



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

78a

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

"PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN  
EQUIPO DIDÁCTICO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS  
DE COMPRESORES MONOFÁSICOS APLICADOS  
A LA REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN  
MECÁNICA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
P R E S E N T A N:  
JOSÉ JESÚS MÉNDEZ RÍOS  
RAÚL AGUIRRE TOVAR

ASESOR:

ING. ALEJANDRO RODRÍGUEZ LORENZANA

MÉXICO

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

## AGRADECIMIENTOS

DE JOSE JESUS MENDEZ RIOS

RAUL AGUIRRE TOVAR

AL SEÑOR A ESE SER TODO PODEROSO QUE NOS  
PROPORSIONO LA VIDA, LA INTELIGENCIA Y TODAS  
LAS CAPACIDADES NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS  
METAS AL SERVICIO DEL EL, DE NUESTROS  
SEMEJANTES Y A SATISFACCION PROPIA

A MI PADRE Y A LA MEMORIA  
DE MI MADRE

A MIS PADRES

FRANCISCO MENDEZ AVILA  
LIDUVINA RIOS VARGAZ

RODOLFO AGUIRRE GARCIA  
EUNICE TOVAR MIRANDA

POR MOSTRARNOS SIEMPRE EL CAMINO DEL AMOR  
LA PACIENCIA, LA CONSTANCIA Y LA HONRADEZ.

A MI ESPOSA E HIJO

MARTHA ESPINOSA HERNANDEZ  
VICTOR RAUL AGUIRRE HESPINOSA

QUE HAN SIDO UNA GRAN  
BENDICION EN MI VIDA

A MIS HERMANAS Y HERMANO

A MI HERMANA Y MIS HERMANOS

REFUGIO  
HERMELINDA  
ALICIA  
ADOLFO

EUNICE  
MARIO  
ALEJANDRO

POR EL AMOR, CONFIANZA Y  
EL APOYO SIEMPRE  
ME HAN BRINDADO.

A LOS FAMILIARES, AMIGOS Y COMPAÑEROS

ADRIANA, ARTURO, EFREN, LUIS, JUAN ANTONIO, ROBERTO.

QUE DE UNA U OTRA FORMA SIEMPRE NOS APOYARON CON CONSEJOS  
PROPORCIONANDONOS

INFORMACION ALENTANDONOS Y PERMANECIENDO SERCA DE NOSOTROS EN TODO  
MOMENTO.

FINALMENTE DESEAMOS DEDICAR ESTE TRABAJO DE MANERA  
ESPECIAL Y COMO UNA MOTIVACION EN SUS ESTUDIOS A  
NUESTROS SOBRINOS Y SOBRINAS

RUBEN ISRAEL, ARIANA, BEATRIZ, MARIO, ALEJANDRO, ANDREA, GEMA, YASMIN.

LAURA, BLANCA, LIDUVINA, MIGUEL ANGEL, JUAN FRANCISCO, AMEYALI, RUBEN,  
GUADALUPE, JAVIER, RUBEN, DANIEL, YOLANDA, ROSALINDA.

QUISIERA SEÑALAR, QUE LA PRESENTE INVESTIGACION ES RESULTADO DE MI  
FORMACION ACADEMICA, Y QUE EN ÉSTA, FUERON PARTE IMPORTANTE MIS MAESTROS  
Y AL HONORABLE JURADO:

ING.: ALEJANDRO RODRIGUEZ LORENZANA.(ASESOR)

ING. JORGE ANTONIO RODRIGUEZ LUNA

ING.: ADRIAN PAREDES ROMERO.

ING.: RODRIGO OCÓN VALDEZ

ING. HECTOR OSORIO RAMIREZ

EL QUE TRABAJA CON LAS MANOS, ES UN ARTESANO.  
EL QUE EMPLEA EN SU OBRA MANOS Y CEREBRO, ES UN  
ARTIFICE; QUIEN LABORA CON MANOS, CEREBRO Y  
CORAZON ES UN ARTISTA.

LOUIS NIZER.

## INDICE

	Pág.
TITULO DE LA TESIS.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	1
OBJETIVOS PARTICULARES.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3

### CAPITULO 1.

#### "ANTECEDENTES TEÓRICOS DE REFRIGERACIÓN."

1.1 NATURALEZA DEL CALOR.....	6
1.1.1 ENERGÍA CALORÍFICA.....	6
1.2 CONSERVACION DE LA ENERGIA.....	7
1.2.1 MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA.....	8
1.2.2 PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGIA.....	10
1.3 CALOR Y TEMPERATURA.....	11
1.4 TERMODINAMICA.....	11
1.4.1 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA.....	11
1.4.2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.....	12
1.5 AREAS DE APLICACIÓN DE LA TERMODINÁMICA.....	12
1.6 REFRIGERACIÓN.....	13

### CAPITULO 2.

#### "ELECTRICIDAD BÁSICA."

2.1 TEORÍA DEL ELECTRÓN.....	16
2.2 FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	17
2.3 CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE.....	19
2.4 LEY DE OHM.....	23
2.5 CIRCUITO EN SERIE.....	26
2.6 CIRCUITO EN PARALELO.....	30
2.7 CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA.....	34
2.8 INDUCTANCIA-CAPACITANCIA-REACTANCIA.....	35
2.9 FACTOR DE POTENCIA.....	39

### CAPITULO 3.

#### "CICLOS TERMODINÁMICOS EN REFRIGERACIÓN."

3.1 EL CICLO DE CARNOT.....	42
-----------------------------	----

3.2	CICLO INVERSO DE CARNOT.....	44
3.3	CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA....	46
3.3.1	CICLOS DE COMPRESIÓN DE VAPOR.....	47
3.3.2	PROCESO DE EVAPORACIÓN.....	47
3.3.3	PROCESO DE COMPRESIÓN.....	48
3.3.4	PROCESO DE CONDENSACIÓN.....	48
3.3.5	PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO.....	48

#### CAPITULO 4.

##### "CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS."

4.1	LISTA DE PARTES REQUERIDAS.....	51
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DE LAS PARTES.....	52
4.3	ENSAMBLAJE DE LAS PARTES REQUERIDAS.....	55

#### CAPITULO 5.

##### "PRUEBAS DEL EQUIPO"

5.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL COMPRESOR DEL BANCO DE PRUEBAS.....	57
5.2	DESCRIPCIÓN ELÉCTRICA DEL COMPRESOR DEL BANCO DE PRUEBAS.....	59
5.3	MOTORES DE FASE DIVIDIDA.....	62
5.4	CAPACITORES DE ARRANQUE.....	63
5.5	RELEVADORES DE ARRANQUE.....	65
5.6	CAPACITORES DE POTENCIA.....	66
5.7	RELEVADORES DE POTENCIA.....	67
5.8	CONTROLES DE PRESIÓN.....	69
5.9	CONTROLES DE TEMPERATURA.....	71

CONCLUSIONES.....	73
-------------------	----

#### APÉNDICE A

##### " PRÁCTICAS PROPUESTAS"

PRÁCTICA 1.....	76
PRÁCTICA 2.....	78
PRÁCTICA 3.....	80
PRÁCTICA 4.....	82
PRÁCTICA 5.....	84

PRÁCTICA 6.....	86
-----------------	----

## APÉNDICE B

### "TABLAS DE FALLAS ELÉCTRICAS"

FALLA: EL COMPRESOR ARRANCA Y TRABAJA PERO LUEGO SE CORTA.....	89
FALLA: CAPACITOR DE ARRANQUE QUEMADO .....	89
FALLA: CAPACITOR DE OPERACIÓN QUEMADO.....	90
FALLA: RELEVADOR DE POTENCIAL ESTA QUEMADO.....	90
FALLA: EL COMPRESOR NO ARRANCA .....	91
FALLA: EL COMPRESOR ARRANCA PERO OPERA CON EL DEVANADO DE ARRANQUE .....	92
FALLA: EL COMPRESOR NO ARRANCA NI ZUMBA.....	92

BIBLIOGRAFÍA.....	93
-------------------	----

## TÍTULO DE TESIS

"PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDACTICO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS DE COMPRESORES MONOFÁSICOS APLICADOS A LA REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA."

## OBJETIVO GENERAL

Proponer la construcción de un banco de pruebas eléctricas de compresores monofásicos aplicados a la refrigeración por compresión mecánica, para que el laboratorio de máquinas térmicas cuente con equipo y material mas práctico y el egresado de la UNAM-ENEP Aragón sepa cuales son los problemas reales con los que se va a enfrentar en la industria del área de la refrigeración y aire acondicionado.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- A) Hacer una descripción general del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.
- B) Remarcar la importancia que tiene la parte eléctrica con el compresor del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.
- C) Investigar todos las posibles fallas y soluciones eléctricas más comunes de un compresor monofásico.
- D) Propiciar que el alumno despierte su creatividad y se de cuenta de los problemas reales al construir dicho banco de pruebas.
- E) Analizar que en la Ingeniería, al ver sus aplicaciones, el campo de la mecánica y la electrónica siempre van relacionadas y de la mano.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se elaborará con el fin de obtener toda la información que sea posible investigar, acerca de los compresores monofásicos aplicados a la refrigeración por compresión mecánica.

Durante la carrera de ingeniería mecánica eléctrica se nos dota de todas las bases teóricas necesarias para poder aplicarlas en problemas reales en la industria o para satisfacer una necesidad de la sociedad. Pero desgraciadamente el conocimiento práctico se nos a negado al implementar equipos que solo el instructor a operado. Por lo que proponemos que este pequeño banco de pruebas haga reflexionar al alumno sobre los problemas reales a los que se va enfrentar en la industria. Así de ese modo evitar la "novatada" en su campo de trabajo.

Este trabajo establece los criterios fundamentales que se deben de seguir para hacer un buen análisis acerca de las conexiones, elementos eléctricos básicos y fallas de éstos en un compresor monofásico aplicado a la refrigeración por compresión mecánica.

Dejar un manual de referencia de este componente básico del ciclo de refrigeración por compresión mecánica, para que futuras generaciones puedan tener esta obra como material de consulta, ó ¿por qué no? Mejoralo para su trabajo recepcional de titulación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCIÓN

La refrigeración siempre a acompañado al hombre desde que éste empezó a tener conocimiento de las cosas mediante la observación.

Aún cuando los primeros antepasados del hombre, conocieron y observaron los efectos del frío, la historia nos hace referencia de éstos fenómenos naturales de la refrigeración. Los chinos fueron los primeros en recolectar y almacenar hielo del invierno empacándolo en paja o hierba seca, para su uso en los meses del verano.

Fue en la década de 1900 cuando se desarrollo la refrigeración industrial mediante el uso del ciclo mecánico; empacadoras de carne, carnicerías, cervecerías y otras industrias, empezaron a hacer uso completo de la refrigeración mecánica.

Con el crecimiento de la industria eléctrica y del alambrado de casas, los refrigeradores domésticos se popularizaron, sustituyendo a las cajas de hielo. El creciente interés en los refrigeradores domésticos fue apoyado por el diseño de motores eléctricos, de baja potencia, para operar los compresores en "cajas de hielo" mecánicas. Después de 1920 estos utensilios han sido producidos en gran número y han llegado a ser una necesidad para todos, más bien que un lujo para pocos.

Actualmente mas de tres cuartas partes de la comida que aparece en las mesas cada día, se produce, se empaqa, se embarca, se almacena y se preserva por medio de la refrigeración.

La preservación y el transporte de comida es tan común en nuestros días que es difícil imaginar un mundo sin el uso de la refrigeración.

En estos tiempos con tantos cambios, el panorama ocupacional del egresado ingeniería mecánica eléctrica en refrigeración y aire acondicionado es el siguiente:

De cada \$10,000,000.00 de equipo instalado se necesitan los siguientes empleados:

- 1 Ingeniero graduado.
- 11 Mecánicos de refrigeración y aire acondicionado.
- 12 Ayudantes de refrigeración y aire acondicionado.
- 2 Mecánicos metalistas.
- 1 Ayudante metalista.
- 2 Vendedores.

Es muy común que un egresado de el sistema ENEP-UNAM pueda especializarse en cualquiera de estas áreas. Por lo que no es raro verlo ofreciendo equipo, construyendo ductos de aire acondicionado, supervisando proyectos, promoviendo todo tipo de mejoras, etc.



## "ANTECEDENTES TEÓRICOS DE REFRIGERACIÓN."

### 1.1 NATURALEZA DEL CALOR.

Se admite que las moléculas de los cuerpos se están moviendo continua y desordenadamente en todas direcciones, y aunque, en un instante dado las velocidades con que se mueven las moléculas de un cuerpo son distintas, el valor medio de todas esas velocidades no lo es, sino que permanece constante a temperatura constante.

Entonces podemos deducir que el calor de un cuerpo consiste en la energía cinética del movimiento desordenado de sus moléculas y la temperatura de un cuerpo depende de la velocidad media de sus moléculas.



calor cedido al agua  $Q$

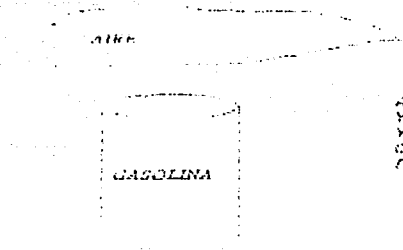
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 1.1** El calor cedido aumenta la velocidad de las moléculas.

#### 1.1.1 ENERGÍA CALORÍFICA.

La idea de que el calor es una forma de energía es relativamente moderna. Hasta mediados del siglo pasado se creía que el calor era un fluido indestructible, el calórico, que impregnaba todos los cuerpos y pasaba de unos a otros.

Al hacer el análisis del calor se descubrió que existe una transformación íntegra de trabajo en calor o viceversa, una cantidad de calor produce siempre la misma cantidad de trabajo. Demostraron que existe una relación constante entre la cantidad de calor consumido y el trabajo obtenido o entre el trabajo empleado y el calor producido.



*A UN AUTO LE ES NECESARIO GASOLINA Y AIRE, PROVOCAMOS UNA EXPLOSION Y EL AUTO NOS ESTRIGA UN TRABAJO. CONVERTIMOS UNA REACCION QUIMICA EN CALOR Y ESTE A SU VEZ EN TRABAJO.*



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 1.2** El calor se proporciona por la combustión y el trabajo por el movimiento del motor del auto.

## 1.2 LA CONSERVACION DE LA ENERGIA.

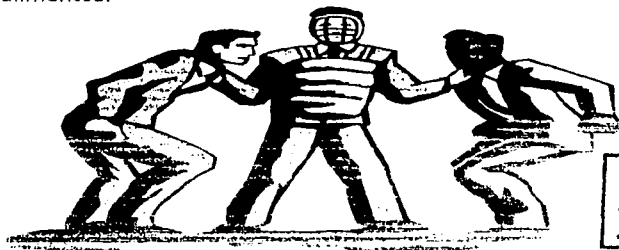
La palabra energía que empleamos bastante en física está estrechamente relacionada con el trabajo. Decimos que tiene energía todo aquello que es capaz de realizar un trabajo.

Los motores, los animales, las centrales eléctricas, etc. Son capaces de originar fuerzas y desplazarlas, efectuando un trabajo, son portadores de energía.

Medimos la energía de un cuerpo, por el trabajo que es capaz de realizar. Así las unidades de energía serán las mismas que las del trabajo: **Joule**.

Un motor eléctrico no funcionará si no recibe la energía eléctrica que lo pone en marcha, ni el motor de gasolina si no tiene el combustible que al quemarse en el interior le proporciona la energía necesaria.

El hombre y los animales poseen la energía que le suministran los alimentos.



**Figura 1.3** Las máquinas y animales transforman la energía que previamente han recibido de otras formas.

### 1.2.1 MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA.

La energía se manifiesta de distintas formas aunque, en esencia, se trate siempre de la misma energía. Estas distintas manifestaciones de la energía se pueden convertir en otras con equivalencias recíprocas y también en trabajo. La energía se mide en unidades de trabajo.

Estas formas bajo las cuales aparece la energía son las siguientes:

a) Energía Cinética.- Es la energía que llevan los cuerpos en su movimiento. Ejemplo: Las turbinas.

b) Energía Potencial.- Esta forma de energía no se manifiesta, sino que está almacenada en los cuerpos. La llamada energía atómica es una forma de ésta energía que está almacenada en los átomos de la materia.

c) Energía Calorífica.- Es la que se manifiesta en los cuerpos con mayor temperatura.

d) Energía Eléctrica.- Es la energía que lleva la corriente eléctrica, los rayos y los cuerpos electrizados. Se da por el movimiento de electrones de las moléculas.

e) Energía Luminosa.- Es la energía que se manifiesta por la luz que despiden al pasar de un espacio a otro.

f) **Energía Sonora.**- Es la energía que se emite por los cuerpos vibrantes que producen sonidos.

g) **Energía Química.**- Es la producida en fenómenos químicos como las combustiones y las reacciones entre las distintas materias con formación en otras nuevas. Por ejemplo cuando reacciona un combustible con el oxígeno.

h) **Energía Atómica.**- Las investigaciones atómicas han demostrado que algunos elementos químicos, pueden transformar parte de su masa en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein. La energía que se obtiene de desmaterializar un solo gramo de materia sería:

90 000 000 000 000 de Joules, o sea noventa billones de Joules, que es el equivalente a 25 millones de kilowatt-hora.

La enorme energía que se desprende de las explosiones de las bombas atómicas tiene este origen: parte de la masa de algunos elementos, como el uranio y el plutonio, que se convierte en energía.

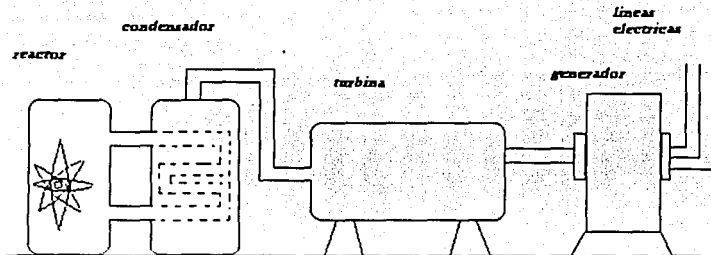
Concluyendo, la energía se pone de manifiesto de diversas formas como puede ser la luz, el calor, el movimiento, la electricidad, las explosiones, etc.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 1.4** Aprovechamiento de la conversión de energía eléctrica en energía luminosa para la seguridad del ser humano.





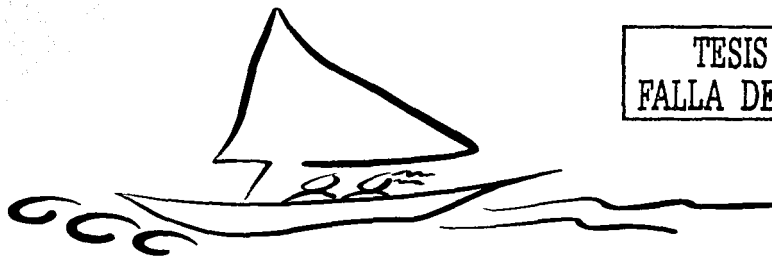
**Figura 1.5** Aplicación de la energía nuclear.

### 1.2.2 PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

La variación de la energía potencial de un cuerpo equivale a la energía cinética que desarrolla. Este principio no es más que la explicación parcial de otro más general, que se aplica a cualquier forma de energía presente en el universo y que se enuncia así:

En el universo la cantidad de energía es constante. Cuando desaparece una forma de energía, es por que se ha transformado íntegramente en otras.

Esto da origen al postulado de "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en otros tipos de energía".



**Figura 1.6** La energía cinética del viento, impulsa la embarcación, vence por una parte, la resistencia de la nave que flota en el agua (energía mecánica) y produce así mismo su movimiento.

### 1.3 CALOR Y TEMPERATURA.

El calor es una forma de energía que existe en todos los cuerpos, como ya habíamos comentado, es la energía cinética debido al movimiento desordenado de sus moléculas.

Se llama temperatura a un número que, de acuerdo a condiciones previamente establecidas, sirve para identificar el estado térmico de un cuerpo cualquiera.

Si suministramos iguales cantidades de calor pueden observarse temperaturas diferentes. Por ejemplo, una olla grande y una pequeña se calientan con el mismo mechero, se agrega agua a iguales cantidades, el nivel de temperatura sube más en el recipiente de menor tamaño.

Si suministramos diferentes cantidades de calor pueden obtenerse temperaturas finales iguales. Por ejemplo, dos cantidades diferentes de agua con el mismo mechero, la mayor cantidad de agua emplea más tiempo para hervir, es decir, necesita más calor.

### 1.4 TERMODINAMICA.

La Termodinámica es una rama de la Física que se encarga del estudio de la materia y de la energía, estudia las relaciones cuantitativas que regulan las transformaciones de la energía térmica en mecánica y viceversa. Proviene de los vocablos griegos termos (calor) y dynamis (potencia), que describe los esfuerzos de convertir el calor en potencia.

#### 1.4.1 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA.

Como ya se había mencionado esta ley se basa en el postulado de la conservación de la energía que dice "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en otros tipos de energía". Ya que sabemos que la energía en el universo es constante.

Esta ley establece el siguiente modelo matemático para su análisis energético y es el siguiente:

$$Q + W = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U + W_f$$

Donde:

Q = Calor que se genera o sale del sistema en estudio.

W = Trabajo que se desarrolla hacia o por el sistema.

$\Delta E_c$  = Energía cinética del sistema.

$\Delta E_p$  = Energía potencial del sistema.

$\Delta U$  = Energía interna del sistema.

$W_f$  = Trabajo de flujo del sistema.

Podemos observar que involucra todas las energías pero no nos está diciendo la cantidad de energía que se está aprovechando pero está afirmando que la energía es una propiedad termodinámica.

### 1.4.2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.

Precisamente para contestar éste último cuestionamiento surge la segunda ley de la termodinámica, nos dice que el calor no puede convertirse en trabajo totalmente, ya que siempre existe una fuga de calor hacia el medio circundante, provocando que no todo el calor se convierta en trabajo.

Esta ley nos da el principio de las máquinas térmicas que son aparatos encargados de transformar el calor en trabajo. Por ejemplo, las máquinas de vapor, los motores de combustión interna, las turbinas, los motores de reacción, etc.

El ciclo de refrigeración es una máquina inversa, ya que transforma el trabajo en calor.

Por lo tanto, estudia a la energía tanto en calidad como en cantidad, y los procesos en la práctica son reales y tienden a la disminución de la calidad de la energía.

### 1.5 AREAS DE APLICACIÓN DE LA TERMODINÁMICA.

Cualquier actividad de ingeniería implica una interacción entre energía y materia; por ello es difícil imaginar un área que no se relacione con la termodinámica en algún aspecto. Por tanto, logran entender claramente que los principios de la termodinámica han sido parte esencial de la ingeniería. No es necesario ir muy lejos para encontrar algunas áreas de aplicación.

De hecho no se requiere ir muy lejos, estas áreas están justo donde uno vive, una casa común es en muchos aspectos una sala de exhibición llena de maravillas termodinámicas. Muchos utensilios y aparatos domésticos se diseñan por completo o en parte con aplicación de los principios de la termodinámica.

Entre otros ejemplos se encuentra la estufa eléctrica ó de gas, los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, el humidificador, la olla de presión, el calentador de agua, la regadera, la plancha, la televisión, la videograbadora e incluso la computadora. A una escala

mayor, la termodinámica desempeña un papel primordial en el diseño y análisis de motores, cohetes, máquinas de chorro, centrales termoeléctricas y nucleares.

También se puede considerar al cuerpo humano como un área interesante de aplicación de la termodinámica.

## 1.6 REFRIGERACIÓN.

Se emplea el término refrigeración para indicar el mantenimiento de un cuerpo a una temperatura menor con respecto a sus alrededores. Para mantener ó producir ésta temperatura baja, es necesario transferir calor desde el cuerpo ó espacio a enfriar.

La remoción de calor de baja temperatura puede ser llevada a cabo mediante el uso del hielo, agua fría ó refrigeración mecánica. Entonces podemos concluir que si existe una temperatura menor a la del medio ambiente, estamos hablando de refrigeración.

La refrigeración a acompañado al hombre desde que éste apareció en la faz de la tierra, ya que para poder sobrevivir, tuvo que almacenar las piezas de carne que cazaba, así como observo que dentro de las cuevas se protegía contra las inclemencias del tiempo y que cubriendo sus piezas cazadas en un lugar más fresco se mantenían por más tiempo comestibles.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de refrigeración que el ser humano a diseñado para casos específicos.

Estos son los siguientes:

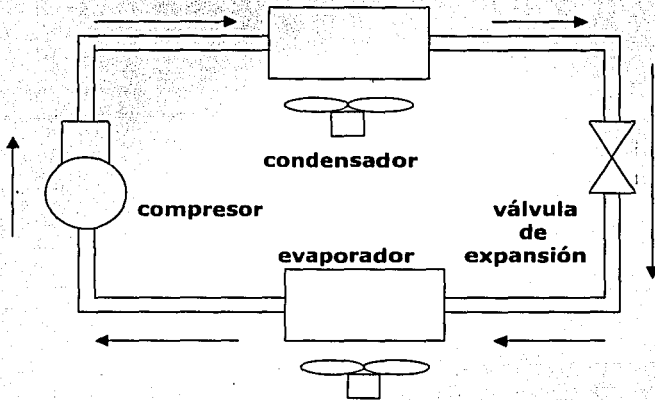
- a) Ciclo de refrigeración por compresión mecánica.
- b) Ciclo de refrigeración por absorción.
- c) Ciclo de refrigeración por chorro de vapor.
- d) Sistemas de refrigeración especiales.

El más comercial y común es el ciclo de refrigeración por compresión mecánica, ya que se puede tener desde los hogares hasta las industrias que tengan procesos de producción muy complejos.

El sistema de absorción es el segundo de importancia, pero el refrigerante más común usado es muy tóxico, a cambio de esto sirve para grandes cargas térmicas.

El sistema por chorro de vapor, como su nombre lo dice, se usa en instalaciones donde se disponga de una caldera que nos proporcione el vapor, pero que a la vez no altere el proceso de la caldera.

Dentro de los sistemas especiales, tenemos el electromagnético, se dice que puede llegar casi al cero absoluto.



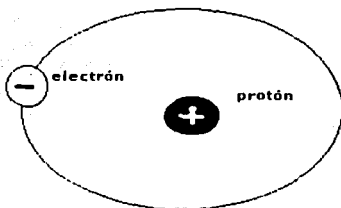
**Fig.1.7** Ciclo de refrigeración por compresión mecánica con sus cuatro componentes básicos, las flechas indican la dirección del refrigerante.



**"ELECTRICIDAD BÁSICA."****2.1 TEORÍA DEL ELECTRÓN.**

La electricidad por si sola es un tema que requiere varios libros para cubrir sus bases sin embargo discutiremos solo lo básico.

Toda materia está compuesta por átomos aún el más pequeño de los componentes básicos de las moléculas. Los átomos a su vez están compuestos por un núcleo denso, pesado que contiene protones y algunas veces neutrones, rodeado por partículas muy pequeñas llamadas electrones. El protón lleva una carga positiva, el electrón lleva una carga negativa y el neutrón esta sin carga. La atracción de los protones cargados positivamente en el núcleo y los electrones cargados negativamente en los alrededores, tienden a mantenerse juntos en la unidad que conocemos como átomos (véase figura 2.1). el número de protones en el núcleo determina el tipo de elemento. El átomo de hidrógeno como se ilustra en la figura 2.1, es el más pequeño, contiene un protón en el núcleo y un electrón en la órbita alrededor de éste.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 2.1.** Átomo de hidrógeno

Retornando a la definición de cargas positivas o negativas. Una carga positiva nos indica exceso de protones; significa una deficiencia de electrones. Así los términos positivo o negativo, simplemente significan mas o menos electrones.

Los materiales que están cargados con electricidad estática bien se atraen o se repelen unos a otros. La atracción tiene lugar entre cargas diferentes, a causa del exceso de electrones de una carga

negativa, busca la carga positiva, la cual tiene una carencia de electrones (véase figura 2.2). cargas diferentes se atraen, cargas similares se repelen.

La electricidad estática es una condición en la cual los electrones están en reposo pero tienen un potencial para moverse. La electricidad dinámica son electrones en movimiento, al desplazamiento de electrones se le llama corriente.

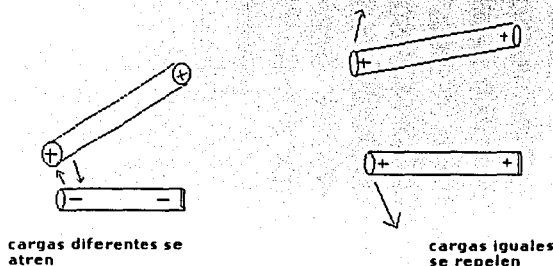


Figura 2.2. Cargas que se atraen o repelen.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 2.2 FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La energía se define como la habilidad para hacer trabajo, y que la energía no puede crearse ni destruirse, solo transformarse en otra forma de energía. Las fuentes de energía eléctrica son las siguientes:

- Acción química.

El principal ejemplo de conversión de acción química en electricidad es la batería común que se utiliza en los carros, linternas, juguetes, etc. Puede ser de celda húmeda o seca y la energía resultante depende del tamaño físico de la batería.

- Acción de fricción.

La electricidad estática causada por la fricción es una condición que la mayoría de nosotros hemos experimentado; por ejemplo, al peinarse y después recoger pedacitos de papel con la peinetita o caminar sobre una alfombra y luego tener una descarga al tocar otro objeto. Los principios de la electricidad básica no han sido aplicados a la generación comercial de electricidad, pero se usa ampliamente en otras formas, tales como colectores de polvo, dispersión de pintura electrostática, etc.



- **Acción de calor.**  
Cuando dos alambres de material diferente se unen en los extremos y se calientan, una pequeña cantidad de corriente eléctrica puede ser generada. Tal aparato se le conoce como termopar y es importante en muchas aplicaciones para medir la temperatura. El principio se aplica en aparatos de medición de temperatura o aparatos de control, los cuales reaccionan con la presencia del calor.
- **Acción de la luz.**  
La luz tiene energía y cuando golpea una superficie de una sustancia, puede desprender algunos electrones de sus orbitas normales. Si por ejemplo, el material es una foto celda sensible a la luz, una pequeña corriente eléctrica puede generarse. Un buen ejemplo de este uso está en el sistema de control de un quemador de A.C.P.M. En el arranque si la aparición de la flama es detectada por la foto celda la bomba de A.C.P.M. puede operar. Si no hay flama dentro de un periodo prefijado de tiempo, la bomba del combustible será apagada.
- **Presión.**  
Algunos tipos de materiales tales como el cuarzo, cuando se comprimen producen una corriente eléctrica en una dirección específica. Cuando la presión se retira, el flujo de corriente cambia de dirección. Este efecto puede también reversarse de tal modo que al aplicar una corriente al cristal de cuarzo, éste se doble o vibre. Aún cuando la potencia producida por este efecto de presión es muy pequeña, puede amplificarse y tiene importantes aplicaciones prácticas en tocadiscos, micrófonos, etc.
- **Acción mecánica.**  
Mediante el electromagnetismo se produce una gran cantidad de electricidad para suplir nuestras necesidades residenciales, comerciales e industriales, utilizando máquinas rotatorias llamadas generadores, los cuales se hacen girar de varias maneras: turbinas de vapor que consumen aceite, gas o carbón, turbina de agua en las plantas de potencia hidráulicas y sistemas mas pequeños que incorporan motores de combustión interna para conducir los generadores. Así, la energía mecánica del generador se convierte en energía eléctrica.
- **Acción nuclear.**  
Las plantas atómicas de potencia están teniendo hoy en día una creciente importancia como fuentes de energía para producción de electricidad. Sin ir a una discusión técnica de los reactores

atómicos, se necesita solo decir que las reacciones atómicas crean una gran cantidad de calor, la cual se usa para desarrollar vapor a alta presión para mover generadores con una turbina mecánica.

- **Magnetismo.**

Antes se estableció que objetos con cargas iguales, se repelen unos a otros y con cargas diferentes, se atraen. Recordando los estudios de física que un imán natural, tal como la magnetita, está rodeado de un campo de fuerza. El experimento clásico es colocar una barra magnética debajo de una hoja de papel o vidrio sobre la cual hay limadura de hierro. La limadura se alojará a lo largo de las líneas de fuerza que dejan un extremo del imán y retornan a otro. Un extremo se denomina polo sur y el otro extremo se le denomina polo norte.

Ahora si tomamos éste imán y lo pasamos por el interior de una bobina de alambre de cobre, se puede observar que el cable corta el campo magnético. Este fenómeno es fundamental para toda aplicación práctica de generación de potencia y motores eléctricos. Cuando un conductor eléctrico corta un campo magnético, se genera una fuerza electromotriz entre los extremos del conductor.

## 2.3 CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE.

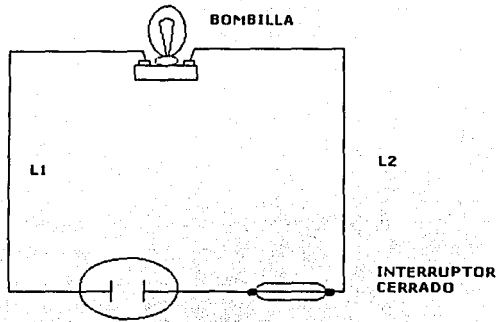
Con una fuente de energía eléctrica establecida, examinemos un circuito eléctrico simple.

El término circuito se tomará literalmente, por que a menos que la electricidad pueda seguir un camino completo de la fuente de carga y retornar a su fuente, no podrá realizar ningún trabajo (tal como al encender una lámpara). Los dos alambres de la figura 2.3 marcados como  $L_1$  Y  $L_2$  en el diagrama, van a la fuente de electricidad para este circuito.

La electricidad fluye de y hacia la fuente pasando por el interruptor al bulbo (carga). Decimos que la electricidad fluye. Esta concepción popular de una corriente eléctrica como un flujo de electrones, refleja la intención común de hacer los fenómenos eléctricos entendibles por comparación directa al flujo de agua. Para nuestro propósito es suficiente decir que cuando los electrones se mueven a través de un material, tenemos electricidad.

Para que fluya la electricidad debe haber en la fuente una producción de electrones suficiente para crear una presión o una fuerza. La producción de electrones puede alcanzarse químicamente como en

una batería, magnéticamente como en un generador o por calor como un termopar.



**Figura 2.3.** Circuito eléctrico simple.

Como es cierto para todo movimiento, el desplazamiento de electrones a través de un material debe vencer la fricción. Dependiendo del material, esta oposición al flujo de electrones se llama resistencia, puede ser grande, moderada o baja.

El cobre por ejemplo, ofrece baja resistencia al flujo de electrones; por consiguiente, este metal es el conductor eléctrico más comúnmente utilizado, bien sea en forma de pequeños alambres, grandes cables o barras gigantes. El aluminio es también un buen conductor y su uso se está incrementando en el trabajo eléctrico. El tungsteno usado como filamento en lámparas incandescentes, ofrece una resistencia muy alta al flujo de electrones.

La unidad de medida para medir la resistencia eléctrica es el ohmio. Los aparatos con alta resistencia, tales como bombillas se llaman resistencias y se denotan con una línea ondulada en los diagramas eléctricos.

Si la resistencia total de un circuito es lo suficientemente grande para evitar el flujo de electrones a una fem en particular, no puede pasar corriente. Cuando el voltaje es lo suficientemente alto para vencer la resistencia, fluirán electrones por el conductor y la resistencia. Para propósitos prácticos, estamos interesados en saber cuantos electrones fluyen por cualquier punto en un circuito durante un tiempo dado. A este rango de flujo de electrones se le conoce comúnmente como corriente.

La unidad de medida del flujo de electrones es el amperio.

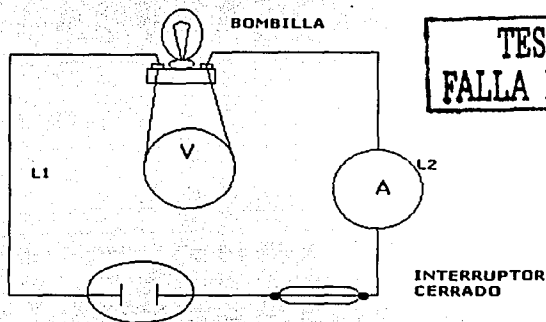
Resumiendo:

La fuerza electromotriz se expresa en voltios.

La resistencia eléctrica se expresa en ohmios.

La corriente se expresa en amperios.

Apliquemos esta información al circuito eléctrico de la figura 2.4. Un voltímetro muestra que la fuerza electromotriz es de 120 voltios; un amperímetro muestra que la corriente es de 0.6 amperios. Obviamente, la fem es lo suficiente para que la corriente fluya a través de la resistencia total ofrecida por los alambres y la bombilla. Esta resistencia total puede medirse con un ohmmetro o puede ser calculada; los cálculos serán descritos mas adelante.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 2.4.** Circuito eléctrico simple con un amperímetro y un voltímetro.

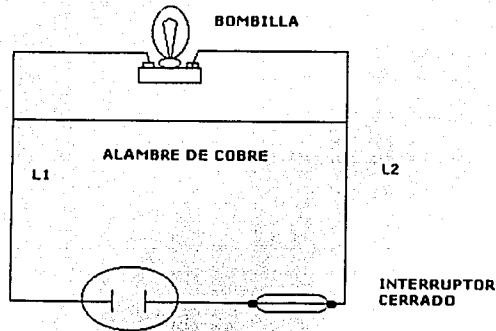
Con la misma corriente fluyendo por los alambres conductores, el interruptor y la bombilla, ¿por que no todos se tornan lo suficientemente calientes para emitir luz? recuerde que diferentes sustancias ofrecen diferentes resistencias al flujo de electrones. Dicho de otra forma, un alambre de cobre y un alambre de tungsteno de igual diámetro y longitud, pueden ambos dejar pasar 0.6 amperes bajo una presión de 120 voltios. Pero los electrones deben trabajar mas duro para pasar por el alambre de tungsteno de alta resistencia que a través del cobre de baja resistencia. El mayor trabajo en este caso se manifiesta en luz y trabajo.

Un óhm metro mostrará que la resistencia de los conductores de alambre de cobre es prácticamente cero; la resistencia de una

bombilla de 25 vatios es de  $570 \Omega$  cuando está prendido. Obviamente, la corriente puede fluir mas fácilmente a través del cobre que a través del filamento de tungsteno de la bombilla.

Si la resistencia de la bombilla no esta en el circuito y únicamente el alambre de cobre se conecta a la fem, fluirá demasiada corriente y el cobre se calentará quemándose. Se tendría en efecto un corto circuito.

Un corto ocurre cuando la corriente cuando la corriente toma un camino accidental que no pasa por las cargas normales del circuito , haciendo que la resistencia total caiga totalmente en cero. Si  $L_1$  y  $L_2$  están desnudos y accidentalmente se tocan, por ejemplo, o si un alambre de cobre conector, se instala antes de la resistencia, como se muestra en la figura 2.5, la corriente tomará el camino de menor resistencia y nunca tocará el bulbo, y a que la resistencia del alambre de cobre es baja. Fluirán demasiados amperios haciendo que el cobre, altamente conductor pronto se sobrecaliente.



**Figura 2.5.** Circuito eléctrico simple en corto.

Un circuito abierto ocurre cuando, por cualquier razón, el camino del flujo de electrones se interrumpe. La operación del interruptor abre el circuito . un alambre roto y el filamento de la bombilla roto tienen el mismo efecto.

Aún cuando algunas sustancias son no conductoras en sentido práctico, cualquier material puede conducir corriente si se le aplica suficiente voltaje. Así si el interruptor se abre y un voltaje cada vez mayor se aplica entre  $L_1$  y  $L_2$  , en algún momento saltará del

interruptor abierto, indicando que la corriente a pasado a través del aire. Aún cuando el aire es normalmente un no conductor, pasara corriente si el voltaje es lo suficientemente alto.

Se dice que un circuito está cerrado cuando todos los contactos necesarios se unen para permitir flujo normal de corriente por los conductores y cargas. El término no debe entenderse mal, como si significase que el circuito está cerrado al flujo de la corriente, como una válvula cierra un flujo de agua. El circuito de la figura 2.3 está cerrado y la corriente fluye a través de contactos propiamente hechos, alambres y cargas propiamente conectadas.

## 2.4 LEY DE OHM.

La relación, es decir, la interdependencia entre fuerza electromotriz, resistencia y corriente es claramente indicada por la definición formal de voltio; la fuerza electromotriz requerida hacer que una corriente de un amperio fluya a través de una resistencia de un ohmio.

La relación es aún más claramente definida por la ley de OHM, definida así después de que el científico Alemán George Simon Ohm, trabajo estas relaciones matemáticas en el siglo XIX, planteada prácticamente como ley de Ohm y nos muestra que a mayor fem, mayor corriente, a mayor resistencia menor corriente.

Matemáticamente la relación se plantea como: I es igual a E sobre R.

$$I = \frac{E}{R} \quad (\text{Amp})$$

en donde I es el símbolo para la corriente en amperes, E es el símbolo para la fem en voltios y R es el símbolo para la resistencia en ohmios.

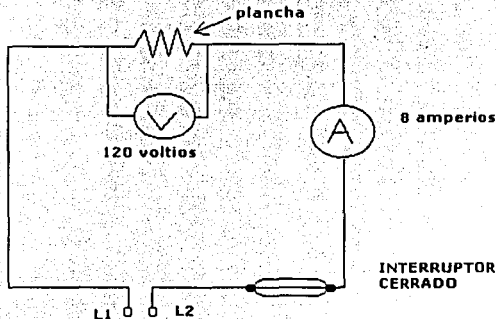
Suponga, en el circuito simple de la figura 2.6, que el símbolo de la resistencia representa una plancha eléctrica, mas bien que un bombillo, como en la discusión anterior. Con un ohmetro determinamos que la resistencia es de 15 ohmios. Tomando el dato del voltaje de la compañía eléctrica o con un voltímetro, determinados que el voltaje es de 120V.

¿Cuántos amperios tomara la plancha?

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{15} \quad I = 8 \text{ Amperios.}$$

Si la plancha se reemplaza por un bombillo de 100 vatios, podemos hallar que la resistencia del mismo es del orden de 145 ohmios. Con la misma fem, ¿cuántos amperios tomara el bombillo?

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{45} \quad I = 0.83 \text{ Amperios}$$



**Figura 2.6.** Circuito eléctrico del ejemplo.

Es obvio que a menor resistencia, a un voltaje dado, se tomara mas corriente. Teóricamente cuando la resistencia se aproxima a cero, la corriente tiende a infinito. Si, en nuestro circuito, sacamos la resistencia de la línea, 120 voltios quedaran empujando contra la resistencia prácticamente nula y fluirán cientos de amperios-hasta que un fusible o un cable quemado abra el circuito. Asuma que el alambre tiene 0.2 ohmios de resistencia; el flujo de corriente será:

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{0.2} \quad I = 600 \text{ Amperios}$$

La formula básica E sobre R puede alterarse o trasponerse para calcular cualquier factor, si los otros dos se conocen. Por ejemplo, un voltiamperímetro a sido utilizado para medir 1 000 amperios y solo 2 voltios. ¿Cuál es la resistencia?

$$R = \frac{E}{I} \quad R = \frac{2}{1000} \quad R = 0.002 \text{ ohmios.}$$

Retornando a la plancha eléctrica, suponga que las lecturas fueran 120 voltios y 8 amperios. ¿Cuál es R?

$$R = \frac{E}{I} \quad R = \frac{120}{8} \quad R = 15 \text{ ohmios.}$$

La formula puede transponerse en otra forma:  $E = IR$ .

En el ejemplo con el bulbo de 100 vatios, suponga que hemos medido la resistencia y la corriente pero no tenemos un voltímetro. ¿Cuál es la fem de voltios?(La corriente fue 0.8 amperios y la resistencia 145 ohmios.

$$E = IR = 0.83 \times 145 = 120V$$

En el lenguaje eléctrico, la cantidad de voltaje usado por cada resistencia en el circuito se llama caída de voltaje o la caída  $IR$  a través de la resistencia.

Hay varios trucos "útiles" para recordar la ley de Ohm y sus trasposiciones. No recomendamos tales ayudas ala memoria, si la ley de Ohm se usa con frecuencia en su trabajo, el técnico de servicio no tiene la necesidad de ayuda a su memoria. Y ningún buen técnico de refrigeración confía en su memoria cuando hace cálculos que envuelven una formula casi olvidada; debe buscarla.

Realmente, la mayoría de las dificultades descansan en recordar las trasposiciones ya que en el planeamiento de la ley como "I" igual a E sobre R da la primera formula.

$$I = \frac{E}{R}$$

Para determinar como trasponer coloque números simples en la formula básica. Sustituya por ejemplo. I por 4, E por 8 y R por 2. Así:

$$4 = \frac{8}{2}$$

De esta ecuación es fácil determinar que 8 será igual a 2 por 4 y será igual a 8 sobre 4. La ley de Ohm, entonces, permite determinar matemáticamente el tercer factor cuando cualquiera de los otros dos se conoce por medición o referencia a una hoja de especificaciones.

Aun cuando teóricamente posible obtener un creciente a un ilimitado numero



de amperios con cualquier fuente de voltajes cuando la resistencia es próxima a cero consideraciones practicas, tales como el calor necesario para encender la lámpara u operar la plancha, limitan la corriente a un nivel que puede llevarse con seguridad por los conductores y los conductores en línea.

A continuación algunas aplicaciones practicas de la información que se siente hasta aquí:

- (1) Un bombillo de 100 vatios producido para operar a 120 voltios brillaría intensamente con 240 voltios durante pocos segundos y luego se quemara. La resistencia del filamento fue tomada en consideración en el diseño de su longitud y su diámetro, para ser compatible con 120 voltios. A 240 voltios pasa el doble de corriente mas de la que puede soportar. El filamento se sobre calienta y se quema, abriendo el circuito.
- (2) Para un material dado la resistencia se incrementa cuando la longitud se incrementa. Esto de tenerse en cuenta para la caída de voltaje IR en líneas de extensa longitud. En una toma de pared una plancha toma 9 amperios a 120 voltios. En un extremo de un alambre de extensión de 12 pies toma 8 amperios a 105 voltios. En áreas rurales, es común que el cliente mas alejado del transformador, tenga bajo voltaje a causa de la caída de voltaje desde el transformador a lo largo de la línea hasta su casa. Idealmente la caída IR debe mantenerse bajo de 3% de voltaje especificado es común tener una caída del 5% una caída de voltaje del 10% puede causar mal funcionamiento y falla de motores, contactores y aparatos eléctricos similares.
- (3) Para un material dado, la resistencia se incrementa cuando el diámetro del conductor decrece. Un circuito de iluminación en una casa puede tener un alambre no. 14. si se instala un aire acondicionado central, se debe utilizar un cable no. 8 en el circuito el diámetro de los alambres crece cuando el numero decrece. Un alambre de diámetro mayor puede llevar mas amperios ( 45-60 amperios para un rango) que un alambre más pequeño (15 amperios para un circuito de iluminación) sin sobrecalentarse. ( El tamaño de los alambres será discutido posteriormente en forma completa).

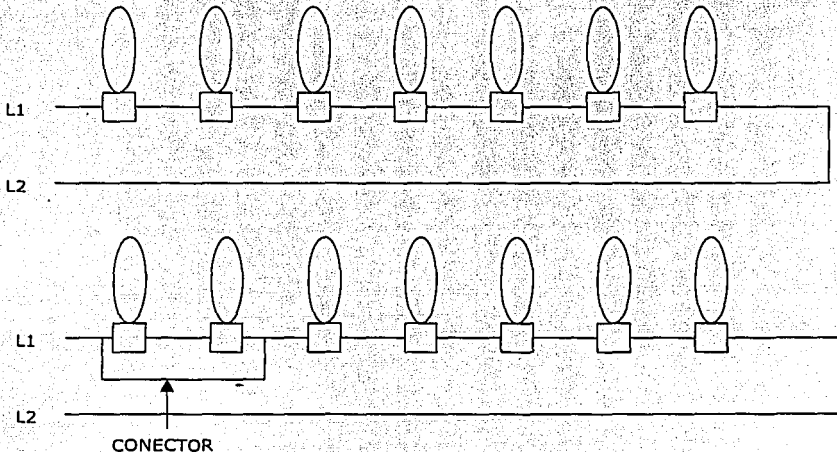
## 2.5 CIRCUITO EN SERIE.

Cuando más de una resistencia se coloca en un circuito la corriente puede fluir por mas de un tipo en su viaje desde y a la fuente de la

fem. dependiendo de cómo se diseña el camino, el circuito caerá en una de las tres categorías:

- 1) serie
- 2) paralelo
- 3) serie-paralelo

El más simple de entender es el circuito en serie. Es familiar a través del más viejo tipo de lámparas para el árbol de navidad; cuando cualquiera de ellas se quema, todas se apagan a causa de que se abre el circuito. (Podemos ver por que todas las luces se apagan, mirando la figura 2.7).



**Figura 2.7.** Circuito en serie.

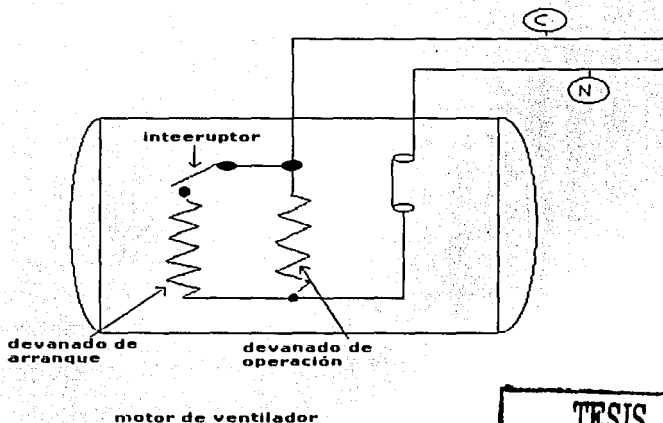
Para viajar desde y hacia la fuente de fem, la corriente debe pasar a través de cada resistencia en sucesión. Las resistencias en serie se conectan en extremo a una fuente de voltaje.

Se retira una lámpara y la corriente para a causa de que el circuito ya no está completo. Si se conecta un conector alrededor del bombillo defectuoso, el resto encenderá.

Tal corte de corriente puede ser útil. Todos los interruptores, por ejemplo, deben estar en serie con los aparatos que controlan. Aparatos protectores, como fusibles y protectores de sobre cargas, se

alumbra en serie así que el equipo no puede operar cuando el aparato de seguridad se abre eléctricamente por cualquier razón.

En el diagrama de la figura 2.8, tomando de un diagrama de un circuito completo para una unidad de refrigeración, el protector de sobrecarga (SC) esta en serie con la fuente de potencia para el motor de ventilador. Si el protector se abre debido a un exceso de corriente a sobrecalentamiento, la electricidad no puede alcanzar los devanados del motor del ventilador, N y C son códigos de color para los alambres.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Figura 2.8.** Motor del ventilador.

¿Qué puede decirse acerca de los voltios, amperios y ohmios? Recuerde que el voltaje puede leerse entre dos puntos de un conductor o resistencia y que la cantidad del voltaje usado entre dos puntos se denomina caída de voltaje.

Si tres resistencias iguales tales como tres bombillos de 25 vatios se conectan en serie (figura 2.9), el voltaje de la fuente, 120. un voltímetro aplicado a una sola resistencia, V B a través de las resistencias mostrara de nuevo 120 voltios, (la resistencia despreciable de los alambres se ignora).

El efecto practico de la caída de voltaje en un circulo serie puede verse en la figura 2.10, el cual es un circuito simple con un motor

diseñado para operar a 120 voltios. Un bombillo de 25 vatios colocado en serie con un motor produce suficiente caída de voltaje para evitar que el motor arranque. Medidas reales sobre el circuito ilustrado muestran una caída de 95 voltios a través del bombillo; por consiguiente solamente un suministro de 28 voltios queda para el motor, 28 voltios no son suficientes para operar un aparato diseñado para una aplicación de 120 voltios.

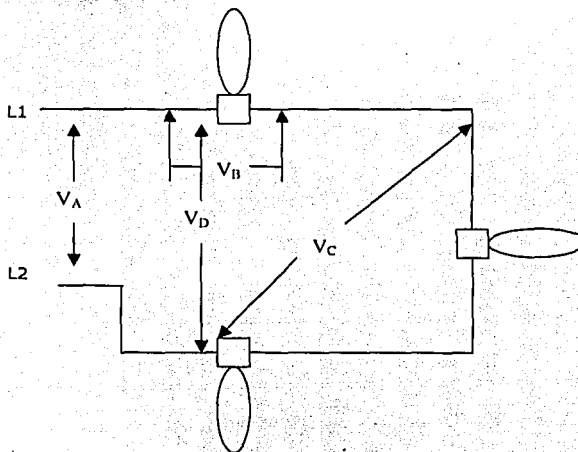


Figura 2.9. Diagrama de una serie de bombillos de 25 voltios.

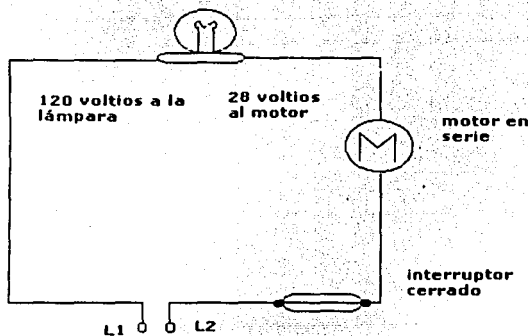


Figura 2.10. Diagrama de un bombillo y un motor en serie.

Si un bombillo de 25 vatios y uno de 75 vatios se conectan en serie, el bombillo de 25 vatios encenderá con casi una brillantez total, con una caída de 110 voltios, mientras el bulbo de 75 vatios toma los restantes 10 voltios sin brillar.

En un circuito serie, entonces, la caída de voltaje a través de cada resistencia es únicamente para el voltaje total y depende del valor de cada resistencia. La suma de estas caídas individuales  $IR$  siempre es igual al voltaje total aplicado.

En un circuito serie, la resistencia total al flujo de corriente es la suma de todas las resistencias individuales. El circuito total puede trasladarse como un circuito simple en los cálculos con la ley de ohm. Por ejemplo, si un bombillo de 75 vatios con una resistencia de 194 ohmios y un bombillo de 25 vatios con una resistencia de 570 ohmios, están en serie, la resistencia total del circuito es  $194+570 = 764$ . La letra mayúscula griega ( $\Omega$ ), es el símbolo matemático para ohmios.

Para el circuito total:

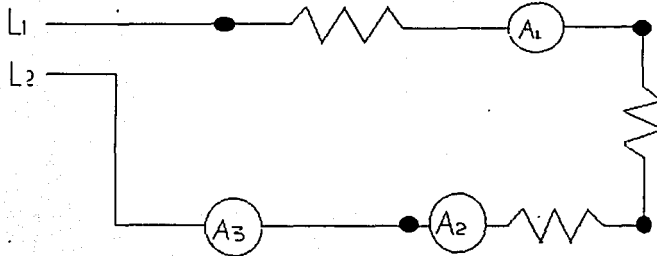
$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{764}{120} = 0.16 \text{ Amperios}$$

Así. 0.16 amperios fluirán por cada resistencia. Esta cantidad de corriente es suficiente para calentar el filamento del bombillo de 25 vatios, pero no suficiente para calentar el filamento del bombillo de 75 vatios o arrancar el motor en el ejemplo anterior. Usando el mismo método y razonamiento puede verse por que un bombillo de 25 vatios en encenderá brillantemente a 120 voltios pero tres bombillos de 25 vatios en serie, encenderá cada uno solo en forma leve. La anterior discusión indica claramente que la corriente, es decir el amperaje, es el mismo en todas las partes del circuito en serie. Un amperímetro colocado en cualquier parte del circuito leerá la misma corriente (A) como en cualquier otro punto. En la figura 2.11,  $A_1 = A_2 = A_3$ , no importa que tan diferentes sean los valores de las resistencias separadas.

## 2.6 CIRCUITO EN PARALELO.

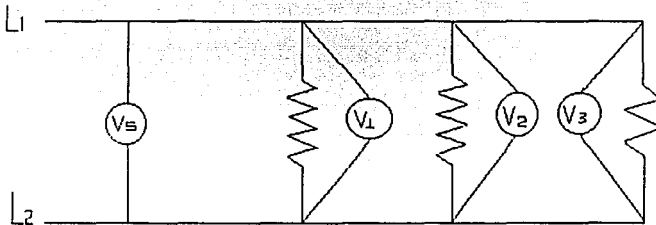
En la misma forma en que un circuito en serie se describe como aquel en el cual las resistencias se conectan de extremo a extremo, un circuito paralelo es aquel en el cual las resistencias se conectan lado a lado con referencia a la fuente de voltaje.

Los tres bombillos en la figura 2.12, están alambrados en paralelo; este es un dibujo convencional para tal circuito, el cual claramente muestra el arreglo lado a lado de las resistencias.



**Figura 2.11.** Diagrama donde se muestran las tres resistencias en serie, donde todas tienen la misma corriente.

si el voltaje es de línea monofásica podemos decir que:  $V_s = V_1 = V_2 = V_3 = 120$  voltios.



**Figura 2.12.** Diagrama donde se muestran las tres resistencias en paralelo, donde todas tienen el mismo voltaje.

El alambrado en la mayoría de las estructuras industriales y comerciales se diseña en paralelo. La iluminación para árboles de navidad mas recientes, aquella que no se apaga toda cuando falta un bombillo, esta en paralelo.

Varias características del circuito paralelo tienen significado practico inmediato. Usted notara la brillantez total de lós tres bombillos de 25 vatios en paralelo. Los mismos tres bombillos en serie con la misma

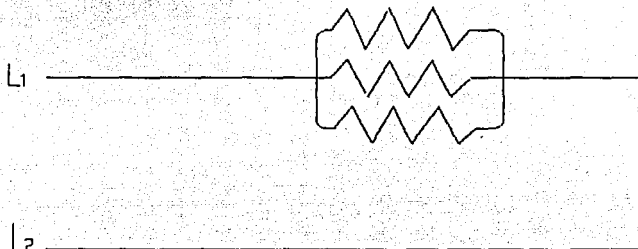
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

fuentes de 120 voltios serán considerablemente más oscuras. Una discusión de voltios, ohmios y amperios en un circuito paralelo indicará por que sucede este.

La caída de voltaje a través de cada resistencia en un circuito paralelo es la misma y cada caída  $IR$  es igual a la fem de la fuente.

Un voltímetro en cualquiera de las resistencias leerá 120 voltios lo mismo que directamente entre  $L_1$  y  $L_2$  matemáticamente,  $V_1$  igual a  $V_3$  igual a  $V_1$  igual a  $V_s$ .

Otro circuito paralelo se muestra en la figura 2.13, este diagrama indica que los electrones ( $e$ ) de la fuente de potencia pueden fluir por más de un camino en su viaje, desde y a la fuente de fem. Toda la corriente debe fluir por  $L_1$  y  $L_2$  pero el flujo total de electrones se divide entre las tres resistencias. Si la resistencia son desiguales, el flujo de corriente por cada uno será desigual.



**Figura 2.13.** Diagrama donde se muestran las tres resistencias en paralelo, mediante una variante diferente a la figura anterior.

En ambos casos la corriente total será igual a la suma de las corrientes individuales de cada rama del circuito paralelo.

Suponga, por ejemplo, que un circuito del salón, tiene un fusible para 15 amperios, todos los aparatos están en paralelo cuando se conectan a las tomas de pared y operan simultáneamente tres lámparas, la televisión y aire acondicionado. Supongamos que las lámparas, todas juntas, toman 1.5 amperios, la televisión 1 amperio y el aire acondicionado demanda 7.5 amperios.

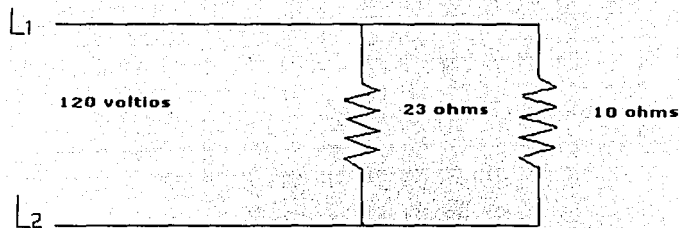
Si se conecta una plancha de 10 amperios de tal manera que el ama de casa pueda planchar mientras ve TV en un salón de estar con aire acondicionado, el fusible de 1.5 amperios se abrirá bajo la carga de 20 amperios.

Cada rama del circuito toma su porción de la corriente total, pero todos los electrones deben venir de retornar a la fuente de fem, pasando por el fusible en el circuito. Un amperímetro colocado en la toma de corriente, registra el amperaje total tomado por todos los aparatos en el circuito. Recuerde que los amperios tomados por cada rama de un circuito paralelo son iguales solamente si las resistencias tienen el mismo valor en ohmios.

La resistencia total, en un circuito paralelo, no es la suma de las resistencias individuales. Esta vez, la resistencia total en un circuito paralelo es siempre menor que la de la resistencia individual más baja.

Asuma un circuito paralelo de los aparatos que lleva una plancha con la resistencia de 10 ohmios y un tostador con una resistencia de 23 ohmios (figura 2.14). Usando la ley de ohm como en un circuito serie, añadiríamos las resistencias y las dividiríamos entre el voltaje para obtener los amperios:

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{33} = 3.6 \text{ Amperios.}$$



**Figura 2.14.** Diagrama donde se ilustra el ejemplo descrito.

La medida real, sin embargo, muestra que el tostador toma 5 amperios y la plancha 11 amperios; un total de 16 amperios. Usando la transposición de la ley de Ohm:

$$R = \frac{E}{I} \quad R = \frac{120}{16} = 7.5 \Omega$$



La resistencia total real en este circuito es de 7.5 ohmios y este valor es menos que la menor resistencia individual, 10 ohmios.

La formula para hallar la resistencia total ( $R_T$ ) en un circuito paralelo es:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Es nuestro ejemplo:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{23} + \frac{1}{10}$$

Generalmente, el modo más fácil de calcular es convertir las fracciones a decimales: (Divida 1 por 23 y 1 por 10)

$$\frac{1}{R_T} = 0.043 + 0.10$$

$$\frac{1}{R_T} = 0.143$$

$$R_T = 7 \Omega.$$

Siete ohmios se aproxima a los 7.5 ohmios obtenidos por calculo de las medidas de los amperios y voltios. La  $R_T$  puede utilizarse en cualquier calculo que use la ley de Ohm.

#### RESUMIENDO

En un circuito paralelo:

El voltaje en cada resistencia es igual al voltaje aplicado.

El amperaje total se divide entre las ramas paralelas en el circuito y puede definir en cada rama.

La resistencia total siempre es menor que la resistencia individual más baja.

## 2.7 CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA.

Toda la información presentada hasta aquí es valida para circuitos de corriente alterna, los últimos cuando tienen únicamente aparatos tipo resistencia en las líneas ( la razón para esta clasificación con respecto a circuitos de c.a se explicara posteriormente; involucra resistencia adicional que se encuentra en campos magnéticos y se llama

reactancia inductiva). El resto de esta discusión, que trata instrumentos tales, como transformadores, distribución de potencia, solenoides, contactores y motores, requeriría un entendimiento en la distinción entre los circuitos de c.a y c.d y las diferencias en comportamientos entre los dos. La mayoría del material remanente pertenecerá a la corriente alterna.

Como se definió antes, la electricidad fluye cuando los electrones se mueven por un conductor. Si los electrones siempre se mueven en la misma dirección por el conductor el flujo se denomina corriente directa (c.d). Si los electrones se mueven alternativamente primero en una dirección y luego en la dirección opuesta por el conductor, el flujo se denomina corriente alterna (c.a).

La corriente eléctrica producida por acción química como en una batería, es siempre c.d. Esto también es cierto para la corriente producida por termopares. Corriente alterna o directa puede obtenerse de la acción mecánica en generadores accionados con turbinas de vapor o hidráulicas.

## 2.8 INDUCTANCIA-CAPACITANCIA-REACTANCIA.

Antes fue establecido que la discusión de la ley de ohm y otros factores eran válidos para circuitos de corriente directa y para circuitos de corriente alterna únicamente con aparatos tipo resistencia en la línea. El lector más perceptivo puede haber notado que el término específico resistencia fue aplicado a tales cosas como lámparas incandescentes y elementos de calefacción pero un término acuñado, como valor de ohm, se usa para referirse ala oposición al flujo de corriente ofrecida por un motor y otro aparato de inducción.

Un ohmetro aplicado a los alambres de un pequeño motor monofásico de inducción, puede indicar que la resistencia pura de los devanados del motor y alambres es algo como 35 ohmios. Utilizando la ley de ohm para su aplicación en una línea de 120 voltios:

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{35} = 3.4 \text{ Amperios.}$$

Un pequeño motor como este no toma 3.4 amperios, en efecto, medidas de campo, con un amperímetro de gancho no muestra casi reflexión: claramente la corriente es menor de 1 amperio. La resistencia pura de una bobina solenoide se encontró que es de 4 ohmios. A 120 voltios esto operaría con 30 amperios teóricamente. En la operación real la bobina toma 11.5 amperios.

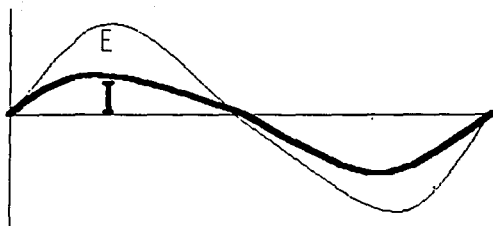
Obviamente algo mas que resistencia pura debe estar oponiéndose al flujo en estos casos, la oposición incrementada se debe a la inductancia. En una discusión posterior sobre partir la fase para facilitar que un motor de fase única arranque, se mostrará que solamente creando mas inductancia en una bobina que en la otra, cae la corriente en la primera lo suficientemente por debajo de la segunda, para obtener el desfase de los polos magnéticos necesarios para lograr el toque del arranque.

Es difícil en este punto que lo siguiente no sea complejo para el principiante y para aquellos que necesitan solamente una información, mas bien que un entendimiento total. Aun explicaciones simplificadas de los circuitos de corriente alterna necesitan mas matemáticas que las admisibles en una discusión a este nivel.

Por ahora, es suficiente con decir que en los circuitos de corriente alterna, varios factores se combinan para afectar el flujo de corriente en un modo u otro; en circuitos de corriente directa solo se encuentra normalmente la resistencia pura.

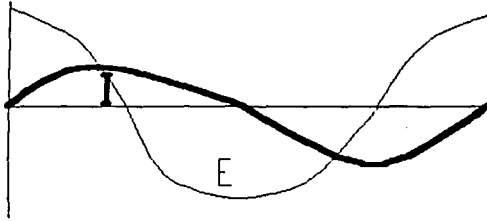
La reactancia inductiva es la oposición al flujo de corriente ofrecida por aparatos de inducción. Ya que la inductancia puede afectar el flujo de corriente solamente mientras la corriente esta cambiando (cambios de corriente generan fem inductiva) no ocurre en circuitos de c.d excepto en los momentos de cerrar y abrir el circuito.

Si un circuito de c.a tiene solamente resistencia pura, la corriente sube y cae al mismo tiempo que el voltaje y las dos ondas se dice que están en fase una con otra como se ilustra en la figura 2.15.



**Figura 2.15.** Nos muestra la corriente y el voltaje en fase.

Aún cuando es solo teóricamente posible, si un circuito de c.a tiene únicamente inductancia pura, la corriente opuesta se retrasa del voltaje un cuarto de ciclo o  $90^\circ$  como se muestra en la figura 2.16 en este caso el voltaje y la corriente se dice que están a  $90^\circ$  fuera de fase.



**Figura 2.16.** Nos muestra el voltaje retrasado con la corriente.

La unidad de medida para la inductancia, símbolo  $L$ , es el henrio.

En un circuito práctico que contiene reactancia inductiva y resistencia, la onda de corriente se retrasara con respecto al voltaje por una cantidad entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Resistencia y reactancia inductiva iguales producirán un ángulo de fase de  $45^\circ$ .

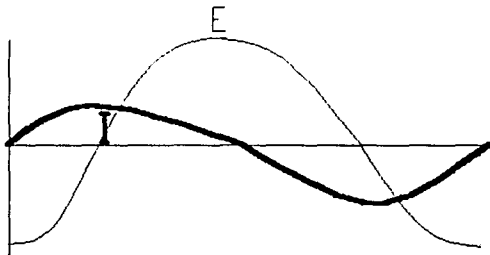
En la misma forma como la reactancia inductiva se opone a cualquier cambio en corriente en un circuito de c.a, la capacitancia se opone a cualquier cambio de voltaje. (De nuevo, este fenómeno solamente afecta los circuitos c.d en los momentos en que la corriente es prendida o apagada). Cuando el voltaje se incrementa, la capacitancia trata de mantenerlo abajo, cuando el voltaje decrece, la capacitancia trata de subirlo.

Los aparatos eléctricos usados para añadir capacitancia a la línea son, por supuesto los familiares capacitores, frecuentemente llamados condensadores por gente de los campos electrónico y automotriz.

La acción real de la capacitancia en un circuito es almacenar una carga e incrementar su carga si el voltaje sube, descargarla si el voltaje cae.

La capacitancia también ofrece una oposición al flujo de corriente denominada reactancia capacitiva pero la reactancia capacitiva (oposición al flujo de corriente) decrece cuando la capacitancia (oposición al cambio de voltaje) se incrementa.

Como un resultado, en un circuito teórico que contiene únicamente capacitancia pura no hay resistencia, el voltaje puede únicamente existir después que la corriente fluye. En tal circuito teórico la corriente adelanta el voltaje a  $90^\circ$ , como se ilustra en la figura 2.17.



**Figura 2.17.** Nos muestra el voltaje adelantado respecto a la corriente.

La unidad de medida para la capacitancia, símbolo  $C$ , es el faradio, mas prácticamente el microfaradio- un millonésimo de faradio.

En un circuito practico que contiene resistencia y capacitancia, el ángulo de la fase esta entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  y la corriente siempre adelanta al voltaje.

Esto es, exactamente opuesto a lo que ocurre en un circuito inductivo en donde la corriente se atrasa con respecto al voltaje.

El hecho de que la inductancia y la capacitancia tengan efectos opuestos en un circuito es la explicación para el uso de capacitores con un motor o sobre la línea de potencia para mejorar el factor de potencia, un hecho que será discutido posteriormente.

En un circuito de corriente alterna entonces, la oposición total al flujo de corriente ofrecida por la resistencia, la reactancia inducida y la reactancia capacitiva se denomina impedancia, símbolo  $Z$  y se expresa en ohmios. Él termino oposición total aquí no es sinónimo de una suma aritmética de varios factores: Estamos ignorando la

matemática involucrada al convertir en henrios y faradios a ohmios y los cálculos del efecto total de variar las inductancias y capacitancias. Z, después de que se determina, puede sustituirse por R en el planteamiento normal de la ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{o} \quad I = \frac{E}{Z}$$

## 2.9 FACTOR DE POTENCIA.

En circuitos de corriente directa y en circuitos de corriente alterna que contienen únicamente resistencia pura, la potencia- en vatios- es igual al producto de voltios y amperios.

$$P = EI$$

Así, una lámpara incandescente que toma 0.8 amperios en una línea de 120 voltios tendría.

$$P = EI = 120 \times 0.8 = 96 \text{ vatios}$$

O, prácticamente un bombillo de 100 vatios.

Un circuito de 120 voltios que contiene varios aparatos de resistencia con un amperaje total de 15:

$$P = EI = 120 \times 15 = 1.800 \text{ vatios o } 1.8 \text{ kilovatios.}$$

En este tipo de circuito, el factor de potencia es prácticamente 100%; esto es, el circuito realmente gasta muy cerca de los 1.800 vatios calculados. El factor de potencia puede definirse como la relación de la potencia consumida, o como el porcentaje de tiempo que el producto de voltios y amperios es igual a la potencia real.

Un FP de 100% puede únicamente existir cuando el voltaje y la corriente están en fase como se explicó antes. Cuando, bien sea la reactancia inductiva o la reactancia capacitiva, hagan que la corriente se atrase o se adelante con respecto al voltaje (se salga de fase), el producto de voltios y amperios da solamente la potencia aparente, mas bien que la potencia real.

De nuevo ignorando la matemática fundamental del fenómeno en la práctica, el punto es que para un circuito comercial típico alto en inductancia, la planta debe suplir algo de potencia que hace trabajo y

el cual no se mide con el vatímetro normal, privado así que la compañía de ganancias.

Si por ejemplo los cálculos de los voltios y amperios medidos dan 2,000 vatios, pero el aparato sobre la línea, realmente muestra un consumo de 1.600 vatios, el factor de potencia es:

$$PF = \frac{1600}{2000} \times 100 = 80\%$$

Esto significa que el 80% de la potencia suplida esta haciendo trabajo medible. El restante 20% es corriente de magnetización, lo cual hace posible el funcionamiento de los aparatos de inducción que no hacen trabajo en si mismos y por consiguiente este no es normalmente registrado.

Los aparatos de inducción, tales como motores y lámparas fluorescentes nunca tiene un factor de potencia del 100%. En efecto las lámparas fluorescentes utilizan tanta corriente de magnetización que las fábricas tienden a mirar desfavorablemente este tipo de iluminación. Sin embargo, ya que los aparatos de inducción son necesarios para nuestra tecnología, las compañías de potencia en general han establecido un FP de 90% como un mínimo práctico que debe mantenerse en sus líneas.

Dependiendo del diseño de aplicación, los motores pueden tener un factor de potencia inherente tan bajo como 60%. En términos de forma ondulatoria, esto significa que la reactancia inductiva es causa de que la corriente se retrase considerablemente con respecto al voltaje. La discusión previa mostró que la reactancia capacitativa tienden hacer que la corriente se adelante al voltaje. Lógicamente entonces, un factor de potencia bajo debido a inductancia puede elevarse colocando capacitancia en la línea. Y en práctica esto es lo que sucede. Un capacitor de arranqué se coloca en un motor; un banco de capacitores se instala en una planta industrial; los capacitores son localizados estratégicamente sobre las líneas de distribución, por las compañías productoras.

La capacitancia resultante, actuando en oposición a la inductancia, estable un factor de potencia más favorable del que seria posible con inductancia actuando únicamente sobre la línea.





## "CICLOS TERMODINÁMICOS EN REFRIGERACIÓN."

## 3.1 EL CICLO DE CARNOT.

El ciclo de Carnot es un ciclo hipotético desarrollado por Carnot para una máquina de calor ó para una máquina de calor invertida. Todos los procesos del ciclo de Carnot son reversibles, proporcionando así el mejor dispositivo posible que se podría construir. Los resultados del análisis del ciclo se pueden usar para determinar la eficiencia máxima del rendimiento posible de una máquina de calor ó de una máquina de calor inversa.

La figura 3.1 muestra una planta generadora de vapor que puede servir como modelo para el análisis de las características importantes de una máquina Carnot de calor.

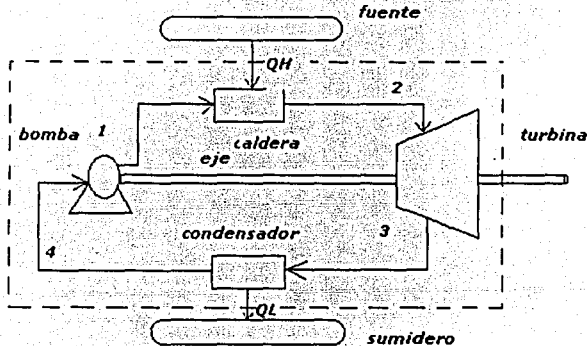
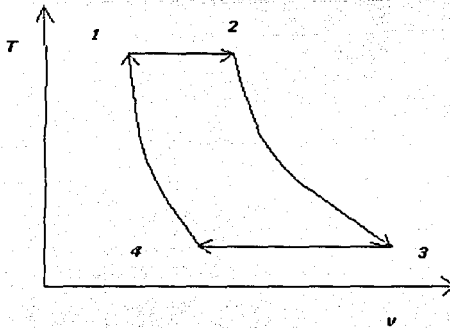


Figura 3.1 Dispositivo de una planta de vapor de Carnot.

El fluido de trabajo es inicialmente un líquido saturado, éste circula a través del ciclo de un punto 1 a un punto 2, pasando por la caldera, luego del punto 2 al punto 3 pasando a través de la turbina, luego del punto 3 al punto 4 pasando por el condensador y termina del punto 4 al punto 1 donde pasa a través de la bomba, cerrando se así el ciclo. Los estados termodinámicos para el fluido de trabajo del ciclo de la máquina de Carnot se ilustran a través de la siguiente figura.

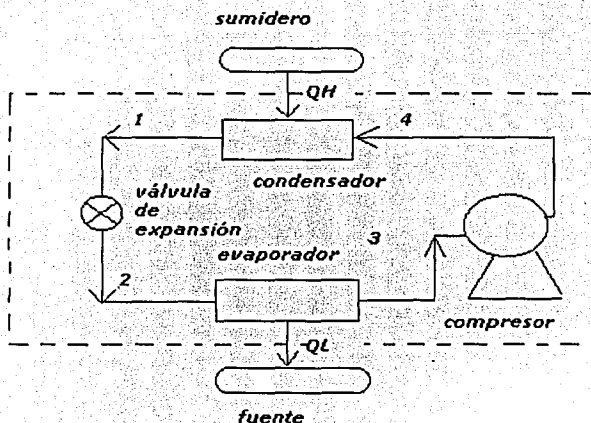


**Figura 3.2** Estados termodinámicos para el fluido de trabajo en un ciclo Carnot.

- Proceso 1-2 *Proceso isotérmico reversible*, en el cual el calor fluye de una fuente de alta temperatura al fluido de trabajo, que se encuentra a temperatura constante y solo infinitesimalmente inferior a la temperatura de la fuente.
- Proceso 2-3 *Proceso adiabático reversible*, durante el cual el fluido de trabajo se expande a través de una turbina para producir una salida de trabajo positivo.
- Proceso 3-4 *Proceso isotérmico reversible*, en el cual el calor fluye hacia un sumidero de baja temperatura desde el fluido de trabajo (durante su paso a través del condensador). Tanto el fluido de trabajo como el sumidero se hallan a temperaturas constantes, que difieren solo una cantidad infinitesimal.
- Proceso 4-1 *Proceso adiabático reversible*, durante el cual la temperatura del fluido de trabajo se eleva de nuevo a la temperatura de la fuente. Se suministra trabajo a la corriente de fluido para comprimirlo a la presión del estado 1.

### 3.2 CICLO INVERSO DE CARNOT.

La figura 3.3 nos muestra un diagrama de componentes para un dispositivo que opere con el ciclo de Carnot invertido, este dispositivo es similar al ciclo de refrigeración típico.

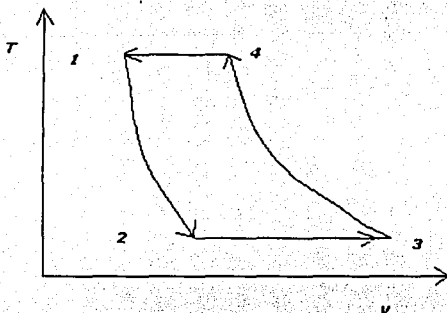


**Figura 3.3** Dispositivo de un ciclo inverso de Carnot.

El ciclo inverso de Carnot muestra procesos reversibles, en este caso el dispositivo puede servir como una refrigerador o como bomba de calor, con extracción de calor desde un depósito de baja temperatura (fuente) y con rechazo de calor hacia un depósito de alta temperatura (sumidero). Para que funciones éste dispositivo se requiere una entrada de trabajo, el diagrama de la figura 3.4 ilustra el ciclo de Carnot, en el caso del ciclo inverso se cambia el flujo de las flechas.

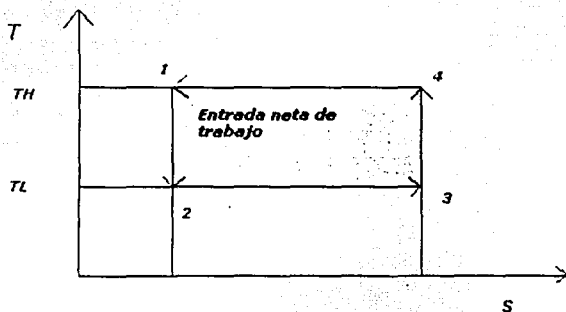
- Proceso 1-2 *Proceso de expansión adiabática reversible*, en el cual la temperatura del fluido se reduce.
- Proceso 2-3 *Proceso isotérmico reversible*, durante el cual el fluido de trabajo se evapora extrayendo el calor de sus alrededores (de la fuente de calor).
- Proceso 3-4 *Proceso de compresión adiabático reversible*, se le suministra trabajo al fluido para incrementar su temperatura y su presión.

Proceso 4-1 *Proceso isotérmico reversible*, durante el cual la temperatura del fluido de trabajo se eleva más arriba de la temperatura del sumidero.



**Figura 3.4** Estados termodinámicos para el fluido de trabajo en un ciclo inverso de Carnot.

Aunque es más común encontrarse en los libros el ciclo inverso dentro de un diagrama T-s de la siguiente manera.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 3.5** Estados termodinámicos para el fluido de trabajo en un ciclo inverso de Carnot dentro de un diagrama T-s (Temperatura-entropía).

### 3.3 CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

El funcionamiento de una máquina de calor invertida se basa en ciertos principios físicos fáciles de entender, tal vez el más utilizado de ellos sea el principio de enfriamiento por evaporación.

En los dispositivos basados en el principio de enfriamiento por evaporación, el enfriamiento es producido cuando un refrigerante en estado líquido se evapora al absorber calor del sistema que se va a enfriar. La unidad en la que este proceso de evaporación tiene lugar se le denomina evaporador.

Para que funcione en forma continua o en un ciclo, el refrigerante debe retornar al estado líquido. Esto se logra (por lo general a una temperatura y una presión mayor) por medio de un proceso de rechazo de calor con un componente llamado condensador.

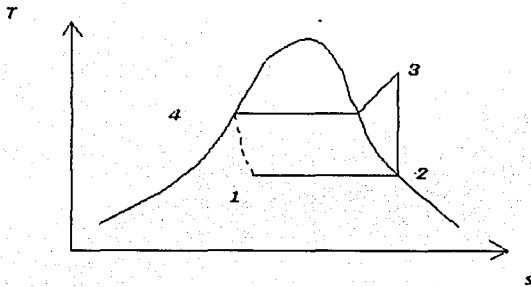
El sistema de refrigeración por compresión de vapor funciona según el principio de enfriamiento por evaporación. Es por mucho el tipo más común de sistema de refrigeración en uso. Se utiliza de manera considerable en hogares, en el comercio, en la industria e incluso en los medios de transporte. Los refrigeradores domésticos pueden ser del tipo de compresión de vapor. La unidad de refrigeración en el acondicionador de aire de un automóvil también es un sistema de compresión de vapor.

Una bomba de calor y un refrigerador son máquinas de calor que funcionan en forma invertida. Durante la operación, una máquina de calor invertida transfiere calor de una fuente a baja temperatura a un sumidero a alta temperatura. Un refrigerador o acondicionador de aire se construye para extraer calor de una fuente a baja temperatura, mientras que una bomba de calor es capaz de entregar calor a un sumidero de alta temperatura, por ejemplo una habitación, para calentar una sustancia en un espacio. El dispositivo siempre se a conocido como refrigerador o acondicionador de aire si solo proporciona enfriamiento, y como bomba de calor si esta dispuesto de una manera que pueda calentar o enfriar un espacio particular.

La presión en el evaporador debe de ser tal que la correspondiente temperatura de saturación del refrigerante será inferior a la temperatura del sistema que se está enfriando.

En la figura 3.6 se muestra el ciclo correspondiente para un dispositivo típico de refrigeración por compresión de vapor.

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es básicamente el ciclo de Carnot inverso, excepto que en el caso de un ciclo de refrigeración, la disminución de la presión del refrigerante, del alto nivel del condensador al bajo nivel del evaporador, se lleva a cabo por medio de una válvula de estrangulamiento o un tubo capilar. Por lo general la expansión a través de la válvula de estrangulamiento se toma como adiabática, en cuyo caso la aplicación de la primera ley de la termodinámica indica que el proceso es isoentálpico. Este proceso a entalpía constante va acompañado por un incremento de entropía. Como el proceso es adiabático se infiere del principio de incremento de entropía que el proceso es irreversible. De acuerdo con esto en proceso que se presenta en la figura 3.2 es una línea interrumpida.



**Figura 3.6** Diagrama esquemático de un sistema de refrigeración por compresión de vapor en coordenadas T-s.

### 3.3.1 CICLOS DE COMPRESIÓN DE VAPOR.

La figura 3.6 muestra las principales características de construcción de un dispositivo típico de refrigeración por compresión de vapor. A continuación se describen los procesos que constituyen el ciclo.

### 3.3.2 PROCESO DE EVAPORACIÓN (1-2).

El enfriamiento en el ciclo de refrigeración se produce en el evaporador. Para que un líquido se vaporice debe suministrarse calor equivalente a la entalpía de evaporación del líquido. La evaporación del refrigerante produce así el enfriamiento del medio colocado en contacto con la unidad evaporadora.

Se han empleado varios refrigerantes y la elección suele basarse en la temperatura de enfriamiento deseada, así como en consideraciones de seguridad. Por ejemplo, el amoníaco es una elección común en muchas aplicaciones de refrigeración. Sin embargo, debido a sus cualidades dañinas, su uso dentro de los edificios está prohibida por la ley. Otro ejemplo es el refrigerante R-12 (diclorodifluorometano), que en una época fue el refrigerante más usado en dispositivos domésticos de refrigeración y en acondicionadores de aire para automóviles. Se sabe ahora que el R-12 tiene una influencia nociva en la capa protectora de ozono de la atmósfera terrestre. En la actualidad se usa de una manera extensa el refrigerante R-22 (monoclorodifluorometano) menos nocivo que el refrigerante 12. cabe mencionar que en la actualidad se encuentra en estudio y en aplicación otros refrigerantes con mejores cualidades que el R22, los cuales han ido reemplazando a estos refrigerantes.

### 3.3.3 PROCESO DE COMPRESIÓN (2-3).

Los procesos que siguen a la evaporación del refrigerante están diseñados para que el vapor producido vuelva a la condición original de vapor muy húmedo que precede al proceso de evaporación. El compresor eleva la temperatura y la presión, desde la presión baja del estado 2 hasta la presión alta del estado 3. el compresor también pone en movimiento al refrigerante a través de las diversas unidades que constituyen el dispositivo de refrigeración. Se supone que el proceso de compresión ocurre reversible y adiabáticamente en el caso ideal. Como se indico antes, la presión en el condensador debe ser tal que la temperatura de saturación correspondiente del refrigerante sea mayor que la temperatura del sumidero.

### 3.3.4 PROCESO DE CONDENSACIÓN (3-4).

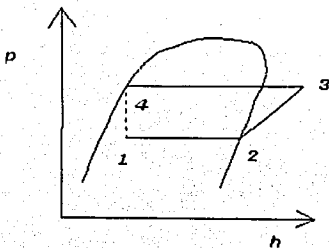
La condensación del vapor tiene lugar como resultado del proceso (3-4) de rechazo de calor, con frecuencia hacia el aire ambiente. Observe que cuando el dispositivo se usa como bomba de calor, el rechazo de calor es hacia el medio mantenido a la temperatura superior.

En tales aplicaciones, el aire ambiente sirve como fuente de calor e intercambia calor con la unidad evaporadora. La temperatura de vapor al final de la etapa de compresión normalmente es mucho mayor que la temperatura ambiente. Así, a menudo se puede lograr una condensación hasta una condición de líquido ligeramente

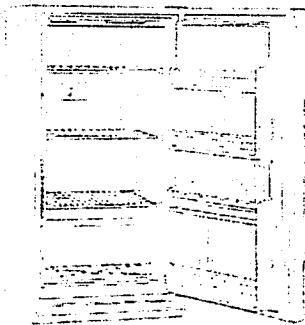
intercambiadores de calor, aún cuando esta transferencia al sumidero es por convección natural.

### 3.3.5 PROCESO DE ESTRANGULAMIENTO (4-1).

La válvula de estrangulamiento se usa para que el refrigerante vuelva a la condición de baja presión y de vapor muy húmedo antes de su entrada al serpentín evaporador. Las líneas discontinuas usadas en los diagramas T-s y p-h (temperatura-entropía y presión-entalpía) para el proceso de estrangulamiento sirven para recordar que el proceso es internamente irreversible.



**Figura 3.7** Diagrama esquemático de un sistema de refrigeración por compresión de vapor en coordenadas p-h.



**Figura 3.8** Aplicación típica de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.





**"CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS."****4.1 LISTA DE PARTES REQUERIDAS.**

Para que se construya el equipo que estamos proponiendo se requiere del siguiente material para llevar a cabo dicha construcción.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	COMPRESOR TECUMSEH 1/6 HP, A 110 V. +- 10%, 60 Hz.	\$ 600.00
1	PROTECTOR TÉRMICO M.C.A. ETA MODELO : 4000-110-SI.	\$30.00
1	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN SAGINOYIMA/RIMSA MODELO SN S-C106.	\$450.00
1	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN SAGINOYIMA/RIMSA MODELO HNS-C130.	\$450.00
1	CAPACITOR DE OPERACIÓN ASEA 8 $\mu$ f, 370 VCA + 10%.	\$70.00
1	CAPACITOR DE ARRANQUE ASEA 145 $\mu$ f, 110 VCA .	\$30.00
1	CONTROL DE TEMPERATURA SAGINOMIYA MODELO: FRS-C130.	\$200.00
1	MANÓMETRO DE ALTA RESIÓN UNIWELD MODELO: 0-500 psi.	\$40.00
1	MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN UNIWELD MODELO: -30 Aa 120 psi.	\$40.00
1	RELAVADOR DE CORRIENTE.	\$40.00
1	RELEVADOR DE POTENCIAL AIRSECO 115 V , 60 Hz, MODELO: 8801.	\$100.00
1	INTERRUPTOR GENERAL CON PROTECCIÓN TÉRMICA.	\$300.00
1	CONJUNTO DE CABLES CON TERMINALES TIPO BANANA.	\$500.00
1	BASE DE MADERA BARNIZADA.	\$300.00

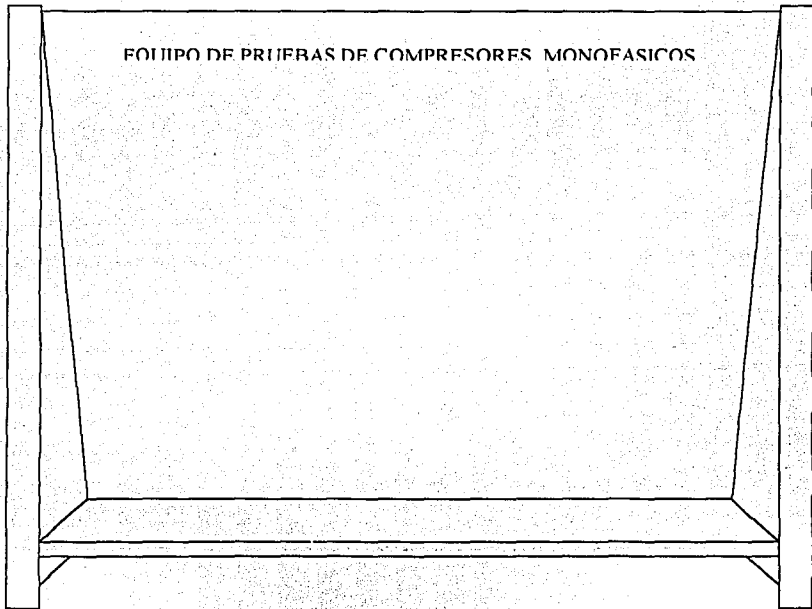
**COSTO TOTAL SIN TOMAR EN CUENTA LA MANO DE OBRA: \$3150.00**

Se considera que el alumno va a construir todo el banco. Además habrá que considerar una pequeña cantidad de cable para las conexiones internas.

#### **4.2 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DE LAS PARTES.**

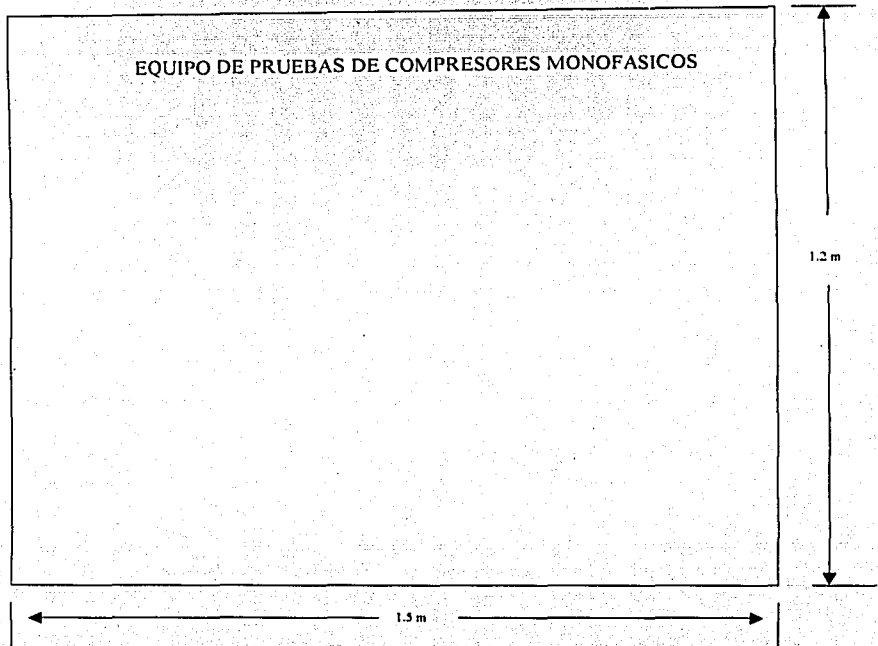
Primero se debe de construir la base de madera para poder montar todos los componentes eléctricos que componen al compresor dentro del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.

La base de madera se propone de la siguiente manera:

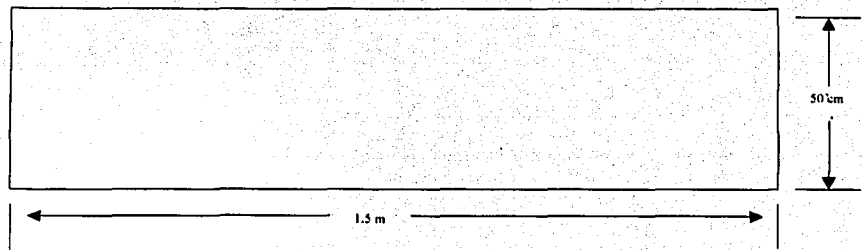


**Figura 4.1** Base de madera propuesta.

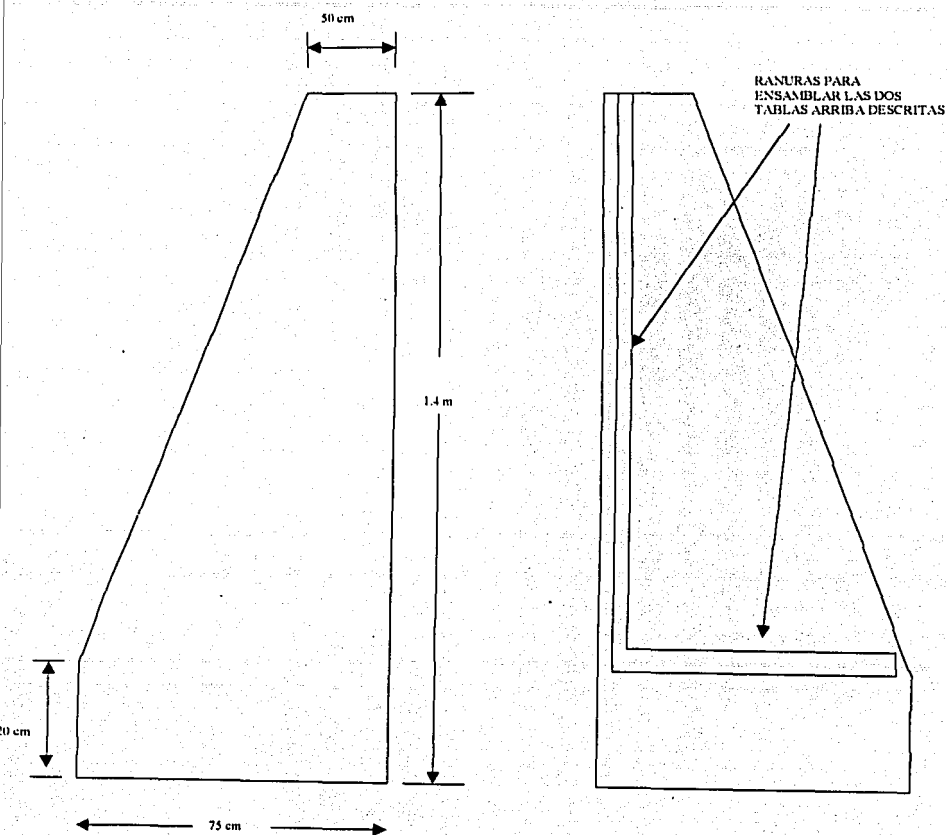
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



**Figura 4.2** Base de madera donde van los instrumentos (ver figura 1).



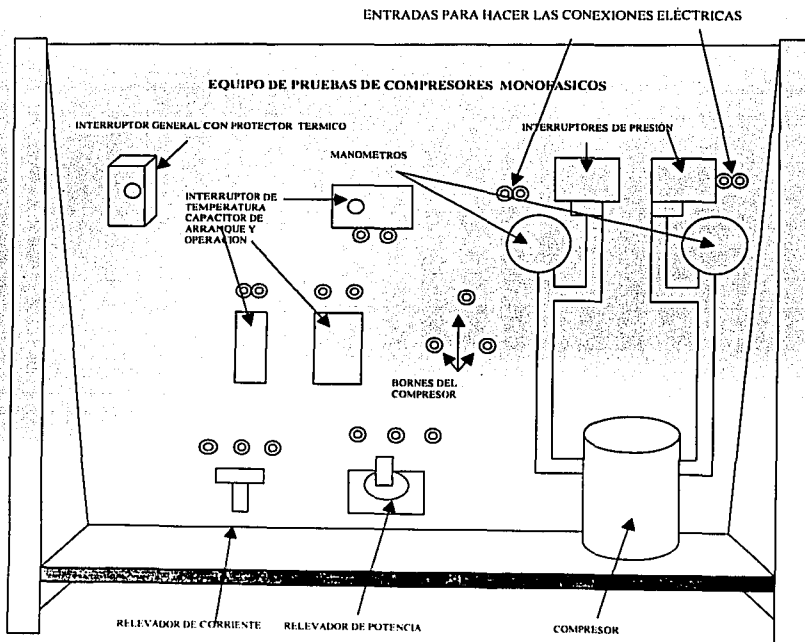
**Figura 4.3** Base de madera donde va el compresor (ver figura 1).



**Figura 4.4** Soporte de las bases de madera arriba descritas(ver figura 1, para observar donde va ensamblado).

### 4.3 ENSAMBLAJE DE LAS PARTES REQUERIDAS.

A continuación se hace un croquis de la forma en que se van a ensamblar cada una de las partes que se adquirieran. Cabe señalar que las distancias entre cada componente varía de acuerdo a las medidas de la base de madera construida y a la forma en que se verán distribuidas.



**Figura 4.5** Se puede observar la base de madera construida con cada uno de los componentes que se proponen para este módulo de pruebas.



**"PRUEBAS DEL EQUIPO."****5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL COMPRESOR DEL BANCO DE PRUEBAS.**

En los sistemas de refrigeración por compresión existen dos diferentes condiciones de presión. Uno se llama el lado de baja presión del sistema y el otro el lado de alta. El evaporador, en donde se absorbe calor de los alimentos o del material que se está enfriando, está en el lado de baja. El condensador, en donde se libera calor del refrigerante, está en el lado de alta. La función del compresor es el de mover refrigerante alrededor del sistema, cambiando la presión del refrigerante de baja a alta. El compresor succiona vapor del refrigerante a baja presión del evaporador, lo comprime aumentando su presión y temperatura y lo bombea al condensador en donde libera su calor al aire antes de pasar de nuevo al evaporador.

Esta acción del compresor al impulsar el refrigerante alrededor del sistema, del lado de baja al lado de alta se llama ciclo de compresión.

El compresor propuesto para el equipo didáctico de pruebas eléctricas de compresores monofásicos aplicados a la refrigeración por compresión mecánica es del tipo hermético.

En los compresores herméticos el motor eléctrico está sellado dentro de una carcasa metálica junto con el compresor.

La gran ventaja de este tipo de arreglo es que se evitan problemas de sellado que ocurren al extender la flecha del compresor fuera de la carcasa del propio compresor para acoplarla a un motor externo.

En el compresor hermético, el rotor del motor está acoplado directamente a la flecha del compresor. En algunos compresores herméticos el motor está encima del compresor, en otros casos está abajo del compresor.

La figura 5.1 muestra la construcción general de un compresor con el motor arriba construido por la empresa kelvinator. Este tipo puede ser usado sin ningún problema para el banco de pruebas propuesto.

El compresor se monta sobre resortes dentro de la carcasa para reducir efectos por la vibración.





Las conexiones eléctricas pasan a través de la carcaza por medio de un sello aislado a prueba de fugas.

Para lograr la lubricación y el enfriamiento de la unidad, el refrigerante (tanto líquido como vapor) que entra por la válvula de succión, pasa a un disco hueco montado sobre la flecha del compresor. La fuerza centrífuga impulsa el aceite que esta dentro del compresor y el refrigerante líquido a la orilla del disco de donde fluye por encima de los devanados del motor. Únicamente queda en el centro del disco refrigerante en forma de vapor y es este vapor lo que se succiona dentro del cilindro del compresor.

Los compresores herméticos requieren un relevador de corriente externo para arrancar el compresor. Normalmente, este relevador se monta directamente sobre dos de las terminales del motor (las de arranque y marcha del compresor) del compresor dentro de una cubierta desmontable. En el caso del banco de pruebas, el relevador no esta montado sobre el compresor sino sobre el mismo banco para que se pueda integrar fácilmente en el alambrado del circuito.

## **5.2 DESCRIPCIÓN ELÉCTRICA DEL COMPRESOR DEL BANCO DE PRUEBAS.**

Se requieren tres instrumentos básicos para efectuar pruebas del sistema eléctrico de un compresor. Un voltímetro, un amperímetro y un óhmetro. Estos instrumentos pueden ser analógicos (de aguja) o digitales y es común combinarlos en un solo instrumento llamado multimetro que igualmente puede ser analógico o digital.

El voltímetro mide la fuerza electromotriz (fem) que impulsa el flujo de corriente. Esta fuerza se denomina voltios.

El amperímetro mide el flujo de corriente en unidades denominadas amperios.

El óhmetro mide la resistencia de un sistema o componente al flujo de corriente. La unidad de medición es el ohm. Todos los materiales presentan alguna resistencia al flujo de corriente de acuerdo a su composición, diámetro, o espesor, longitud y temperatura. se llaman resistencias a los componentes diseñados para ofrecer valores específicos de resistencia al flujo de corriente de circuito.

El instrumento llamado wáttmetro puede usarse para obtener una medición llamada potencia. La energía eléctrica suministrada al

compresor se convierte en energía mecánica a una relación de conversión de 746 W (0.746 KW) = 1 Caballo de Fuerza.

En los circuitos de corriente alterna, la potencia real medida en watts puede ser menor que el valor obtenido al multiplicar el voltaje y la corriente. Esto se deriva del hecho de que la corriente en un circuito de corriente alterna puede no estar exactamente en fase con el voltaje y como consecuencia, que la potencia real sea menor que la potencia teórica. Aquella fracción de la potencia de un circuito que si se puede generar se llama factor de potencia del circuito. El wáttmetro se compensa automáticamente por el factor de potencia y así indica siempre la potencia real generada por el circuito. El wáttmetro se conecta en serie con el circuito que se esta midiendo.

Sin duda una de las reparaciones mas costosas a cualquier sistema de refrigeración es la del propio compresor. Por esto resulta importante revisar a fondo el compresor para detectar cualquier falla del sistema eléctrico que pudiera provocar daños graves.

Para asegurar que el compresor no este sobre trabajando, es crucial medir la corriente que consume mientras este operando. Un consumo de corriente por encima de la capacidad del compresor indicará que el compresor se encuentra en peligro de quemarse, esto es, que los devanados del motor se han calentado a tal grado que el aislante está a punto de quemarse lo que provocará un corto circuito y la necesidad de rebobinar por completo el motor. El alto consumo de corriente puede ser el resultado de una presión excesiva del lado de alta del sistema de refrigeración, alguna obstrucción en la tubería del sistema , bajo voltaje de línea o un defecto en el capacitor de operación.

El bajo consumo de corriente indicará que el compresor no está operando a su óptimo nivel de eficiencia posiblemente a causa de desgastes en las válvulas del compresor. La corriente de operación deberá estar entre el 10% de la carga completa de amperaje especificada en la placa del compresor. La siguiente tabla muestra el consumo aproxlmado de corriente de diferentes compresores herméticos de pequeña capacidad.

Al arrancar el compresor, una alta corriente en el devanado de arranque puede ser una indicación que la carga de arranque sobre el sistema es demasiado alta. La causa de esto puede encontrarse en el hecho de que el dispositivo limitante de refrigerante no iguala presiones de los lados de alta y baja presión del sistema mientras el compresor este apagado.

Los voltajes del motor del compresor también son importantes. El voltaje a través del devanado de operación deberá ser igual al voltaje de línea; un voltaje bajo puede provocar varios problemas incluyendo un alto amperaje de operación y que se pegue el relevador de corriente. El voltaje a través del devanado de arranque es el voltaje inducido que se investigará más adelante.

H.P	AMPERAGE DE OPERACIÓN	
	A 120 VOLTS A PLENA CARGA	A 240 VOLTS A PLENA CARGA
1/12	1.4	0.8
1/8	2.4	1.2
1/6	3.4	1.7
1/5	4.2	2.1
1/4	4.6	2.4
1/3	5.8	3
1/2	8.2	4.2
3/4	13.8	6.9
1	16	8
1 1/2	20	10
2	24	12
3	34	17

**Tabla 5.1** Corriente de operación.

Aparte de las mediciones de voltaje y corriente, es muy útil obtener mediciones de resistencia. La resistencia entre la terminal común del compresor y la carcaza del mismo debe ser muy alta ya que la terminal debe de estar perfectamente aislada de la carcaza. Si esta resistencia es de solamente unos miles de ohms se dice que el compresor está conectado a tierra: situación que implica su reconstrucción completa o el reemplazo del compresor. Si la resistencia aún es muy alta pero ya bajo con respecto a la lectura inicial, posiblemente el aislamiento del devanado se encuentre húmedo o dañado provocando una fuga de corriente.

Si en efecto está húmedo, se puede evacuar el sistema y deshidratarlo para intentar secar el aislamiento del devanado.

Esta tesis indica que cualquier trabajo de mantenimiento de un sistema de refrigeración deberá iniciarse con una revisión eléctrica completa del compresor,. Por ende es sumamente importante saber utilizar correctamente los instrumentos de medición.

### 5.3 MOTORES DE FASE DIVIDIDA.

En un compresor hermético el motor impulsa al compresor directamente. El motor debe ser del tipo de inducción: motores del tipo rotor devanado con anillos rozantes o escobillas no pueden usarse. De hecho, el desarrollo de los motores de inducción de fase dividida hizo posible al compresor hermético. Los problemas principales que presentan los motores de los compresores herméticos son los siguientes:

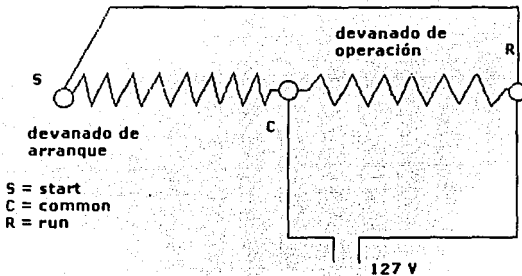
1. Se tiene que hacer provisión especial para el enfriamiento del motor.
2. El aislamiento del cableado debe ser resistente al aceite y a los químicos del refrigerante.
3. La fabricación de la unidad debe ser de alta precisión para lograr una alineación exacta entre el estator, el rotor y el compresor.
4. Las conexiones eléctricas a través de la carcaza del compresor deben ser eléctricamente perfectas y a prueba de fugas.

En la mayoría de los sistemas se logra el enfriamiento succionando aceite y refrigerante en la forma de vapor frío encima de los devanados del motor.

Los motores de fase dividida cuentan con dos conjuntos de devanado inductor; un devanado de arranque de baja inductancia y alta resistencia; un devanado de operación de alta inductancia y baja

resistencia. Esta diferencia en inductancia causa que un conjunto de devanados esté fuera de fase magnética con respecto al otro. Al momento de energizar el devanado de arranque, provoca un desfase haciendo que se ejerza un par torsor y como consecuencia el motor empieza a girar. El par torsor es débil insuficiente para arrancar el motor bajo carga, por lo tanto, los motores de fase dividida se usan normalmente en pequeños sistemas de refrigeración (esencialmente domésticos) de hasta 1/3 de H.P. que cuentan con tubos capilares para el control de refrigerante para tener un equilibrio de presiones entre el lado de baja y el lado de alta presión del sistema cuando el compresor está apagado.

Ya que la resistencia del devanado de arranque es grande, el flujo de corriente genera bastante calor en el devanado. Antes de que este calor provoque el quemado del compresor se desconecta el devanado de arranque por medio de un relevador de corriente. La desconexión ocurre cuando el motor alcanza aproximadamente el 75% de su velocidad de operación la figura 5.2 muestra el circuito de un motor de fase dividida.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

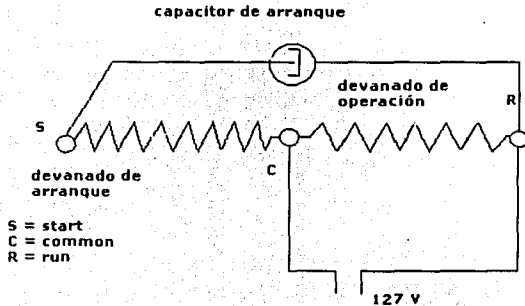
**Figura 5.2** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida.

- C = terminal común del motor.
- S = Bobina del arranque (del inglés start).
- R = Bobina de operación (del inglés run).

#### 5.4 CAPACITORES DE ARRANQUE.

Con los motores monofásicos es común utilizar un capacitor de arranque. Un capacitor es un sistema de conductores y aisladores que permiten el almacenamiento de electricidad en la forma de

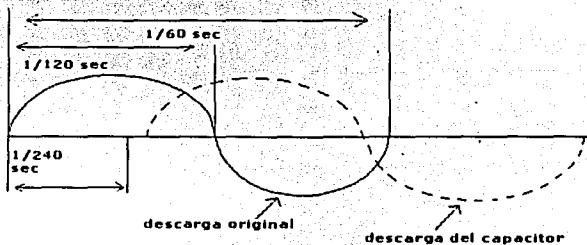
electrones libres. La capacidad de almacenamiento se mide en faradios (f). La mayoría de los capacitores que se usan en los sistemas de refrigeración se miden en microfaradios; un microfaradio ( $\mu f$ ) es equivalente a 0.000,001 de un faradio. Los capacitores se clasifican de acuerdo a su material dieléctrico (aislante) de que están contruidos. Este puede ser de mica, cerámica, papel, etc. Los capacitores grandes consisten en hojas de aluminio separadas por un material dieléctrico enrolladas para formar un cilindro.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 5.3** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un capacitor de arranque.

El capacitor de arranque queda operando solo unos segundos ya que se desconecta al momento en que el relevador de corriente desconecta el devanado de arranque.



**Figura 5.4** La figura muestra como la carga y descarga de un capacitor provoca el desfase de un ciclo de corriente alterna.

Un capacitor de arranque se conecta en serie con el devanado de arranque (figura 5.3). Su efecto es el de convertir el motor monofásico en un motor bifásico (figura 5.4) durante el arranque incrementando así el par tursor generado. El capacitor incrementa el desfaseamiento del flujo de corriente en el devanado de arranque respecto al flujo en el devanado de operación. Durante la primera mitad del ciclo de corriente alterna, el capacitor se carga. luego en la segunda mitad del ciclo al disminuir el flujo de corriente, el capacitor se descarga: esta descarga suministra otro impulso de corriente al devanado de arranque

## 5.5 RELEVADORES DE ARRANQUE.

Al energizar el circuito, el interruptor o relevador de corriente se cierra y el devanado de arranque queda conectado. El motor empieza a arrancar y el flujo de corriente a través de los devanados de arranque y de operación y a través de la bobina del relevador mantiene cerrado el interruptor "O" . Al alcanzar el motor aproximadamente el 75% de su velocidad de operación, se disminuye el flujo de corriente a través del devanado de operación y la bobina: se abre el interruptor "O" desconectando el devanado de arranque y dejando el motor operando con solo el devanado de operación.

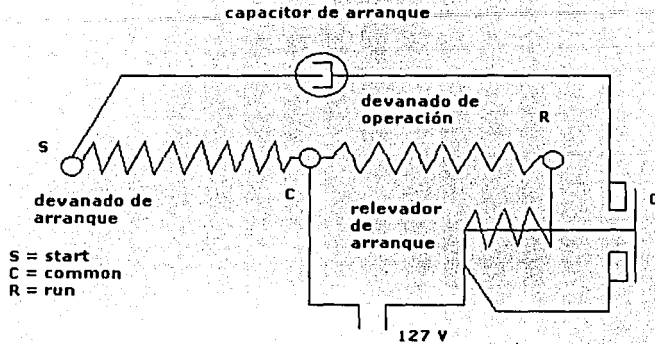
Podemos concluir que es un dispositivo que tiene a su cargo la misión de poner en marcha al compresor. Consta de una pieza en forma triangular hueca rodeada por una bobina de alambre barnizado denominada magneto. En su interior alberga dos platinos montados sobre una chapa pequeña de metal, un cilindro o contrapeso montado en una barra y un resorte cónico.

El capacitor de arranque solo se esta descargando el tiempo en que el relevador de arranque se lo esta permitiendo, de lo contrario crearía una descarga fuerte y continua que terminaría quemando al devanado de arranque.

Si el relevador de corriente trabaja bien, no deberán surgir problemas de calentamiento. Sin embargo, si el devanado de arranque se usa por periodos prolongados o si el compresor está arrancando continuamente se calentará el aislamiento del capacitor provocando su falla.

La figura 5.5 muestra el circuito de la figura 5.3, pero con la adición de un capacitor de arranque en serie con el devanado de arranque y un relevador de arranque.





**Figura 5.5** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un relevador de corriente (o de arranque) y un capacitor de arranque conectado en serie con el devanado de arranque.

## 5.6 CAPACITORES DE POTENCIA.

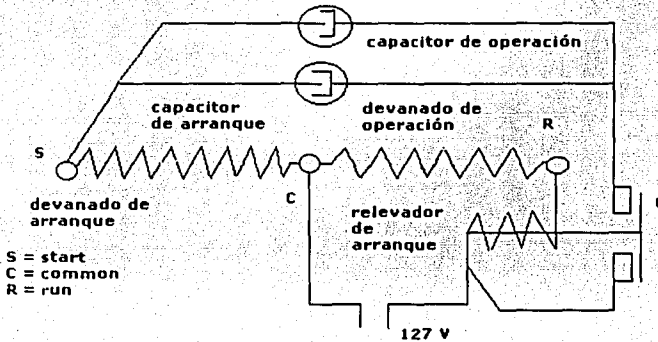
El equipo didáctico propuesto para las pruebas eléctricas de compresores monofásicos aplicados a la refrigeración por compresión mecánica incluye otro capacitor, el de operación. Este capacitor también se conecta en serie con el devanado de arranque para a diferencia con el capacitor de arranque, no se desconecta después del arranque y queda operando mientras opera el motor. El capacitor de operación está diseñado para disipar el calor rápidamente y generalmente es más pequeño que el capacitor de arranque. Nunca se debe usar un capacitor de arranque en el circuito de operación.

La conexión de un capacitor de operación es paralelo con el capacitor de arranque y refuerza la operación del motor del compresor. En primer lugar el par de arranque es mayor que el de un sistema que utiliza únicamente un capacitor de arranque. Después de la desconexión del capacitor de arranque, el capacitor de operación, que se mantiene en el circuito, carga el devanado de arranque en fase con el devanado de operación.

El resultado es un motor bifásico muy eficiente: se mejora el factor de potencia y se reduce el consumo de corriente y en consecuencia el calentamiento del motor. Motores con capacitores de arranque y de operación se usan en motores herméticos de hasta 5 H.P. instalados en sistemas de refrigeración comercial.

Generalmente, no se recomienda convertir los compresores monofásicos del tipo de arranque por capacitor y operación por inducción (el tipo que es usual en los refrigeradores domésticos) para que funcionen con capacitores de arranque y operación, ya que la carga continua los puede llegar a quemar por ser mucha energía, solo se recomienda para compresores de arriba de 1 H.P. usualmente usados en corriente alterna de dos fases en equipos de aire acondicionado y refrigeración comercial.

Con un motor con capacitor de arranque y operación el uso de un relevador de corriente puede presentar problemas. Existe el peligro de que el capacitor de operación se descargue sobre el arranque a través del relevador de corriente. Esto se debe a que el alto voltaje desarrollado en el capacitor de operación puede provocar un fuerte arco a través de los contactos del relevador soldándolos. Para evitar esta situación, habría que colocar una resistencia entre los dos capacitores para evitar que un flujo de corriente demasiado grande alcance al capacitor de arranque precisamente en el arranque.



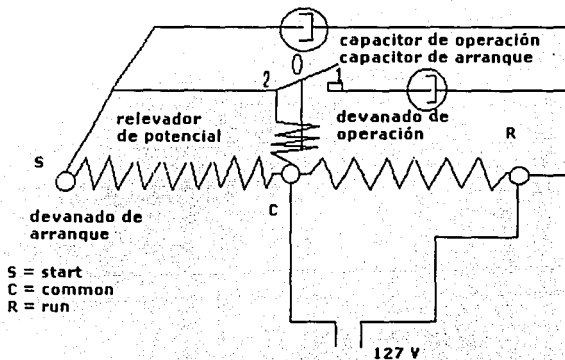
**Figura 5.6** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un relevador de corriente (o de arranque) y un capacitor de arranque conectado en paralelo con un capacitor de operación.

## 5.7 RELEVADORES DE POTENCIA.

Dentro del sistema eléctrico aplicado a un sistema de refrigeración por compresión mecánica existe otro tipo de relevador, el relevador de potencial, llamado también relevador de voltaje, cuyo uso más común se encuentra en motores equipados con capacitor de arranque y capacitor de operación.

El relevador de potencial consiste en una bobina o electroimán que atrae magnéticamente una palanca de acero suave. Al momento de la atracción, esta palanca vence la fuerza del resorte que la mantiene alejada de la bobina y presiona sobre los contactos del relevador, abriéndolos.

La corriente en la bobina del relevador no es la corriente de operación: la provoca un potencial a través de la bobina. El potencial surge del devanado de arranque en el motor conforme aumenta éste su velocidad. Se llama fuerza contraelectromotriz que se provoca en el devanado de arranque a medida de que las oscilaciones de corriente alterna en el devanado de operación inducen un voltaje en el devanado de arranque que intenta nullificar el aumento y disminución del campo de potencial en el devanado de operación. Al aplicar esta fuerza contraelectromotriz a la bobina del relevador se induce un campo magnético con suficiente fuerza para atraer la palanca y abrir los contactos.



**Figura 5.7** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un relevador de potencia (o de voltaje) y un capacitor de arranque conectado en paralelo con un capacitor de operación.

Los contactos deberán abrirse cuando el motor llega al 80% o 90 % de su velocidad nominal desconectando el capacitor de arranque. La bobina del relevador esta conectada a través del devanado de arranque y está hecha de alambre delgado lo que reduce la corriente que pasa por la bobina y por lo tanto, minimiza el calentamiento de la bobina y su núcleo.

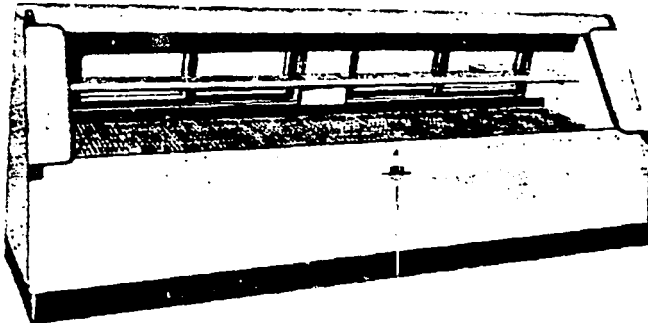
La resistencia de la bobina al voltaje debe ser lo suficientemente alta para impedir que atraiga la palanca y abra los contactos antes de que el motor haya casi alcanzado su velocidad de operación.

Sin embargo, la resistencia no debe ser tan alta que provoque que el relevador zumbe y no abra limpiamente los contactos. A veces es necesario doblar ligeramente la palanca hacia la bobina para asegurar la operación positiva del relevador.

La gran ventaja del relevador de potencial comparado con el de corriente es que los contactos del relevador de potencial están normalmente cerrados. Así no surge el peligro de arcos a través de los contactos al arrancarse el motor: el voltaje en ambos capacitores, el de arranque y el de operación se aumenta de manera similar conforme el motor cobra velocidad. La figura 5.7 muestra el diagrama de un circuito con capacitores de arranque y operación y relevador de potencial.

## 5.8 CONTROLES DE PRESIÓN.

Un sistema de refrigeración se debe de mantener a una presión baja en el evaporador para permitir la evaporación del refrigerante a temperatura baja. Por lo tanto, se puede basar el control automático del motor del compresor en las diferencias de presión en el evaporador. Este método de control se usa en los sistemas comerciales.



**Figura 5.8** Ejemplo típico de la refrigeración comercial. Nos muestra una vitrina - mostrador.

El interruptor funciona de esta manera: conforme se calienta el evaporador, aumenta la presión del lado de baja del sistema, se expande el fuelle y se cierran los contactos arrancando el motor. Cuando la presión (y la temperatura) bajan, se contrae el fuelle y se abren los contactos y se para el motor de forma automática.

El interruptor de baja presión está montado en la línea de succión del compresor. El interruptor cuenta con una escala indicadora y dos controles para ajustar la presión a la cual se conecta y desconecta el compresor. Un control ajusta la presión de arranque del motor mientras el otro (el de diferencial) incrementará la presión de desconexión al girarse en sentido de las manecillas del reloj sin afectar el ajuste del arranque. El girar el control de diferencial en este sentido aumenta la tensión de un resorte sobre el fuelle restringiendo así su capacidad de contracción a nivel requerido para abrir los contactos y desconectar el motor.

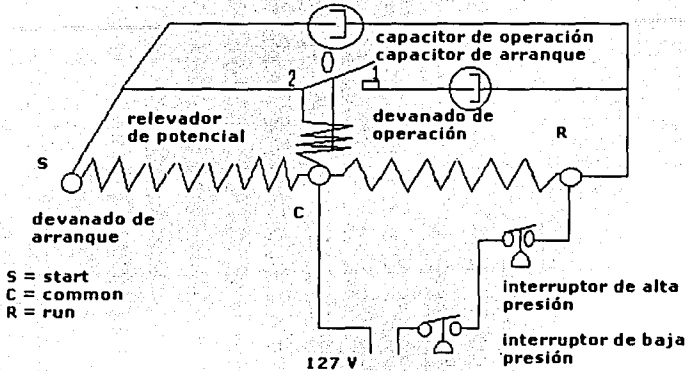
Aparte de controlar la operación del compresor de acuerdo a la temperatura, el interruptor de baja presión también actúa como un dispositivo de seguridad. El enfriamiento del compresor depende de la cantidad de temperatura del vapor de succión. Si la presión de este vapor esta demasiado baja (esto indica que al sistema le falta refrigerante o que existe una restricción en la línea de succión) el compresor se calentará y el motor estará en peligro de quemarse. El control de baja presión del interruptor deberá ajustarse de tal manera que desconecta el motor antes de que surga una situación de calentamiento.

El otro interruptor incorporado está conectado al lado de alta presión del compresor. Cuenta con un control de desconexión para ajustar la presión a la que se abren los contactos y se para el motor.

La función esencial de este interruptor es la de seguridad: su fuelle se expande si la presión llega a un nivel peligroso desconectando el motor para un compresor hermético, una alta presión del cabezal es muy peligrosa.

La alta presión aumentará la temperatura del vapor y aceite que fluyen por la válvula de salida del compresor lo que puede provocar la descomposición de la mezcla de aceite y refrigerante y la formación de compuestos ácidos que dañarían severamente al compresor.

El sobrecalentamiento del compresor o una carga excesiva y prolongada sobre el sistema puede provocar una alta presión en el cabezal.



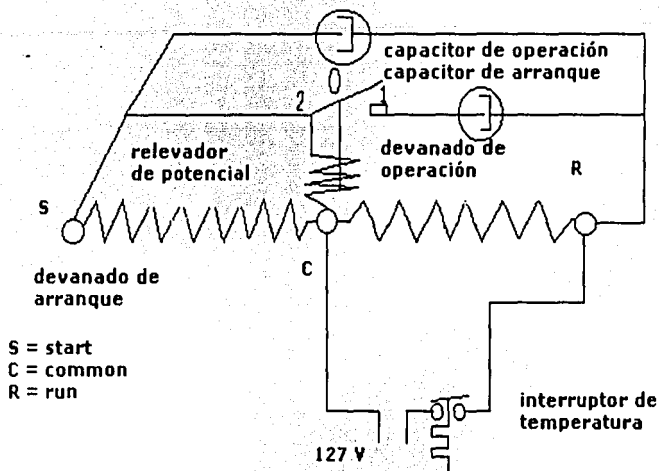
**Figura 5.9** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un relevador de potencia (o de voltaje) y un capacitor de arranque conectado en paralelo con un capacitor de operación, además complementándolo con un interruptor de baja presión y otro de alta presión. Nótese que se conectan eléctricamente en serie entre sí y con el devanado de operación y el devanado de arranque.

## 5.9 CONTROLES DE TEMPERATURA.

Los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado incorporan diversos tipos de controles de temperatura. uno de los más comunes, especialmente en los sistemas de aire acondicionado es el tipo que se propone en el equipo didáctico.

Este control utiliza las propiedades de una tira bimetalica para abrir o cerrar contactos de acuerdo a diferentes ajustes predeterminados de temperatura. la tira bimetalica consiste en dos diferentes metales , usualmente cobre y acero. El coeficiente de expansión del cobre es mas alto que el del acero.

El cobre por lo tanto, se expande mas que el acero conforme aumenta la temperatura. esta expansión tiene efecto de deformar la tira abriendo y cerrando los contactos del circuito eléctrico, para arrancar o desconectar el compresor de acuerdo al ajuste de control de temperatura. en el termostato propuesto se observa que tiene una forma de un disco cóncavo: la concavidad tiene una dirección cuando el disco está frío y cambia a la dirección opuesta al aumentar su temperatura.



**Figura 5.10** Circuito eléctrico de un motor de fase dividida con un relevador de potencia (o de voltaje) y un capacitor de arranque conectado en paralelo con un capacitor de operación, además complementándolo con un interruptor de temperatura. Nótese que también está conectado eléctricamente en serie con el devanado de operación y el devanado de arranque.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES.

A partir del trabajo realizado se concluye lo siguiente:

El ciclo de refrigeración por compresión mecánica esta compuesto por cuatro componentes, que hacen un proceso termodinámico único, que de no existir sería imposible realizar dicho ciclo de refrigeración.

Uno de éstos componentes es el compresor, ya que se encarga de proporcionar la energía necesaria para que el ciclo pueda trabajar y "producir frío".

El compresor es una máquina térmica que se encarga de impulsar al refrigerante a través de todo el sistema al aumentar su presión y en consecuencia su temperatura, para que el evaporador pueda remover toda la carga térmica del medio.

Existe una gran variedad y tipos de compresores, pero en este trabajo recepcional solo nos enfocamos a los reciprocantes herméticos que pertenecen a las máquinas de desplazamiento positivo.

Para que se comprenda mejor el ciclo de refrigeración es necesario tener cierta teoría básica que nos la proporciona la termodinámica y la electricidad básica, de no ser así este trabajo sería muy abstracto para el lector.

Se hace una descripción de la forma en que se opera un compresor reciprocante hermético y podemos observar que un buen ingeniero mecánico electricista necesita aplicar los conocimientos termodinámicos y eléctricos para poder hacer trabajar a un compresor.

Retomando lo anterior deducimos que el área eléctrica y el área mecánica van muy pegadas de la mano ya que una necesita de la otra.

En éste trabajo también pretendemos que el lector se de una idea de lo que se puede encontrar en la industria de la refrigeración y que piense que esta industria es muy solicitada para la reparación y mantenimiento de los refrigeradores domésticos y unidades de ventana.

Se establecieron los criterios fundamentales que se deben de seguir para hacer un buen análisis desde el punto de vista técnico acerca de la forma de operar de un compresor reciprocante hermético, aplicados a la refrigeración por compresión mecánica.



Se deja este texto como un manual de referencia de este componente básico del ciclo de refrigeración por compresión mecánica, para que futuras generaciones puedan tener esta obra como material de consulta y se deje que se haga el desarrollo de prácticas de laboratorio en base a los bosquejos de prácticas aquí propuestos.

Se agrega a este proyecto de titulación un bosquejo general de una serie de prácticas dentro de un apéndice A para que puedan ser retomadas por el instructor de laboratorio. Además de una tabla donde se observan las fallas mas comunes de un banco de pruebas descrito dentro del trabajo.

Al analizar todo lo anterior se concluye finalmente que se cumplió con todos los objetivos propuestos desde el principio de este trabajo recepcional de titulación y concluimos que en la ingeniería, al ver sus aplicaciones, el campo de la mecánica y la electrónica siempre van relacionadas y de la mano.



## APÉNDICE A.

Se proponen las siguientes prácticas en forma general para que el alumno de ingeniería mecánica eléctrica con la especialidad de mecánica en la materia de:

- Termodinámica Aplicada.
- Maquinas de Desplazamiento Positivo.
- Refrigeración y Aire Acondicionado.
- Máquinas Térmicas.
- Máquinas eléctricas.

pueda desarrollar el aspecto técnico en la industria de la refrigeración y familiarizarse con estos sencillos pero necesarios controles eléctricos dentro del ámbito laboral.

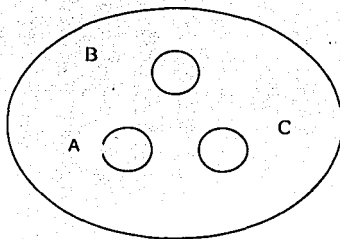
Haciendo la aclaración de que esta propuesta es solo una introducción de la explicación de este trabajo recepcional. A los maestros o tutores del área se les deja el desarrollo formal de las prácticas.

### PRÁCTICA No. 1

#### " PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL COMPRESOR"

**OBJETIVO:** Identificar las partes mecánicas y eléctricas del compresor.

**DESARROLLO:** Hacer un dibujo a escala en tercera dimensión del compresor que se muestra en esta tesis para identificar todas sus partes. También con un multímetro se harán las pruebas de resistencia en los bornes eléctricos.



Llenar la siguiente tabla:

Puntos de referencia.	Valor de la resistencia ( $\Omega$ )
A - B	
A - C	
B - C	
A - CARCAZA	
B - CARCAZA	
C- CARCAZA	

**RESULTADOS:** Si marca continuidad entre A-B, A-B Y A-C pero no marca continuidad entre A-CARCAZA, B-CARCAZA Y C-CARCAZA. Indica que eléctricamente el compresor esta bien. Habrá que analizar la parte mecánica.

Si llegase a marcar continuidad ente la carcasa y cualquier otra punta indicará que esta aterrizado el motor y por lo tanto ya no sirve.

Si no marcarse continuidad entre A, B y C . Indicará que el motor eléctrico esta dañado.

**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.

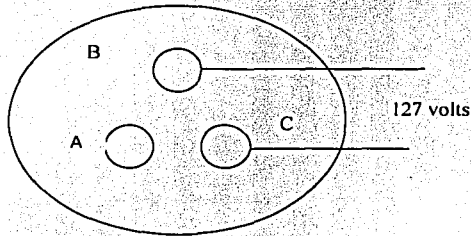
PRÁCTICA No. 2

" PRUEBAS DE ARRANQUE DIRECTO DEL COMPRESOR"

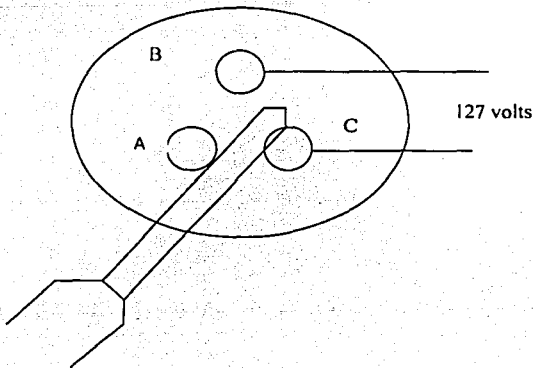
**OBJETIVO:** Saber arrancar un compresor de forma directa.

**DESARROLLO:** El tutor explicará la forma de hacer el arranque de manera directa en base a los datos de resistencia de la práctica anterior y al análisis del circuito aquí presente.

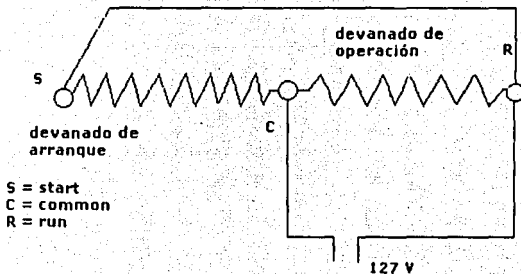
Se procede a conectar el motor a la energía eléctrica de acuerdo al siguiente dibujo.



Para simular el funcionamiento del relevador de arranque se puntean los bornes del trabajo ( C ) con el borne del arranque ( A ). Al momento de que el compresor está trabajando se retira el desarmador para dejar que trabaje solo la bobina del devanado de operación.



Ahora se analiza lo anterior con el circuito propuesto dentro del trabajo de tesis que a continuación se presenta.



**RESULTADOS:** Si marca continuidad entre A-B, A-B Y A-C pero no marca continuidad entre A-CARCAZA, B-CARCAZA Y C-CARCAZA. Indica que eléctricamente el compresor esta bien. Habrá que analizar la parte mecánica.

Si llegase a marcar continuidad ente la carcaza y cualquier otra punta indicará que esta aterrizado el motor y por lo tanto ya no sirve.

Si no marcarse continuidad entre A, B y C . indicará que el motor eléctrico esta dañado. Esto se debe a que se perdió continuidad dentro de las bobinas dl motor eléctrico, por lo que se deduce que el motor esta roto y ya no sirve.

**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.

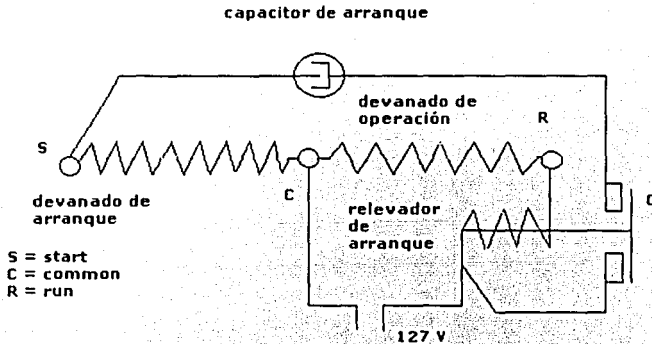
**ESTA TESIS NO SALL  
DE LA BIBLIOTECA**

PRÁCTICA No. 3

" PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL COMPRESOR CON EL RELEVADOR DE CORRIENTE Y CAPACITOR DE ARRANQUE "

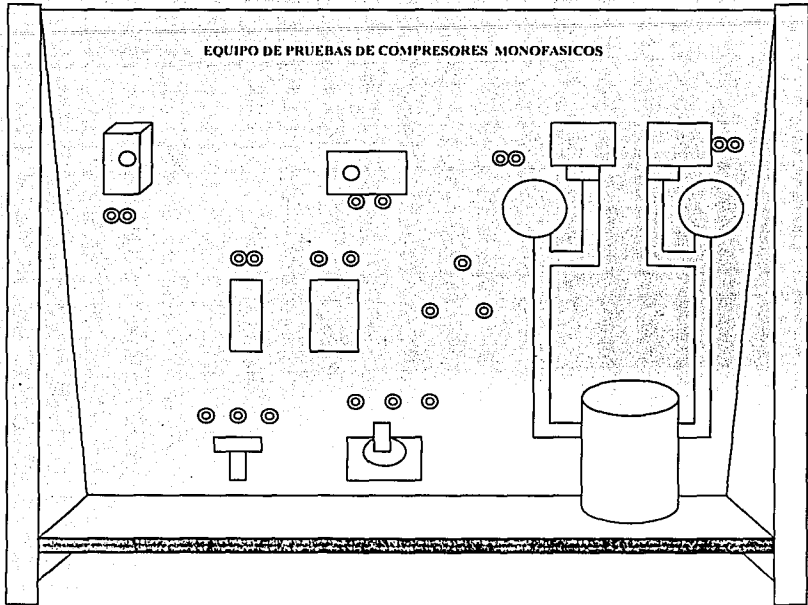
**OBJETIVO:** Identificar el funcionamiento del compresor conectado a un capacitor de arranque y un relevador de corriente.

**DESARROLLO:** una vez leída la lectura de los aspectos teóricos, identificar físicamente los componentes involucrados y hacer sus respectivas conexiones en el equipo propuesto, de acuerdo al diagrama eléctrico que se observa en la siguiente figura.



una vez identificado y analizado el circuito anterior, se procede a hacer la conexión en el diagrama del tablero (puesto en la siguiente figura). Una vez que el instructor aprobó el circuito se procede a hacerlo físicamente.

**RESULTADOS:** Se podrá determinar si el alumno es competente al explicar sobre el tablero las conexiones eléctricas correspondientes y que a la vez vaya explicando los fenómenos eléctricos que va pasando a través de todo el circuito.



**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.

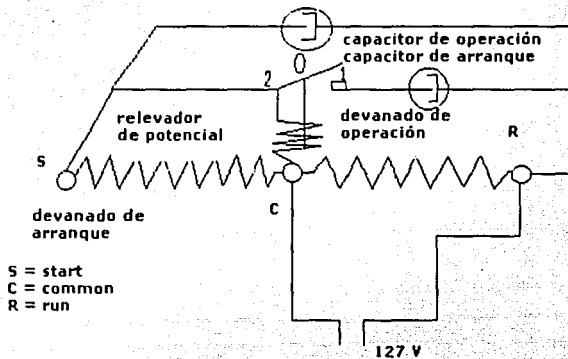


PRÁCTICA No. 4

" PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL COMPRESOR CON EL RELEVADOR DE POTENCIA, CAPACITOR DE OPERACIÓN Y CAPACITOR DE ARRANQUE"

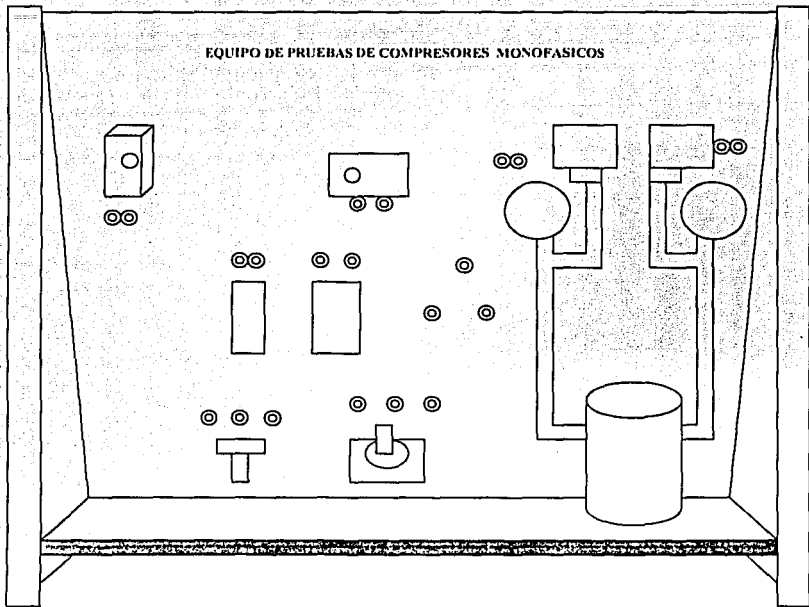
**OBJETIVO:** Identificar el funcionamiento del compresor conectado a un capacitor de arranque, capacitor de operación y un relevador de potencia.

**DESARROLLO:** una vez leída la lectura de los aspectos teóricos, identificar físicamente los componentes involucrados y hacer sus respectivas conexiones en el equipo propuesto, de acuerdo al diagrama eléctrico que se observa en la siguiente figura.



una vez identificado y analizado el circuito anterior, se procede a hacer la conexión en el diagrama del tablero (puesto en la siguiente figura). Una vez que el instructor aprobó el circuito se procede a hacerlo físicamente.

**RESULTADOS:** Se podrá determinar si el alumno es competente al explicar sobre el tablero las conexiones eléctricas correspondientes y que a la vez vaya explicando los fenómenos eléctricos que va pasando a través de todo el circuito.



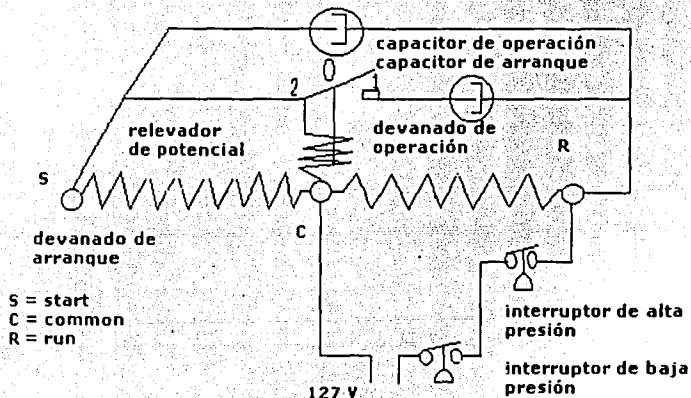
**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.

PRÁCTICA No. 5

" PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL COMPRESOR CON EL RELEVADOR DE POTENCIA, CAPACITOR DE OPERACIÓN. CAPACITOR DE ARRANQUE E INTERRUPTORES DE PRESIÓN"

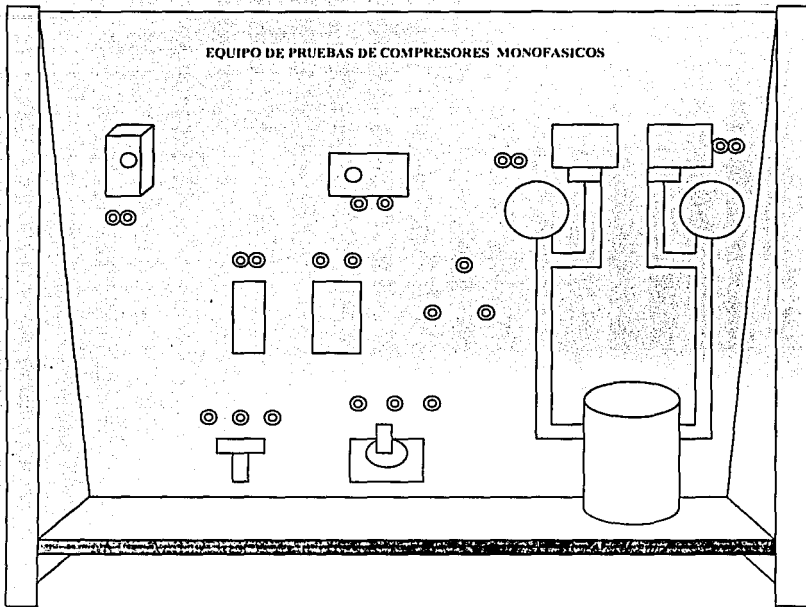
**OBJETIVO:** Identificar el funcionamiento del compresor conectado a un capacitor de arranque, capacitor de operación y un relevador de potencia.

**DESARROLLO:** una vez leída la lectura de los aspectos teóricos, identificar físicamente los componentes involucrados y hacer sus respectivas conexiones en el equipo propuesto, de acuerdo al diagrama eléctrico que se observa en la siguiente figura.



una vez identificado y analizado el circuito anterior, se procede a hacer la conexión en el diagrama del tablero (puesto en la siguiente figura). Una vez que el instructor aprobó el circuito se procede a hacerlo físicamente.

**RESULTADOS:** Se podrá determinar si el alumno es competente al explicar sobre el tablero las conexiones eléctricas correspondientes y que a la vez vaya explicando los fenómenos eléctricos que va pasando a través de todo el circuito.



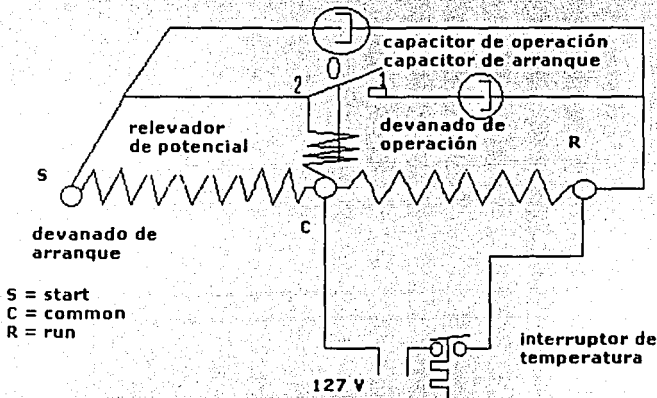
**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.

PRÁCTICA No. 6

" PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL COMPRESOR CON EL RELEVADOR DE POTENCIA, CAPACITOR DE OPERACIÓN, CAPACITOR DE ARRANQUE E INTERRUPTORES DE TEMPERATURA"

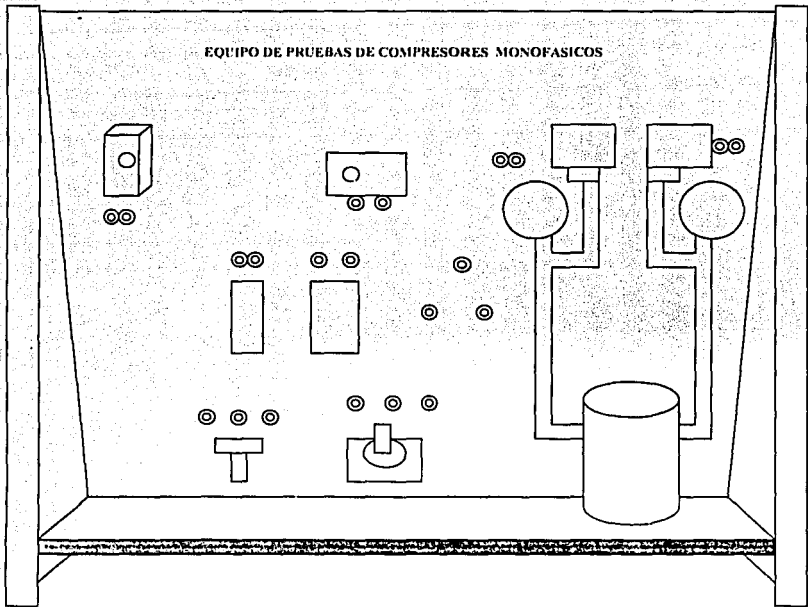
**OBJETIVO:** Identificar el funcionamiento del compresor conectado a un capacitor de arranque, capacitor de operación y un relevador de potencia.

**DESARROLLO:** una vez leída la lectura de los aspectos teóricos, identificar físicamente los componentes involucrados y hacer sus respectivas conexiones en el equipo propuesto, de acuerdo al diagrama eléctrico que se observa en la siguiente figura.



una vez identificado y analizado el circuito anterior, se procede a hacer la conexión en el diagrama del tablero (puesto en la siguiente figura). Una vez que el instructor aprobó el circuito se procede a hacerlo físicamente.

**RESULTADOS:** Se podrá determinar si el alumno es competente al explicar sobre el tablero las conexiones eléctricas correspondientes y que a la vez vaya explicando los fenómenos eléctricos que va pasando a través de todo el circuito.



**EL ALUMNO:** Entregará un reporte de práctica donde se evidencien los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta práctica.



**APÉNDICE B.**

**TABLAS DE FALLAS ELÉCTRICAS.**

**1. FALLA: EL COMPRESOR ARRANCA Y TRABAJA PERO LUEGO CORTA.**

**Síntomas:** se abren los protectores térmicos del interruptor general o del compresor.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Bajo voltaje de línea.	1) Mide el voltaje de línea
2) Flujo de un exceso de corriente a través del térmico del interruptor general.	2) Revisa el alambrado del compresor.
3) Alta presión de succión.	3) Revisa el rango y diferencial del interruptor de baja presión.
4) Alta presión de descarga.	4) Revisa el valor de corte del interruptor de alta presión.
5) Protector térmico del interruptor general dañado.	5) Mide la corriente. Revisa que el protector térmico es de la capacidad adecuada. Cambia el protector.
6) No opera el capacitor de operación.	6) Revisa el capacitor: cámbialo si es necesario.

**2. FALLA: CAPACITOR DE ARRANQUE QUEMADO.**

**Síntomas:** Falla repetida del capacitor de arranque.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Rápido ciclaje del compresor.	1) Cambia el capacitor de arranque. Revisa el circuito del control de temperatura.
2) Operación prolongada del compresor con el devanado de arranque.	2) Revisa el voltaje de línea.
3) Se apagan los contactos del relevador de corriente.	3) Limpia los contactos. Cambia el relevador si es necesario.
4) Capacitor del tamaño inadecuado.	4) Reemplaza el capacitor.



**3. FALLA: CAPACITOR DE OPERACIÓN QUEMADO.**

**Síntomas:** Falla repetida del capacitor de operación.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Voltaje de línea excesivo.	1) Reduce el voltaje de línea a no mas del 10% por abajo del voltaje nominal del motor del compresor.
2) Alto voltaje de línea y carga ligera.	2) Reduce el voltaje a no mas del 10% por abajo del voltaje del motor.

**4. FALLA: EL RELEVADOR DE POTENCIAL ESTA QUEMADO.**

**Síntomas:** Fallas repetidas del relevador de potencial.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Bajo voltaje de línea.	1) Aumenta el voltaje para que no sea menor que el 10% por encima del voltaje nominal del motor.
2) Voltaje de línea excesivo.	2) Reduce el voltaje para que no sea menor que el 10% por encima del voltaje nominal del motor.
3) Capacitor de operación incorrecto.	3) Cambia el capacitor por uno de voltaje y capacitancia adecuados.
4) Rápido ciclaje del compresor.	4) Lo mismo que el anterior.
5) Vibración del relevador.	5) Asegura que el relevador este fijado adecuadamente.
6) El relevador zumba y no abre los contactos.	6) Ajusta la palanca del relevador, doblándolo con referencia a la bobina.

**5. FALLA: EL COMPRESOR NO ARRANCA.**

**Síntomas:** El compresor no quiere arrancar o zumba y luego se corta.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Bajo voltaje de línea.	1) Revisa el voltaje de línea principal. Determina la ubicación de la caída de voltaje.
2) Alambrado incorrecto.	2) Revisa el alambrado del compresor.
3) Capacitor de arranque abierto.	3) Cambia el capacitor.
4) Los contactos del relevador de corriente no cierran.	4) Revisa el relevador. Cámbialo si es necesario.
5) Circuito abierto en el devanado de arranque.	5) Revisa los alambres del estator.
6) Alta presión de descarga.	6) Elimina las causas de la alta presión. Asegura que el interruptor de presión este ajustado. Abre la válvula de descarga.
7) Compresor pegado.	7) Revisa la lubricación del compresor. Repara o cambia el compresor si éste está dañado.

**6. FALLA: EL COMPRESOR ARRANCA PERO OPERA CON EL DEVANADO DE ARRANQUE.**

**Síntomas:** El compresor trabaja continuamente con el devanado de arranque.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Bajo voltaje de línea.	1) Mide el voltaje de línea
2) Alambrado incorrecto.	2) Revisa el alambrado del compresor.
3) Relevadores defectuosos.	3) Revisa la operación de los relevadores. Cámbialos si es necesario.
4) Capacitor de operación en corto.	4) Revisa el capacitor.
5) Devanados de arranque y de operación en corte.	5) Revisa las resistencias de los devanados. Cambia el compresor si el motor está quemado.
6) Capacitor de arranque abierto.	6) Cambia el capacitor.
7) Alta presión de descarga.	7) Verifica el interruptor de alta presión. Abre la válvula de descarga.

**7. FALLA: EL COMPRESOR NO ARRANCA.**

**Síntomas:** El compresor no arranca ni zumba.

CAUSA PROBABLE	ACCIÓN RECOMENDADA
1) Circuito abierto en la línea	1) Revisa el alambrado.
2) Los contactos de los interruptores de control se abren.	2) Revisa el las presiones y la operación de los controles.
3) Circuito abierto en el motor.	3) Cambia el motor.

## BIBLIOGRAFÍA

- REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.  
W. F. STOECKER.  
ED. MC. GRAW HILL. 1965
  
- TERMODINAMICA.  
VIRGIL MORING FAIRES.  
ED. UTHEA. 1997
  
- TERMODINAMICA TOMO II.  
CENGEL YUNUS A.  
BOLES MICHAEL A.  
ED. MC GRAW HILL. 1996
  
- TERMODINAMICA CLASICA.  
RUSSELL Y ADEBIYI  
ED. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA. 1997
  
- MANUAL DE REFRIGERACION INDUSTRIAL.  
PRINCIPIO, DISEÑO Y APLICACIONES.  
MYCOM. MAYEKAWA DE MÉXICO, S.A DE C.V.
  
- MANUAL DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO.  
BOTERO CAMILO .  
ED. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. 1995
  
- ELECTRÓNICA PRÁCTICA. TOMO I.  
CONTIN SANZ.  
ED. MC. GRAW HILL. 1988
  
- INGENIERÍA TERMODINÁMICA.  
FRANCIS F. HUANG.  
ED. CECSA, 1994.
  
- FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION.  
HERNANDEZ GORIBAR.  
ED LIMUSA,1992.
  
- TRATADO PRACTICO DE REFRIGERACION AUTOMATICA.  
ALARCON GREUS.  
ED MARCOMBO,9ª EDICIÓN, 1981.

-MANUAL DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA.  
HERNÁNDEZ VALADEZ JOSÉ.  
ED. TRILLAS. 2ª EDICIÓN, 1999.

-PRINCIPIO DE REFRIGERACIÓN  
R. WARREN MARSH  
C. THOMAS OLIVO.  
ED DIANA, 2ª EDICIÓN, 1994.