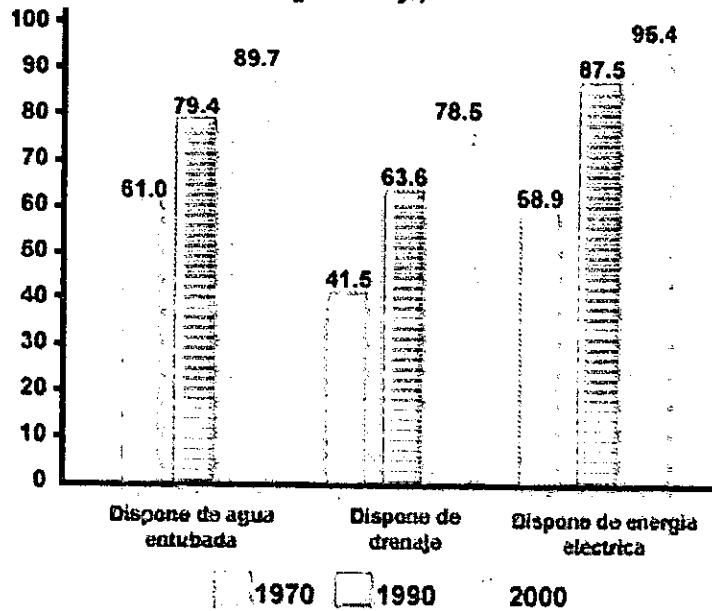


¿Cómo estamos respecto a otros países?

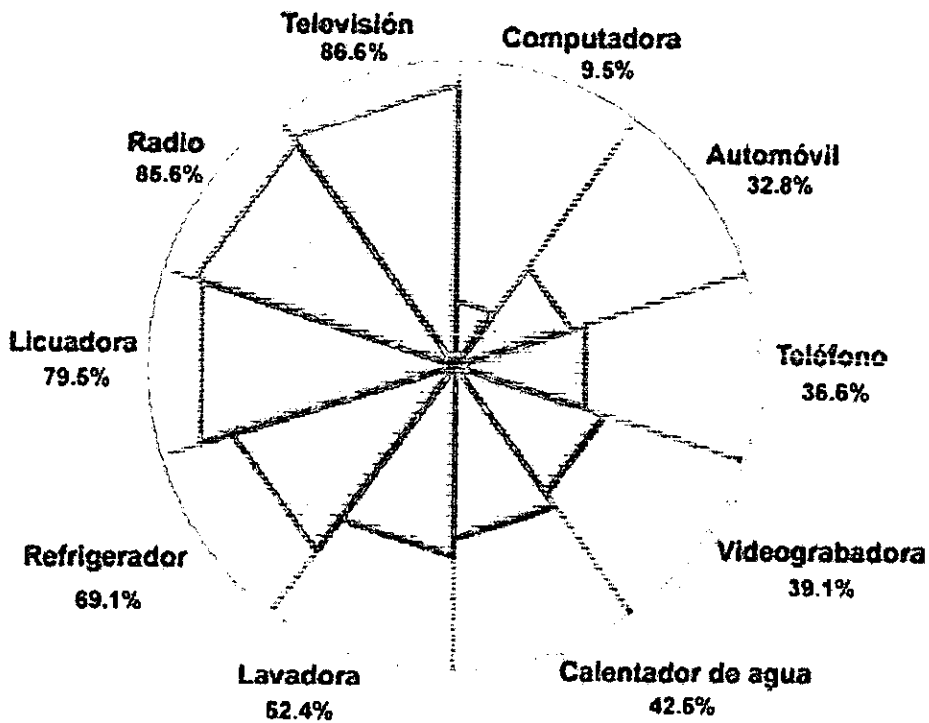


¿Han mejorado los servicios urbanos?

**Viviendas, según disponibilidad de servicios,
1970, 1990 y 2000**
(porcentaje)



¿De qué equipamiento disponen las viviendas?



BIBLIOGRAFÍA

BASIC COURSE IN REFRIGERATION ENGINEERING.
HORVAY, J. B.,
GE PUBLISHED.

TERMODINÁMICA
FAIRES, V. M.
McGRAW-HILL.

CALOR Y TERMODINÁMICA
ZEMANSKY, M. W.
McGRAW-HILL.

FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA.
GORDON J. VAN WYLEN Y RICHARD E. SONNTAG.
LIMUSA.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

A WALK THROUGH THE PARK.
FRANKLIN FRIDAY.
ELFUN HISTORICAL SOCIETY.

DEFROST SYSTEMS FOR DOMESTIC REFRIGERATION.
AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION CENTER.
UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA CHAMPAIGN.

MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN.
CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY.

HEAT TRANSFER.
MAX JACOB.
JOHN WILEY & SONS.