



12  
24

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**"ARAGON"**

**"CORRECCION DEL FACTOR DE  
POTENCIA EN PLANTAS INDUSTRIALES"**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de:

**ING. MECANICO ELECTRICISTA**

**P r e s e n t a n :**

**JOSE ANGEL DIAZ GUTIERREZ**

**MIGUEL ANGEL CARMONA DELA CRUZ**

**ASESOR: ING. RAUL BARRON VERA**

San Juan de Aragón, Edo. de México 1998.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**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.

*Al Profesor e ingeniero Julio  
Mendez Torres (†) quien motivo el  
inicio de este trabajo gracias. Por su  
manera de ser, por su estilo.*

*Para nuestro amor el Ingeniero  
Pablo Barrón Vera por su apoyo  
para la realización de este trabajo y su  
tiempo brindado*

**PARA MIS PADRES:**

**MARIA LUISA QUIJERREZ Y REYNALDO  
DÍAZ**

**Que sin su apoyo y ayuda no lo habría logrado**

**A mis hermanos :  
Graciela, Lalo, Guicho, Pael, Mita**

**A mis sobrinos :  
Lucia y Lucero**

**Al motivo de lucha por toda mi vida, mi novia y futura esposa Carmen**

**hemos alcanzado un objetivo, titulamos, logramos más juntos**

**Para mis cuates :  
Miguel A., Luis, Javier, Miguel R.**

**AGRADECIMIENTO**

**A mis padres :  
Miguel A. Carrasco y Martha de la Cruz**

**Miguel A. Carrasco de la Cruz**

## INTRODUCCION

En México la Comisión Federal de Electricidad es el Organismo encargado de generar la energía eléctrica que requiere una comunidad para poner en marcha sus actividades siendo sus mayores consumidores fabricas e industrias. Al mismo tiempo que las demandas de energías son cubiertas los recursos naturales disponibles se agotan, es por esto que se requieren metodos y alternativas que eviten el consumo innecesario de energía eléctrica.

Debido a esto toJo los usuarios de la energía electrica deberán cumplir con el acuerdo que estipula trabajar con un factor de potencia minimo a 0.9 establecido por la Comisión Federal de Electricidad.

Este trabajo de investigación consta de cinco capítulos: *El primero* habla de todos los conceptos que involucran y definen al factor de potencia, *el segundo* trata de los elementos más importantes que influyen en la variación del factor de potencia de manera desfavorable, en *el tercer* capítulo mencionaremos algunas de las soluciones que podemos tomar para evitar estas variaciones, *el cuarto* describe los metodos que pueden ser utilizados para corregir el factor de potencia, además el reporte de una visita llevada acabo a la Comisión Nacional de Libro de Textos Gratuitos, en *el quinto* capítulo se muestran las tablas que impone la Comisión Federal de Electricidad, según sea el caso de recargo o bonificación.

## INDICE

Introducción .....	VI
<b>CAPITULO UNO</b>	
<b>DEFINICION Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES ..</b>	<b>11</b>
1.1 Definición de corriente alterna .....	11
1.1.1 Magnitudes de corriente alterna .....	12
1.1.2 Concepto de fase .....	15
1.1.3 Circuito resistivo .....	17
1.1.4 Circuito inductivo .....	19
1.1.5 Circuito capacitivo .....	23
1.2 Factor de potencia .....	26
1.2.1 Definición de factor de potencia .....	30
1.3 La importancia del factor de potencia en la industria ...	31
1.4 Causas que ocasionan un bajo factor de potencia .....	33
1.5 Consecuencias de un bajo factor de potencia .....	36
1.6 Ventajas del factor de potencia requerido .....	39
<b>CAPITULO DOS</b>	
<b>PRINCIPALES CAUSANTES DE UN BAJO</b>	
<b>FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>42</b>
2.1 Motor de inducción .....	42
2.1.1 Generalidades .....	43
2.1.2 Estructura .....	44
2.1.3 Causas de un bajo factor de potencia .....	47
2.2 Lámparas fluorescentes .....	51
2.2.1 Lámparas de filamento incandescente .....	52
2.2.2 Lámparas de descarga eléctrica .....	53
2.2.3 Reactancias .....	54
2.3 Transformadores de potencia .....	58
2.3.1 Características generales .....	61
2.4 Soldadora por arco eléctrico .....	67
2.4.1 Tipos de soldadura .....	68
2.4.2 Características generales .....	70
2.4.3 Circuito básico de la soldadora por arco .....	72
2.4.4 Máquinas de soldar .....	73
2.4.5 Convertidores de corriente continua .....	75
2.4.6 Soplé de arco .....	78
2.4.7 Transformadores de corriente .....	79
2.4.8 Rectificadores de corriente de soldadura .....	82

<b>CAPITULO TRES</b>	
<b>OPCIONES PARA LA CORRECCION</b>	
<b>DEL FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>84</b>
3.1 Capacitor estático .....	84
3.2 Tipos de capacitores .....	91
3.3 Tipos de conexión .....	99
3.4 Tipos de compensación .....	101
3.5 Protección de los capacitores .....	104
3.6 Capacitores automáticos .....	105
3.6.1 Características generales .....	105
3.7 Máquina sincrona .....	108
3.7.1 Características generales .....	108
<b>CAPITULO CUATRO</b>	
<b>METODOS Y MEDICIONES PARA LA CORRECCION</b>	
<b>DEL FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>114</b>
4.1 Métodos de medición del factor de potencia .....	114
4.1.1 Métodos directos para la medición del FP .....	114
4.1.2 Métodos por medio del consumo	
global de energía .....	120
4.1.3 Factor de potencia instantáneo .....	121
4.1.4 Factor de potencia medio .....	121
4.1.5 Método de Fresnel .....	124
4.2 Determinación de los Kvar .....	132
4.2.1 Método de la tabla .....	133
4.2.2 La utilización de los nomogramas .....	135
4.3 Tipos de compensación .....	138
4.4 Consideraciones para su instalación .....	140
4.5 Reporte de la visita .....	142
<b>CAPITULO CINCO</b>	
<b>ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA CORRECCION</b>	
<b>DEL FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>148</b>
5.1 Acuerdo establecido para el nuevo factor de potencia ...	148
5.1.1 Factor de potencia .....	149
5.1.2 Recargo y bonificación .....	151
5.2 Costo de la implementación de los capacitores .....	157
5.3 Ejemplo práctico .....	159
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>164</b>

# **CAPITULO UNO**

## **DEFINICION Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

## DEFINICION Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

### 1.1. DEFINICION DE CORRIENTE ALTERNA.

Para comprender claramente el estudio acerca del factor de potencia (f.p.) es conveniente revisar de nuevo algunos conceptos referentes al uso de la corriente alterna (c.a.). dado que es la corriente que mayor uso y aplicación encuentra en sistemas eléctricos industriales, comercios, uso doméstico, etc.

Una corriente alterna se caracteriza fundamentalmente, porque su polaridad o sentido de circulación a través de un circuito no es único y además no tienen un valor constante durante el tiempo sino que ésta varía cíclicamente. En las figuras 1.1.a y 1.1.b se ilustra gráficamente la diferencia entre una corriente continua (c.c) y una corriente alterna (c.a.).

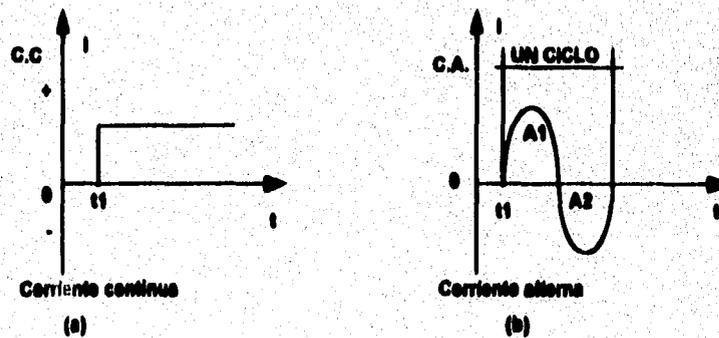


Figura 1.1

Se observa que en el caso de la c.a. el flujo de corriente comienza en cero, se incrementa progresivamente hasta alcanzar un valor máximo positivo ( $A_1$ ) y luego regresa gradualmente a cero. A partir de este instante, la dirección de circulación de la corriente se invierte y se repite el proceso. Es decir la corriente crece progresivamente desde cero hasta alcanzar un máximo valor negativo  $A_2$  y luego disminuye gradualmente hasta retomar otra vez a cero, finalizando lo que se denomina un ciclo. Mientras que en la gráfica de corriente continua, el valor se mantiene constante a partir de  $t_1$ .

### **1.1.1. Magnitudes de corriente alterna**

Para describir las magnitudes de corriente alterna será necesario emplear los conceptos de amplitud y valor instantáneo.

La amplitud máxima se denomina también valor pico y se refiere al máximo valor positivo o negativo, que alcanza la señal durante un ciclo. Por lo que el valor pico de una señal de voltaje se mide en voltios (V) y el de una señal de corriente en amperes (A)

Otra de las formas de caracterizar la amplitud de una señal de corriente alterna son los valores instantáneos, pico a pico, valor promedio, y valor eficaz o RMS. En la figura 1.2. se muestra la comparación gráfica de estos conceptos, válidos tanto para señales de voltaje como de corriente.

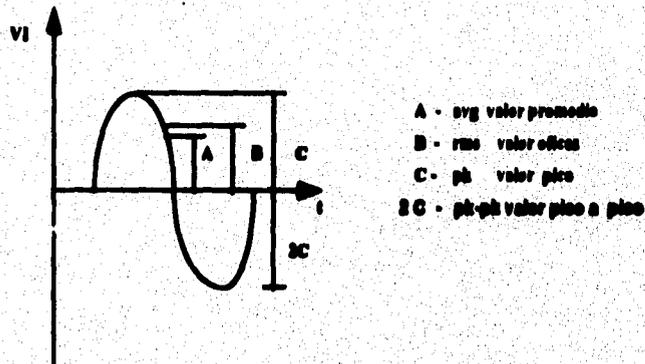


Figura 1.3

El Valor instantáneo es el valor que tiene la señal en cualquier instante de tiempo y se puede expresar en forma general mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Valor instantáneo} = \text{Valor pico} \times \text{Sen}(2\pi f t \pm \theta)$$

Donde:

- $2\pi$  — 6.283
- $f$  — frecuencia de la señal en hertz (Hz)
- $t$  — tiempo en segundos (s)
- $\theta$  — ángulo de fase en radianes (rad)

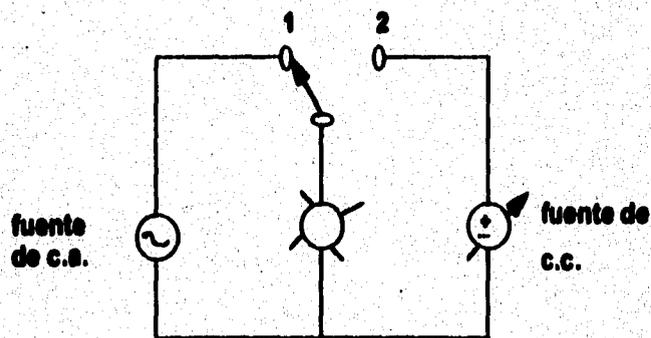
El valor pico a pico es numéricamente igual al doble del valor pico es decir:

$$\text{Valor pico a pico} = 2 \times \text{valor pico}$$

**El valor promedio se define como el promedio aritmético de todos los valores que adopta la señal durante un semiciclo y aproximadamente igual al 63.7% del valor pico es decir:**

$$\text{Valor promedio} \approx 0.637 \text{ por valor pico}$$

**El valor eficaz o RMS de la siglas en inglés (root-mean-square) raíz cuadrática media de una señal de corriente alterna es el que produce en un elemento resistivo la misma disipación de potencia que una corriente continua. En la figura 1.3. se ilustra prácticamente el concepto anterior.**



**figura 1.3**

En la figura 1.3 se ilustra prácticamente el concepto anterior. Suponiendo que inicialmente el interruptor se encuentra en la posición uno, el foco sera alimentado por corriente alterna y éste disipa cierta potencia si cambiamos el interruptor a la posición dos, el foco sera alimentado por corriente continua, si la potencia disipada es la misma que la de corriente alterna entonces habremos encontrado el valor eficaz .

El valor eficaz de una señal de corriente o de voltaje esta dado por la siguiente relación:

$$\text{Valor rms} = 0.707 \times \text{Valor pico}$$

### 1.1.2 Concepto de fase

El concepto de fase es importante cuando una señal se compara con otra de la misma frecuencia. Se dice que dos señales están en fase cuando alcanzan sus valores de amplitud máxima al mismo tiempo y estarán defasadas cuando una alcanza su valor máximo primero o despues que la otra señal. En el primer caso se dice que la señal esta adelantada con respecto con la segunda, en el segundo la señal esta atrasada con respecto a la segunda.

Un ciclo puede ser medido en grados o radianes de modo que un ciclo puede ser igual a  $2\pi$  o  $360^\circ$

Por lo tanto un grado de fase es,  $1 / 360^\circ$  de ciclo.

La fase puede también expresarse en radianes (rad), gradientes (gra) o en cualquier otra unidad de medida de ángulos.

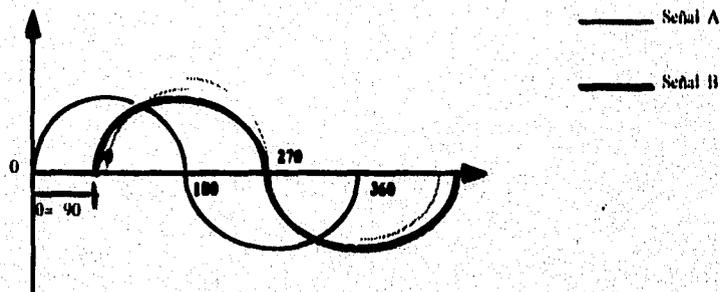
Es decir :

$$1 \text{ ciclo} = 360^\circ = 2\pi \approx 6.28 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 360^\circ / 2\pi \approx 57.296$$

$$1 \text{ gra} = 0.9^\circ \approx 15.71 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

En la figura 1.4. se ilustra gráficamente el concepto de fase, aplicado a dos señales de la misma frecuencia pero que comienzan sus ciclos a tiempos ligeramente diferentes.



Diferencia de fase entre dos señales  
figura 1.4

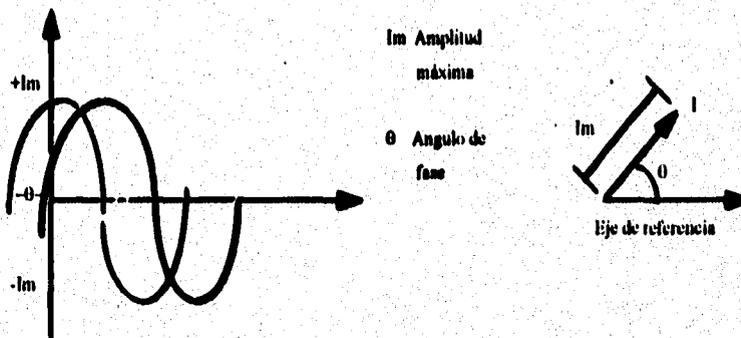
En este caso, la señal A adelanta a la señal B en  $60^\circ$ , puesto que el ciclo de A comienza  $60^\circ$  antes que la de B. Por lo que podemos decir que la señal B está retrasada  $60^\circ$  con respecto a la señal A.

Para poder comparar las fases de corriente y voltaje de señal alterna de la misma frecuencia es conveniente representarlos en forma de fasores.

Un fesor es un vector con magnitud y sentido que representa una senosoidal, este concepto involucra un método gráfico y analítico. De este modo, una señal de corriente alterna con amplitud máxima ( $I_m$ ) y un ángulo de fase  $\theta$  puede representarse como:

$$I = I_m \angle \theta$$

Gráficamente, este fesor puede representarse como un vector con magnitud y sentido como se indica en la figura 1.5.



Concepto de fasor  
figura 1.5

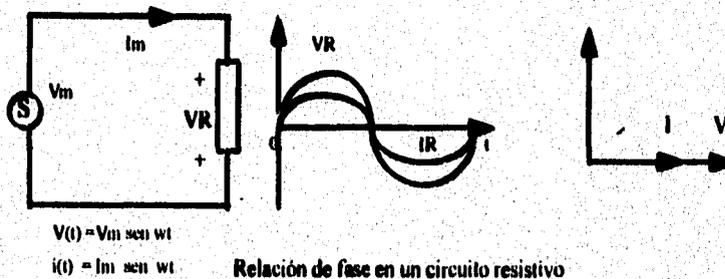
La longitud de la flecha indica la magnitud del voltaje o corriente y el ángulo que forma con respecto a la horizontal, indica su fase. La magnitud de un fasor corresponde al valor RMS.

### 1.1.3. Circuito resistivo

Cuando es aplicado un voltaje alterno a una resistencia pura, ésta se opondrá al paso de la corriente, pero a su vez circula a través de la misma una corriente alterna de la misma frecuencia y de la misma fase. Si consideramos que el ángulo de fase del voltaje es  $0^\circ$ , la corriente y el voltaje que circula en una resistencia expresados en forma fasorial sería:

$$I = I_m \angle 0^\circ \quad V = V_m \angle 0^\circ$$

Al encontrarse en fase la corriente con el voltaje como se ve en la figura 1.6. los circuitos puramente resistivos pueden ser analizados con los mismos métodos empleados para el análisis de circuitos de corriente continua ( c.c ).



Como podrá observarse en la figura anterior, la magnitud de la corriente producida a través de la resistencia puede calcularse aplicando directamente la Ley de Ohm, es decir :

$$i = (v/R) = (V_m \text{ sen } \omega t / R) = I_m \text{ sen } \omega t$$

En donde:

$$I_m = V_m / R$$

Igualmente para voltaje se tiene:

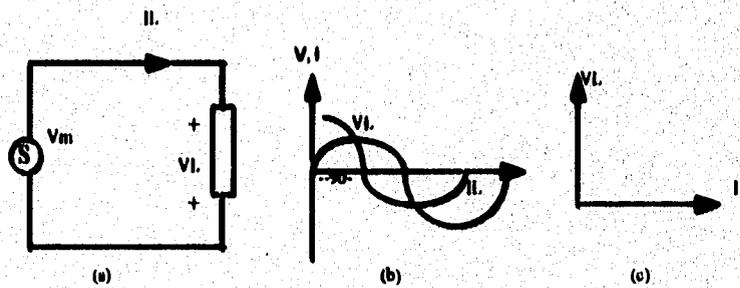
$$V = iR = (I_m \text{ sen } \omega t) R = I_m R \text{ sen } \omega t = V_m \text{ sen } \omega t$$

Donde:

$$V_m = I_m R$$

#### 1.1.4 Circuito inductivo

La figura 1.7.a nos muestra a un inductor conectado a un generador de corriente alterna .



Atraso de la corriente en un inductor

figura 1.7

Como podrá observarse la corriente se retrasa con respecto al voltaje  $90^\circ$ . Este desfase de  $90^\circ$  entre las ondas  $I_L$  y  $V_L$  tienen explicación usando la Ley de Faraday, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$v_L = L (di / dt)$$

Como podrá observarse en la figura 1.7.b , la onda de caída de voltaje alcanza su valor máximo en el instante en que la velocidad del cambio de corriente ( $di / dt$ ) es mayor, esto ocurre cuando la onda de corriente cruza el

eje del tiempo. Por otra parte, el voltaje a través de la bobina valdrá cero en el momento en que la corriente alcanza su valor pico.

Podemos decir que la inductancia presente en un circuito de corriente alterna, sirve para retrasar el aumento o disminución de la corriente, pero no evita o en ningún caso limita el cambio. Por ejemplo, cuando a una inductancia se le aplica un voltaje o fuerza electromotriz (FEM) de 0 Hz. de corriente continua, aunque la corriente se atrase, es limitada solamente por la resistencia del circuito. Sin embargo, si el circuito está trabajando a una frecuencia mayor de 0 Hz., la corriente estará limitada en magnitud y atrasada en el tiempo. Esta limitante impuesta sobre la amplitud de onda de la corriente, es un resultado directo de la frecuencia del voltaje aplicado.

Las ecuaciones que representan las ondas de corriente y voltaje de la figura 1.7 b son:

$$i_l = I_l \text{ máx} \text{ sen } 2\pi ft$$
$$v_l = V_L \text{ máx.} (\text{sen } 2\pi ft + 90^\circ)$$

Expresando la corriente y el voltaje en forma polar:

$$I_l = I_l \text{ máx} \angle 0^\circ \quad V_L = V_L \text{ máx} \angle 90^\circ$$

En la figura 1.7c se muestra el diagrama fasorial para estas senoides.

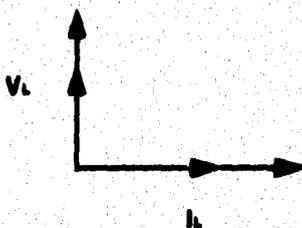


figura 1.7 (c)

**Reactancia Inductiva**

En un circuito de corriente alterna que sólo tiene inductancia, la cantidad de corriente que fluye es determinada por la fuerza contraelectromotriz (FCEM) que al oponerse al flujo de la corriente contrarresta a la tensión aplicada. La fcem se comporta como resistencia para limitar el flujo de corriente. A este efecto se le llama reactancia inductiva ( $X_L$ ).

La  $X_L$  se puede calcular a partir de los valores conocidos de frecuencia y de inductancia por medio de la siguiente fórmula :

$$X_L = 2 \pi f L$$

En donde :

$f$  ----- frecuencia de la tensión de excitación (Hz)

$L$  ----- inductancia expresada en Henrys (Hy)

$2\pi$  ----- 6.28 aproximadamente.

Tal como se indicó en la ecuación anterior, la reactancia inductiva dada por una inductancia decrece al disminuir la frecuencia. Si la frecuencia del

voltaje de excitación es 0 hz, la reactancia inductiva será cero a medida que aumenta la frecuencia, aumenta la reactancia y disminuye la corriente.

Regresando a la figura 1.7 la ecuación de la corriente a través de la inductancia es :

$$i_L = I_L \text{ máx } \text{sen } 2\pi ft$$

De la ley de Faraday, la caída de voltaje a través de la inductancia es:

$$v_L = L (di/dt)$$

Sustituyendo  $i_L$  en  $v_L$  se tiene:

$$v_L = L (d/dt) I_L \text{ máx } \text{sen } 2\pi ft$$

$$v_L = 2\pi fL I_L \text{ máx } \text{cos } 2\pi ft$$

$$v_L \text{ máx} = 2\pi fL I_L \text{ máx}$$

Expresado en forma de la ley de Ohm :

$$I_L \text{ máx} = (V_L \text{ máx} / 2\pi fL)$$

En función de los valores rms:

$$I_L \text{ máx} = (V_L / 2\pi fL) = V_L / X_L$$

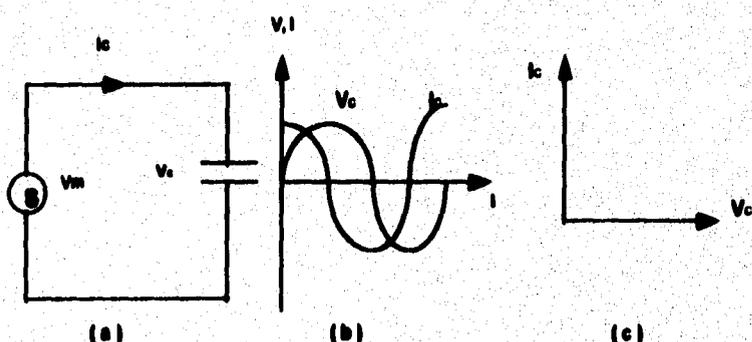
por lo que :

$$X_L = (V_L / I_L)$$

### 1.1.5 Circuito capacitivo

El circuito de la figura 1.8 nos muestra un capacitor conectado a un generador de corriente alterna. Como podrá observarse la corriente de un capacitor adelanta al voltaje en  $90^\circ$  figura 1.8b. Esta relación de fase de  $90^\circ$  entre las ondas de  $i_c$  y  $V_c$  se explican con la ecuación:

$$i_c = c (dv/dt)$$



Adelanto de la corriente en un capacitor.

figura 1.8

De acuerdo a la figura anterior, la onda de corriente tiene su máximo valor en el instante en el cual la velocidad de cambio de voltaje ( $c \, dv/dt$ ) es mayor, esto ocurre cuando la onda de voltaje cruza el eje del tiempo. De la misma manera, la onda de corriente tiene valor cero en el momento en que la velocidad de cambio es cero, y el voltaje alcanza su valor máximo.

Como podrá observarse, ésto origina un defasamiento de  $90^\circ$ , en donde la corriente está adelantada con respecto a la tensión aplicada. Esta diferencia de  $90^\circ$  se mantiene a lo largo de todo el ciclo de la tensión.

La capacitancia puede definirse en términos generales como la propiedad de un circuito eléctrico, que permite almacenar energía eléctrica por medio de un campo electrostático y liberar esta energía posteriormente. Para cualquier capacitor, el tiempo que requiere para alcanzar la carga máxima depende de la frecuencia del voltaje aplicado. Cuanto más alta sea la frecuencia, más rápidamente se elevará la tensión de cero al máximo, es decir cuanto más alta sea la frecuencia, más rápidamente alcanzará el capacitor su carga máxima.

Se puede concluir entonces, que la corriente a través de un capacitor es directamente proporcional a la frecuencia de la tensión aplicada, es decir frecuencias altas producen corrientes altas en tanto que frecuencias bajas causan corrientes pequeñas.

De acuerdo a la figura 1.8b las ecuaciones de las ondas de voltaje y corriente son:

$$i_c = I_c \text{ máx} \text{ sen } (2\pi ft + 90^\circ).$$

$$v_c = V_c \text{ máx} \text{ sen } 2\pi ft.$$

Expresando las ondas de corrientes y voltajes en forma polar tenemos:

$$I_c = I_c \text{ máx} \angle 90^\circ \quad V_c = V_c \text{ máx} \angle 0^\circ.$$

En la figura 1.8c se muestra el diagrama fasorial para un circuito capacitivo.

### **Reactancia capacitiva**

La oposición que ofrece al flujo de corriente un elemento capacitivo recibe el nombre de reactancia capacitiva ( $X_c$ ).

Expresado en forma de la Ley de Ohm la  $X_c$  se define como:

$$I_c = V_c / X_c$$

La  $X_c$  también puede calcularse a partir de los valores conocidos de frecuencia y capacitancia por medio de la siguiente fórmula:

$$X_c = 1 / 2\pi f c$$

En donde:

f ----- frecuencia del voltaje (Hz).

c ----- capacitancia ( $\mu f$ ).

$2\pi$  ----- 6.28 constante.

Como podrá observarse en la ecuación anterior, la  $X_c$  dada por el capacitor aumenta cuando la frecuencia disminuye. Si la frecuencia del voltaje de excitación es 0 Hz la reactancia capacitiva será infinita y el capacitor bloqueará completamente la corriente.

Por lo tanto, la  $X_c$  de un capacitor es inversamente proporcional a la frecuencia. A medida que aumenta la frecuencia, disminuye la reactancia y aumenta la corriente, y en caso contrario si la frecuencia disminuye la reactancia será mayor y por lo consiguiente la corriente disminuirá.

La amplitud de la corriente producida a través de la capacitancia se puede evaluar como sigue:

$$I_c \text{ máx} = 2\pi f c V \text{ máx}.$$

En función de los valores rms, obtenemos:

$$I_c \text{ máx} / \sqrt{2} = 2\pi f c V \text{ máx} / \sqrt{2}$$

$$I_c = 2\pi f c V_{\text{gen}}$$

La ley de voltajes de Kirchoff,  $V_c = V_{\text{gen}}$  por lo tanto:

$$I_c = 2\pi f c V_c$$

$$I_c = V_c / (1 / 2\pi f c) = V_c / X_c$$

En donde:

$$X_c = 1 / 2\pi f c$$

### 1.2. FACTOR DE POTENCIA

La potencia consumida en determinado circuito depende de la tensión y de la corriente que fluya en éste.

Además, puesto que en un circuito puramente resistivo las tensiones y corrientes alternas siguen la Ley de Ohm, es decir :

$$V = IR$$

En circuitos que contienen reactancias, la relación entre tensión, corriente y potencia consumida no es tan sencilla.

La razón es que gran parte de la potencia tomada de la fuente por inductores y capacitores en lugar de ser consumida, es temporalmente almacenada y luego regresada a la fuente.

La potencia es almacenada en el campo magnético de los inductores y en el campo electrostático de los capacitores.

Como ya lo mencionamos anteriormente, la potencia consumida en determinado circuito depende directamente del voltaje y la corriente que fluya a través de éste.

En una red compuesta únicamente de elementos reactivos (bobinas y capacitores), fluirán en estos dos componentes de corriente, por lo que se hará mención de tres tipos de corriente:

- Corriente activa
- Corriente reactiva
- Corriente total

*Corriente activa (  $I_a$  )* . Es aquella corriente productora de potencia, también conocida como corriente de trabajo o útil, como su nombre lo indica el flujo de esta corriente a través de una carga inductiva se convertirá en trabajo útil . Como por ejemplo la rotación de un ventilador , el calentamiento o bombeo del agua. La unidad de medición de la potencia activa es el Kilowatt ( Kw ) y viene expresado por la relación:

$$I_a = I \cos \theta$$

*Corriente reactiva (  $I_r$  )* . Es aquella corriente que proporciona el flujo para los campos magnéticos de los dispositivos de inducción. Se le llama también corriente de magnetización o de arranque .

Sin corriente reactiva la energía eléctrica no puede fluir a través del núcleo de los transformadores o en el entrehierro de los motores de inducción, y se expresa por la relación:

$$I_r = I \sin \theta$$

**Corriente total (  $I_r$  ).** Esta corriente estará formada por las dos componentes de corrientes anteriores, es decir la corriente de magnetización y la corriente de trabajo. La suma de estas dos corrientes nos proporciona la corriente total o sea la corriente leída con un amperímetro en el circuito.

La corriente total se puede determinar de la expresión:

$$I^2 = I_r^2 + I_a^2$$

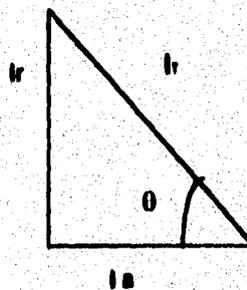
Es decir:

$$I_r = (I_r^2 + I_a^2)^{1/2}$$

Estas tres componentes anteriores pueden ser representadas vectorialmente por medio de un triángulo de corrientes como se muestra en la figura 1.9.

**Donde:**

- $I_r$  --- Corriente total
- $I_a$  --- Corriente activa
- $I_r$  --- Corriente reactiva



**Triángulo de corrientes  
figura 1.9**

Al igual que la corriente, se mencionan tres tipos de potencia en circuitos de corriente alterna, éstos son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente

**Potencia activa (P)**. Es aquella que se puede transformar en potencia mecánica o calorífica y está expresada como el producto del voltaje y la corriente por el coseno trigonométrico del ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. sus unidades son los watts , en forma matemática se expresa como sigue :

$$P = V I \cos \theta \text{ ( W )}$$

**Potencia reactiva (Q)**. En el caso de un circuito con elemento puramente capacitivo o inductivo, la energía no cambia de forma, sólo se almacena. En otras palabras, la fuente entrega energía al elemento capacitivo o inductivo, el cual almacena y a su vez la entrega cuando la fuente se desenergiza. si el circuito está conectado a una fuente de corriente alterna, la energía pasa de la fuente al capacitor o inductor en el primer cuarto de ciclo y regresa a la fuente en el siguiente .

A esta energía, asociada a un capacitor o a un inductor ideal se le conoce con el nombre de reactiva.

De la misma manera se le llama potencia reactiva Q a la potencia capacitiva o inductiva que multiplicada por la unidad de tiempo produce este tipo de energía. Se le llama capacitiva cuando la corriente antecede al voltaje, e inductiva cuando el voltaje antecede a la corriente. en forma matemática se expresa como sigue:

$$Q = V I \text{ sen } \theta \text{ ( Var )}$$

**Potencia aparente (S)**. Las instalaciones eléctricas son una combinación de elementos resistivos, inductivos y capacitivos por lo que la potencia que se requiere tiene una componente activa y una reactiva . La suma vectorial de estas

dos componentes se conocen con el nombre de potencia aparente  $S$ . En forma matemática se expresa como sigue :

$$S = VI \text{ (VA)}$$

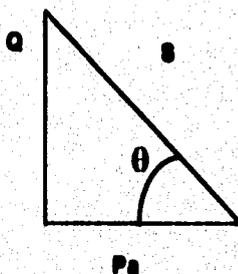
Esta relación de potencias se puede representar gráficamente mediante un triángulo de potencias como se indica en la figura 1.10.

Donde:

$S$ -potencia aparente

$P_a$ -potencia activa

$Q$ -potencia reactiva



**Triángulo de potencias**

**figura 1.10**

### **1.2.1. Definición del factor de potencia**

En las instalaciones eléctricas normalmente se encuentran dispositivos que transforman la energía en calor o en trabajo junto con elementos inductivos y capacitivos que no desarrollan trabajo. Entonces prácticamente siempre existe un ángulo entre el voltaje y la corriente que se conoce como ángulo de fase.

El factor de potencia se define como la relación existente entre la potencia activa y la potencia aparente total es decir:

$$\text{Factor de potencia} = \text{Potencia activa} / \text{Potencia aparente}$$

Análogamente al triángulo de potencias de la figura 1.10

Sabemos que:

$$S = (P_a^2 + Q^2)^{1/2}$$

De la definición de potencia:

$$P_a = VI \cos \theta \quad S = VI \quad Q = VI \operatorname{sen} \theta$$

Por lo tanto:

$$F.p. = P_a/S = VI \cos \theta / VI = \cos \theta$$

Es decir :

$$F.p. = \cos \theta$$

La carga de una instalación está principalmente constituida por equipos eléctricos ( motores y transformadores ) fabricados a base de bobinas. Por esta razón es normal encontrar que predominantemente la carga inductiva sobre la capacitiva , es decir generalmente la corriente está atrasada con respecto al voltaje, por lo que es común oír del factor de potencia atrasado.

Se define como positiva a la potencia reactiva generada por las centrales eléctricas o por bancos de capacitores y consumidas por los usuarios.

### **1.3 LA IMPORTANCIA DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA INDUSTRIA.**

Hasta este momento se han mencionado conceptos y definiciones referentes al Factor de potencia, se dijo que la relación existente entre potencias activa y la potencia aparente se denomina Factor de potencia, ahora es necesario

determinar de que manera son aplicados estos conceptos en la industria y la importancia de los mismos para el estudio de sistemas de distribución de potencia.

Si llevamos a cabo un estudio técnico-económico en cualquier fábrica o planta industrial con el fin de lograr una distribución de energía mas eficiente y reducir al mínimo las pérdidas en las líneas de transmisión, veremos que la compañía suministradora de energía eléctrica exige a los consumidores o usuarios industriales utilizar cargas con un factor de potencia mayor o igual a punto nueve.

De este modo la potencia facturada (potencia aparente) es prácticamente igual a la potencia consumida (potencia activa).

El mejoramiento del Factor de potencia en una industria conduce a importantes ahorros en el costo de la energía y mejora la eficiencia de la planta.

De acuerdo a lo anterior podemos concluir dos puntos básicos a considerar.

1.- Si se trata de una instalación nueva, su precio será tanto más elevado cuanto menor sea el Factor de potencia a prever.

La relación expresa :

$$P = S \cos \theta$$

Para una misma potencia activa es preciso, si el Factor de potencia es pequeño una potencia aparente mayor S, esto quiere decir que generadores y transformadores de mayor potencia nominal, líneas conductoras de mayor sección, aparatos de corte y de protección previstos para mayores valores de funcionamiento, entonces se puede decir de manera general y aproximada, cuanto mayor es el factor de potencia menor es el costo de la instalación y viceversa.

2.- Cuando se trata de una instalación ya existente, es decir prevista para determinada potencia aparente, la relación:

$$P = S \cos \theta$$

demuestra que proporcionará una potencia activa cuanto menor sea el Factor de potencia.

Como consecuencia podemos mencionar de manera general que para una potencia activa determinada, si disminuye el Factor de potencia ocurre lo siguiente:

- a).- Las caídas de tensión en los conductores son mayores.
- b).- Aumenta la intensidad de corriente consumida.
- c).- Las pérdidas de potencia por efecto de Joule aumentan en proporción al cuadrado de la intensidad de la corriente.

Para la industria representa una gran ventaja así como un buen ahorro mantener un Factor de potencia en adelanto, ya que la conservación del equipo es mayor y menor la facturación por consumo de energía eléctrica.

#### **1.4. CAUSAS QUE OCASIONAN UN BAJO FACTOR DE POTENCIA.**

En todos los circuitos de corriente alterna existe una frecuencia constante de 60 Hz, inicialmente la corriente en su primer ciclo positivo al pasar por el conductor genera un campo magnético, cuando este campo ha alcanzado su valor máximo, la corriente retorna a su valor cero y esto origina el flujo de una corriente en el ciclo negativo o de regreso a la fuente de alimentación; es decir,

cada vez que la corriente de alimentación cambia de dirección el campo magnético se desvanece y cada que éste se desaparece hay un flujo de corriente en dirección opuesta a la corriente de alimentación

Esta corriente contraria es la que conocemos como corriente reactiva y la que juntamente con el voltaje de la red, forman la potencia reactiva (Q)

En una instalación eléctrica de corriente alterna monofásica o trifásica., los aparatos receptores se pueden dividir en dos grandes grupos.

#### a).- Cargas inductivas

En una planta industrial comúnmente encontraremos equipos y aparatos receptores tales como ( motores de inducción, transformadores, lámparas fluorescentes, soldadoras de arco, etc..) con la característica de que estos elementos son productores de cargas inductivas.

Para que la energía eléctrica fluya a través del núcleo del transformador o en el hierro del motor, se requieren las dos componentes de corriente, la corriente de magnetización ( corriente reactiva ) y la corriente productora de potencia (corriente activa). La corriente de magnetización como ya se vió anteriormente es la encargada de producir el flujo para los campos magnéticos de los dispositivos de inducción, también origina pérdidas considerables en los generadores, transformadores y conductores ocasionando un bajo Factor de potencia.

### **b).- Cargas ohmicas**

Ademas del equipo ya, mencionado que genera cargas inductivas existen también aparatos como son: hornos y estufas eléctricas, lámparas incandescentes, calentadores de resistencia, etc.. Todos ellos tienen la característica de no absorber corriente reactiva y por lo tanto la potencia disipada por estos elementos es transformada en potencia mecánica o calorífica registrando de esta manera un Factor de potencia equivalente a 1.0 es decir inmejorable.

Las causas de un bajo Factor de potencia en una instalación eléctrica dependen fundamentalmente de dos factores.

a).- A causa del equipo y aparatos receptores que producen carga inductiva.

b).- A causa del manejo y utilización de los equipos y aparatos receptores.

En el primero de los casos el bajo Factor de potencia se debe fundamentalmente a la presencia de la corriente reactiva o de magnetización.

La energía utilizada en formar el campo magnético fluye hacia atrás y hacia adelante entre el generador y la carga. Estos elementos no absorben potencia, si no que alternativamente, la almacenan en forma de campo (eléctrico o magnético) y la devuelven al circuito de utilización.

Por otra parte la forma de operar el equipo y los aparatos receptores puede ser una causa más de trabajar con Factor de potencia bajo.

Deberá utilizarse el motor adecuado en relación a la potencia necesaria ya que una potencia mayor disminuirá la carga y como consecuencia disminuye el Factor de potencia.

El empleo de varios motores pequeños se tendrá que sustituir por el uso de uno solo que suministre la potencia equivalente a la demandada. Dado que a menor potencia del motor menor será también el Factor de potencia.

Se deberá cuidar que la tensión nominal del motor expresada en la placa sea la misma tensión proporcionada por la línea, si resulta superior al Factor de potencia disminuye.

### **1.5. CONSECUENCIAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA.**

El operar con un bajo Factor de potencia en una instalación se traduce en una reducción de eficiencia, reducción de capacidad, y quizá en la necesidad de cambiar transformadores y alimentadores en general, motivada por el deterioro debido a sobrecargas y calentamientos. El gasto que podría ocasionar todo este cambio de equipo, se podría utilizar sólo una parte en colocar elementos para la corrección de Factor de potencia de tal forma que el sistema y el equipo existente puedan operar sin disturbio alguno.

A continuación enunciaremos algunas de las desventajas que podemos considerar como las más indeseables, y que son originadas por el hecho de no mantener un Factor de potencia adecuado en un sistema industrial determinado.

a).- Cuando un sistema opera con un bajo Factor de potencia repercute en la compañía suministradora de energía eléctrica, ocasionándole un aumento en el

costo de la corriente que producirá la potencia activa, que el sistema consumirá, puesto que en estas condiciones la demanda de corriente reactiva será mayor. Esto es causa suficiente para provocar sobrecarga y calentamiento tanto en generadores como en conductores.

b).- El operar con un Factor de potencia bajo, ocasiona las perjudiciales sobrecargas en los generadores, en los transformadores y en las propias líneas de distribución del sistema industrial, de la misma forma, las caídas de voltaje, las pérdidas y las consecuencias que éstas provocan, se verán aumentadas en gran porcentaje al que se presentaría operando al sistema en condiciones normales. Todo esto representa pérdidas y desgaste en el equipo.

Se analizaron ya los factores que intervienen fundamentalmente en la disminución del Factor de potencia, ahora se hará mención de las consecuencias presentes en la industria cuando se trabaja con un Factor de potencia bajo.

Para la empresa suministradora de energía eléctrica un bajo Factor de potencia significa:

- a).- Deficiente utilización de las líneas de transporte de energía eléctrica, ya que la potencia pérdida por calentamiento es muy elevada.
- b).- Deficiente utilización de los generadores y transformadores en los que la máxima corriente de servicio no corresponde a la máxima potencia utilizada.
- c).- Deficiente utilización de las reservas de energía ( agua, carbón, petróleo, combustible nuclear, etc.. )

**Para el usuario un bajo factor de potencia significa.**

- a).- Las pérdidas de potencia a través de la línea de alimentación debido a sobrecalentamiento en conductores .**
- b).- Aumento en la caída de tensión afectando de forma adversa la eficiencia de operación de los motores.**
- c).- Reducir la capacidad y el rendimiento del sistema debido a cables y transformadores sobrecargados.**
- d).- Se reduce el nivel de iluminación de las lámparas incandescentes.**
- e).- Aumento en el costo de la energía eléctrica facturada.**

**Si el Factor de potencia no es considerado en un proyecto de instalación a realizarse o si éste resulta bajo implicará que:**

- a).- Sean utilizadas líneas de sección elevada, por consiguiente de mayor costo.**
- b).- Adquirir transformadores de alimentación de mayor potencia.**
- c).- Se aumentará la potencia contratada con la compañía suministradora de energía eléctrica.**

El aspecto económico a considerar es parte de las consecuencias generadas por un Factor de potencia bajo debido a la importancia y amplitud del tema éste será tratado al final del trabajo en el capítulo quinto.

### **1.6 VENTAJAS DEL FACTOR DE POTENCIA REQUERIDO**

En éste apartado daremos de forma resumida las ventajas y beneficios que conlleva a trabajar con un Factor de potencia elevado.

- a).- Facilita el suministro de la tensión nominal a los aparatos receptores como motores, lámparas etc.
- b).- Mejora la regulación de tensión en transformadores, motores y demás equipo.
- c).- Disminuye las pérdidas por calentamiento en los conductores de alimentación
- d).- Disminuye las pérdidas por calentamiento de los transformadores.
- e).- Permite la obtención de la potencia activa nominal en los transformadores y generadores.
- f).- Libera potencia de los generadores y transformadores lo que permite soportar sobrecargas adicionales.
- g).- Evita la pérdida de capacidad de carga en los conductores.

**h).- Disminuye los costos de tarifa de energía eléctrica por una de estas causas o aumenta según sea el caso.**

**Si existe una penalización por trabajar con bajo Factor de potencia**

**Si existe bonificación por un alto Factor de potencia.**

**CAPITULO DOS**  
**PRINCIPALES CAUSANTES DE UN BAJO FACTOR**  
**DE POTENCIA**

## **PRINCIPALES CAUSANTES EN LA VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA.**

Como se mencionó en el capítulo anterior, la presencia de equipo que produce cargas inductivas tales como motores de inducción, transformadores, soldadoras de arco y otros, requieren para su funcionamiento dos clases de corriente, corriente de magnetización (reactiva), y corriente productora de potencia (activa).

La corriente de magnetización deberá ser suministrada por la fuente de potencia, lo que genera una componente de retraso en la línea suministradora de corriente alterna. Debido a esta corriente de magnetización presente en el equipo y a la operación inadecuada de alguno de estos elementos, suelen ser las causas reales de un factor de potencia bajo en el sistema.

### **2.1. MOTOR DE INDUCCION**

Ya que son muchas las aplicaciones de un motor de inducción dependiendo del tipo de industria y la capacidad requerida se deberán cuidar aspectos importantes tales como la operación e instalación adecuada de éstos. A continuación se mencionan algunas características de construcción y funcionamiento del motor de inducción.

### **2.1.1. Generalidades**

Uno motor de inducción puede ser comparado con un transformador, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, cuyo circuito magnético compuesto por dos partes y con movimiento relativo entre sí, se encuentra separado por un entrehierro. El estator y el rotor hacen las veces de los devanados primario y secundario respectivamente del transformador.

Cuando se le suministra corriente alterna desde una red al devanado primario (estator), se induce una corriente opuesta en el devanado secundario (rotor), cuando éste se encuentra cortocircuitado o cerrado a través de una impedancia externa, que a su vez producen sus propios campos magnéticos que interactúan con el campo principal para hacer girar al rotor.

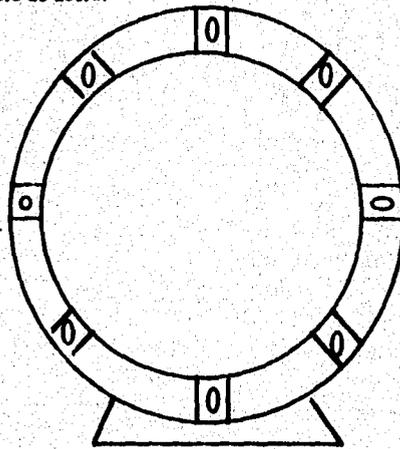
El movimiento relativo que se produce entre la estructura primaria y secundaria del motor es debido a las fuerzas electromagnéticas correspondientes a la potencia transferida por inducción a través del entrehierro.

La característica esencial que distingue a los motores de inducción, es que las corrientes secundarias son creadas únicamente por inducción al igual que un transformador, en lugar de ser suministradas por una máquina excitatriz de corriente continua u otra fuente externa de energía como sucede en las máquinas síncronas y de corriente continua.

### 2.1.3. Estructura

La estructura normal de un motor de inducción se encuentra constituida por dos partes, una llamada parte estacionaria, formada por el estator y una parte rotatoria conocida como rotor. En la figura 2.1. se muestra el estator de un motor de inducción.

Físicamente el estator está formado por la cubierta de acero soldado o hierro fundido que sostiene a un anillo ranurado de acero dulce laminado. Las bobinas del devanado del estator se alojan en las ranuras alineadas abiertas del anillo de acero.



Estator de un motor de inducción.  
figura 2.1

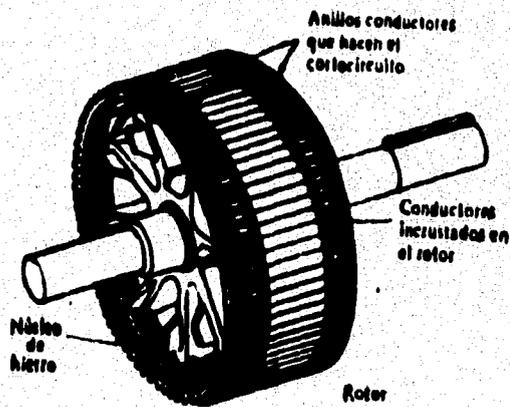
El estator incluye bloques espaciadores que constituyen un ducto de aire radial de extremo abierto en la estructura a través del cual puede circular el aire de enfriamiento.

Muchos motores de inducción tienen en su estator devanados distribuidos, por lo que a simple vista no podrán contarse los polos del estator, sino que sería necesario confiar en los datos de la placa del motor impresos por el fabricante.

El rotor o devanado secundario del motor de inducción, constituye la parte rotatoria. Existen dos tipos diferentes de rotores, uno llamado rotor de jaula de ardilla y otro conocido como rotor devanado.

La figura 2.2. nos muestra el esquema de un rotor de jaula de ardilla.

Un rotor de jaula de ardilla de un motor de inducción consiste en una serie de barras conductoras colocadas dentro de unas ranuras hechas en la superficie del rotor con sus extremos puestos en cortocircuito por medio de anillos.

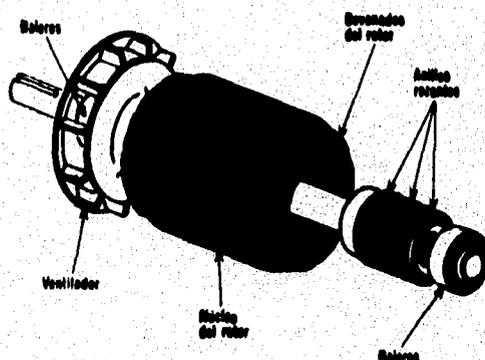


Rotor jaula de ardilla.

figura 2.2

En algunos rotores, las barras y anillos extremos, están fundidos como una sola estructura única que se coloca en el núcleo.

Otro tipo de rotor es el llamado rotor devanado, como podrá apreciarse en la figura 2.3. Este rotor cuenta con un arrollamiento trifásico que usualmente se conecta en Y.

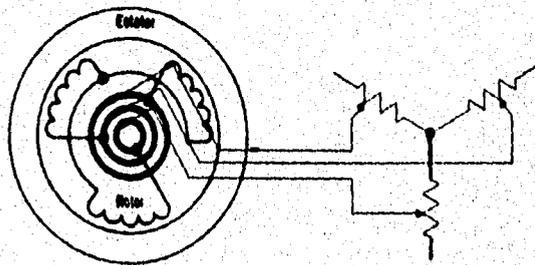


Rotor devanado.

figura 2.3

Las tres terminales de los devanados del rotor trifásico se conectan a unos anillos rozantes montados sobre el eje del rotor.

Los devanados del rotor pueden ser puestos en cortocircuito a través de un conjunto de escobillas que se mantienen en contacto con los anillos rozantes. Es usual insertar resistencias exteriores en el circuito del rotor, como lo muestra la figura 2.4. Ya que en los motores de inducción de rotor devanado se tiene acceso a las corrientes del rotor a través de las escobillas, esta característica permite modificar la relación par-velocidad del motor.



**Motor con resistencias exteriores**

**figura 2.4**

### **2.1.3. Causas de un bajo factor de potencia.**

Conociendo parte del funcionamiento de un motor de inducción así como la estructura que lo compone, hablaremos ahora sobre las causas por las cuales se origina un factor de potencia bajo en el sistema a través del uso inevitable de este tipo de motores de inducción.

Se ha demostrado experimentalmente que cuando estos motores trabajan a plena carga:

- a) A igualdad de potencia, el factor de potencia es tanto menor, cuanto menor es la velocidad del motor.
- b) A igualdad de velocidad, el factor de potencia es tanto mayor, cuanto mayor es la potencia.

Estas condiciones se expresan en la tabla 1.

Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor en r.p.m.				
	3000	1500	1000	750	600
hasta 0.25	0.79	0.72	0.66	0.64	-----
0.37 a 0.5	0.84	0.78	0.73	0.71	-----
1.1 a 1.5	0.88	0.82	0.77	0.77	-----
2.2 a 3	0.90	0.85	0.80	0.80	-----
3 a 5.5	0.90	0.86	0.82	0.82	0.84
7.5 a 11	0.90	0.87	0.83	0.84	0.85
15 a 22	0.90	0.87	0.83	0.85	0.86
30 a 60	0.90	0.88	0.85	0.87	0.88
60 a 100	0.90	0.89	0.86	0.88	0.90
	0.91	0.90	0.88	0.90	

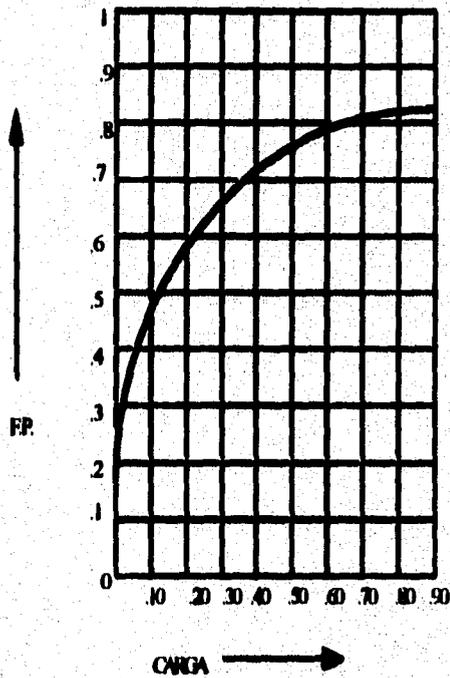
**Factor de potencia para motores de inducción a plena carga**

**tabla 1**

Como se sabe en estos motores existen corrientes magnetizantes reactivas, necesarias para establecer los campos magnéticos giratorios para su funcionamiento.

Estas corrientes reactivas son esencialmente independientes de la carga del motor, es decir, con cargas muy pequeñas el motor trabaja con un factor de potencia muy bajo y durante el funcionamiento en vacío, el factor de potencia del motor varía entre 0,15 y 0,20 % del valor unitario. En la figura 2.5. se expresa gráficamente la variación del factor de potencia de un motor de inducción, en función de la carga.

Como podrá apreciarse en la gráfica, el factor de potencia es máximo a plena carga. La tabla 2 indica los factores de potencia de los motores de inducción a diferentes cargas.



Variación del factor de potencia en función de la carga

figura 25

Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta es la tensión de funcionamiento a la cual trabaja un motor de inducción, esta no deberá ser superior a la tensión nominal del motor, expresada en su placa de características, ya que el factor de potencia disminuye.

De acuerdo a las condiciones de funcionamiento y estructura del motor de inducción, diremos que el motor de rotor jaula de ardilla tiene un factor de potencia mejor que el motor de rotor devanado.

**Tabla 2**

<b>Carga en % de la plena carga.</b>	<b>Factor de potencia en % del factor de potencia a plena carga.</b>
<b>Marcha en vacío</b>	
10	36
20	47
30	55
40	64
50	72
60	78
70	86
80	92
90	96
100	100
110	100

Otro de los aspectos que deberán cuidarse en un motor de inducción es el ajuste de los entrehierros, un aumento del entrehierro y el descentramiento del rotor respecto al estator, provoca un aumento de la corriente de magnetización y por consiguiente un consumo elevado de la potencia reactiva.

Este descentramiento puede ser provocado por diversas causas, entre las que se pueden citar:

- a) Excesiva vibración durante la marcha
- b) Juego elevado en los asientos de cojinetes, debido al desgaste de éstos.
- c) Trabajos de mantenimiento mecánico mal realizado.

Por todas estas razones el mantenimiento que se le da al equipo eléctrico de una instalación industrial, es de suma importancia realizarlo de manera conciente, vigilando que la tensión de alimentación en todos los casos no exceda el valor nominal del equipo, procurando mantener el funcionamiento de los motores a plena carga y evitando las marchas en vacío o a cargas reducidas, deberán comprobarse los entrehierros de los motores procediendo a ajustarlos si fuese necesario, así como reparar los motores dañados y reemplazar los defectuosos.

## **2.2. LAMPARAS FLUORESCENTES**

Por lo común en una instalación eléctrica encontraremos diversos tipos de lámparas de alumbrado de acuerdo al área que se desea iluminar y al tipo de luz que se requiera.

Las lámparas se clasifican según el proceso utilizado para producir luz en:

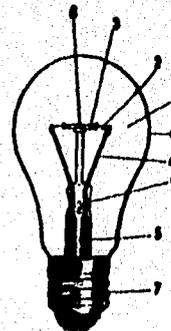
- a) Lámparas de filamento incandescente.
- b) Lámparas de descarga eléctrica
  - de mercurio
  - fluorescentes

### 2.2.1. Lámparas de filamento incandescente.

Lámparas de filamento incandescente producen luz en virtud de un hilo o filamento calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica a través de él. Esta lámpara es para alumbrado general, cuando no importa el tipo de luz que se utilice.

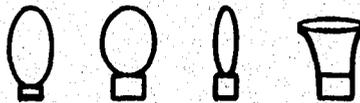
La figura 2.6. nos muestra el esquema básico de una lámpara de filamento. Su forma básica está constituida por un elemento radiador compuesto por un filamento metálico de tungsteno en forma de espiral que se encuentra dentro de una ampolla o bulbo de vidrio al vacío, o en la atmósfera de gas inerte; este filamento es calentado al rojo blanco por la corriente eléctrica que pasa a través de él, de manera que además de calor, también emite luz. Sin embargo, es muy poca la energía luminosa que se irradia en comparación de la energía calorífica que desprende, lo cual significa que una gran parte de la energía eléctrica transformada en luminosa en las lámparas incandescentes es muy pequeña, sólo un 10% de la energía consumida según tipo y potencia de la lámpara, se aprovecha para la producción de luz.

- 1.- Atmósfera Gaseosa
- 2.- Filamento Espiralado de Tungsteno
- 3.- Soportes para el Filamento
- 4.- Hilos de toma de corriente
- 5.- Tubo de vacío
- 6.- Bulbo
- 7.- Casquillo
- 8.- Botón
- 9.- Orificio exhaustor



Lámparas de filamento  
figura 2.6

Existe una muy amplia variedad de tipos de focos incandescentes figura 2.7. los que fundamentalmente se identifican por el tipo de bulbo que llevan, siendo la lámpara incandescente la que más tiempo tiene de uso, sus aplicaciones y variaciones en el transcurso de los años se ha ido diversificando, por lo que en la actualidad la variedad de lámparas incandescentes es impresionante.



**Tipos de focos incandescentes**  
**figura 2.7**

### **2.2.2. Lámparas de descarga eléctrica**

Las lámparas de mercurio así como las lámparas fluorescentes, pertenecen a las conocidas con el nombre de lámparas de descarga eléctrica, en las cuales la luz se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un gas o vapor.

La lámpara fluorescente difiere básicamente de la de mercurio en dos aspectos:

Trabaja a una presión de vapor mucho más baja, y tiene fósforo que es activado solamente por la onda corta ultravioleta radiada por un arco de baja tensión. Las figura 2.8. nos muestra el aspecto físico de la lámpara fluorescentes de tubo.

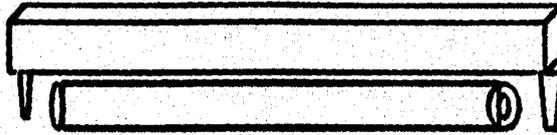


figura 2.8

Las lámparas fluorescentes se pueden dividir o clasificar en dos grandes familias:

- Lámparas de cátodo caliente
- Lámparas de cátodo frío

Las primeras son en general, a igualdad de potencia eléctrica más cortas y de mayor diámetro y tienen una eficiencia más alta.

Las lámparas de cátodo frío son más largas y delgadas, pueden adoptar una gran variedad de formas, además de que son más duraderas que las lámparas de cátodo caliente. Sirven sobre todo para aplicaciones especiales, como por ejemplo letreros luminosos.

### 2.2.3. Reactancias

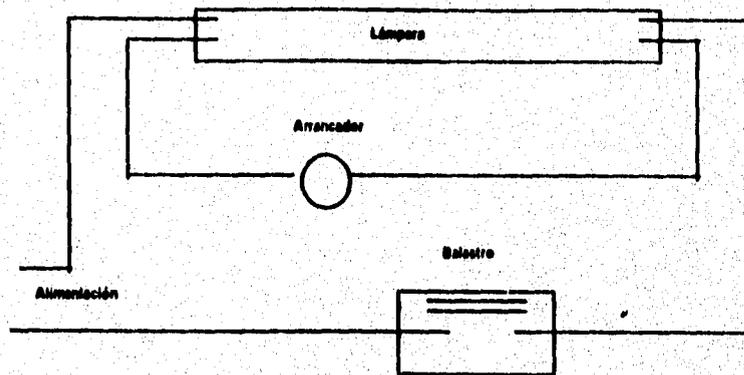
Las lámparas de descarga eléctrica, como las fluorescentes y las de vapor de mercurio requieren reactancias para limitar la corriente y proporcionar la tensión de encendido necesaria. Como estas reactancias son cargas resistivas puras, parte de la corriente que pasa por el circuito no resulta eficaz en la reactancia ni tampoco a efectos de producción de luz.

Cada lámpara requiere de un reactor que absorbe una potencia variable que depende del tipo de lámpara, de la tensión y representa el 15% al 40% de la potencia total absorbida.

El factor de potencia del grupo lámpara-reactor, resulta en general muy bajo (del orden del 0.5 a 0.6). Un factor de potencia significa a igualdad de potencia y de tensión una demanda de corriente muy elevada, ya que representa una desventaja por que a mayor corriente se tiene una mayor sollicitación del conductor de alimentación y causa mayores pérdidas.

Los circuitos de todas las lámparas fluorescentes deben tener un condensador para la corrección del factor de potencia aumentándolo hasta 0.9 que viene siendo un valor satisfactorio. La mayoría de las veces el condensador está incorporado al circuito de alimentación.

La figura 2.9 muestra el circuito simple de una lámpara fluorescente. Existen algunas lámparas fluorescentes que encienden con algunos segundos de retraso ( encendido con arrancador ) y otras que encienden instantáneamente. Aquéllas que usan arrancador son más comunes cuando se trata de soluciones más económicas ( menores pérdidas y menor costo de alimentador) y el retardo del encendido en la mayoría de los casos no produce malestar.



Circuito simple de una lámpara fluorescente  
figura 2.9

Las lámparas de encendido instantáneo son de dos tipos:

a) Con precalentamiento de los electrodos.

Estas lámparas tienen eventualmente un dispositivo externo denominado "arrancador rápido" que absorbe una potencia mayor que la de las lámparas, pero la eficiencia es menor a causa de las pérdidas mayores en el alimentador.

b) Sin precalentamiento de los electrodos.

Con reactores especiales (que absorben una potencia aún mayor que aquellas de las lámparas de arranque rápido). El flujo luminoso es igual que en los casos anteriores pero la eficiencia es más baja a causa de las mayores pérdidas en los alimentadores.

Las figuras 2.10a y 2.10b nos muestra estos dos tipos de circuitos.

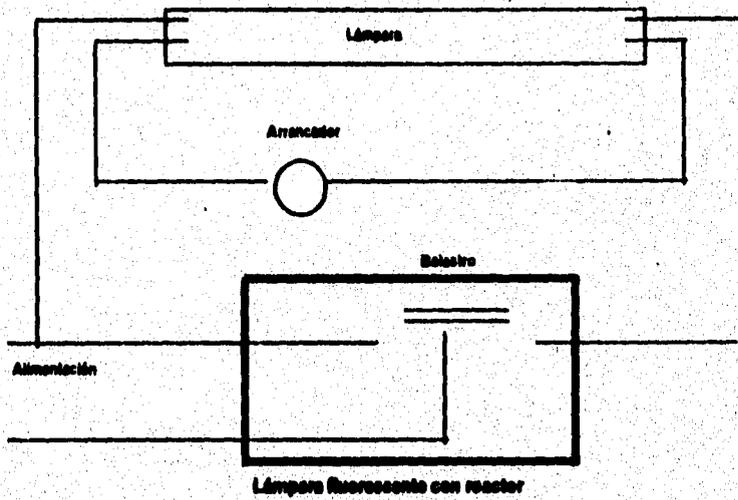
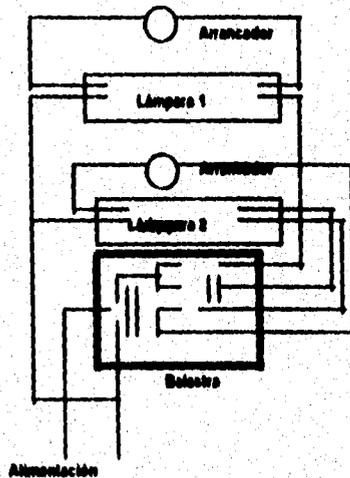


Figura 2.10a

Por lo que es conveniente realizar la elección correcta del equipo eléctrico a utilizar, al llevar a cabo un proyecto de iluminación.



Lámpara fluorescente con arrancador  
figura 2.10 .b

### 2.3. TRANSFORMADORES DE POTENCIA

El transformador, es definido como una máquina estática que convierte energía eléctrica alterna en un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje por medio de la acción de un campo magnético.

Básicamente está constituido por dos bobinas de alambre, aisladas entre sí eléctricamente y arrolladas de un mismo núcleo de material ferromagnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de potencia de corriente alterna y el segundo devanado entrega potencia eléctrica a las cargas.

Al arrollamiento que se conecta a una fuente de alimentación se le llama devanado primario o devanado de entrada, y al arrollamiento que se conecta a la carga se le designa devanado secundario o devanado de salida.

Un transformador, concebido idealmente, cambia un nivel de voltaje de corriente alterna en otro nivel de voltaje, sin alterar la potencia recibida. Si un transformador, eleva el voltaje de un circuito deberá disminuir la corriente para que la potencia que entra al dispositivo se mantenga igual a la de sale de él. Por lo mismo, la potencia de corriente alterna permite que sea generada en una central, que sea elevado luego su nivel de voltaje para la transmisión a largas distancias con pérdidas muy pequeñas y por último, que se pueda disminuir su voltaje para la utilización final. Como las pérdidas de transmisión en las líneas de un sistema de potencia son proporcionales al cuadrado de la corriente de la línea ( $Pérdidas = I^2$ ), el incrementar el voltaje de transmisión y reducir la corriente correspondiente en un 10% mediante transformadores, reduce las pérdidas en un 100%. Sin el transformador simplemente sería imposible transmitir energía eléctrica a grandes distancias.

En un sistema de potencia moderno, la energía eléctrica se genera a voltajes entre 12 Kv., los transformadores elevan el voltaje a niveles entre 110 Kv. y casi 1000 Kv. para la transmisión a grandes distancias con muy pocas pérdidas.

Nuevamente los transformadores reducen el voltaje a un rango entre 12 y 34.5 Kv. para la distribución local. Y finalmente permite que la energía sea empleada confiablemente en hogares, oficinas e industrias a voltajes tan bajos como 120 volts.

A los transformadores de potencia suele dárseles una variedad de nombres dependiendo de la función que cumplen en el sistema de potencia. Un

transformador conectado a la salida de un generador y destinado a elevar el voltaje hasta niveles de transmisión (superiores a 110 Kv.), algunas veces se les denomina transformador de unidad. Al transformador del otro extremo de la línea de transmisión, destinado a rebajar el voltaje de transmisión hasta niveles de distribución (entre 2.3 Kv. y 34.5 Kv.), se le conoce como transformador de subestación. Finalmente el transformador que toma el voltaje de distribución y lo reduce hasta valores de utilización (110 v y 220 v) es llamado transformador de distribución. Todos estos dispositivos, son en esencia los mismos; la única diferencia entre ellos es su utilización específica.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de algunos de los diferentes tipos de transformadores:

Tipos de transformadores	
Por el número de fase	monofásico trifásico
Por la forma del núcleo	acorazado concentrico
Por su medio de refrigeración	aceite OA, OA, /FA* seco AA, AA/FA**
Por su capacidad	distribución 500kva y 69 kv
Por el tipo de servicio	interior exterior, especial

- -Transformadores sumergidos en líquido refrigerante con enfriamiento natural en aire (OA).
- Transformadores sumergidos en líquido refrigerante con enfriamiento natural y aire forzado. (OA / FA)
- - Transformadores tipo seco con refrigerante natural (AA)
- Transformadores tipo seco con refrigeración natural y aire forzado (AA / FA).

Hasta este momento sólo hemos mencionado de forma genérica la clasificación y utilidad de los transformadores, pero lo que nos interesa saber es su papel en un sistema de distribución y la manera que afecta al factor de potencia.

Como se mencionó anteriormente es sumamente importante al proyectar una instalación, seleccionar correctamente el equipo eléctrico a utilizar.

Para la selección de transformadores, deberán considerarse los diversos factores que a continuación se mencionan, así como las especificaciones de carga y sobrecarga permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-J-409 "Guía de carga para transformadores de potencia y distribución sumergidos en aceite".

### **2.3.1. Características generales**

#### *Capacidad de transformador*

La capacidad del transformador se selecciona en función del tipo y magnitud de la carga, por lo que es requisito indispensable conocer el tipo y características de la carga para alimentar.

La carga que un transformador puede soportar en un cierto momento, sin deterioro del aislamiento puede ser menor o igual que su capacidad nominal, dependiendo principalmente de la temperatura de operación.

#### *Número de fases del transformador*

Se selecciona el transformador de acuerdo al número de fases de los elementos que componen la carga. Además, se considera el costo que implica instalar un transformador trifásico o un banco de transformadores monofásicos, siendo más económico el primer caso y más versátil el segundo.

#### *Conexión del primario y el secundario*

Estas conexiones estarán definidas por el tipo de carga, las funciones a desempeñar por el transformador, así como el control y protección que se desee del mismo.

Por ejemplo para transformadores monofásicos la conexión más empleada es a tres hilos en el secundario, y en donde el primario es alimentado de un sistema trifásico tres hilos (tensión entre fases) o de un sistema trifásico cuatro hilos (Tensión de fase a neutro).

Para transformadores trifásicos normalmente las conexiones en el primario son en delta ( $\Delta$ ) y en el secundario en estrella (Y) con el neutro aterrizado y cuatro hilos de salida para tener disponibles dos niveles diferentes de tensión.

### ***Magnitud del por ciento de impedancia***

Para decidir la magnitud del porcentaje de impedancia de un transformador, se deben considerar dos factores muy importantes como son: La regulación de la tensión y el valor de las corrientes de falla en el sistema de utilización, ya que a menores valores de impedancia el primer factor baja y el segundo crece.

### ***La eficiencia del transformador***

Debido a que la gran mayoría de los transformadores opera continuamente, aunque no a plena carga todo el tiempo, es importante mantener las pérdidas en el núcleo tan bajas como sea posible, esto se logra empleando durante la fabricación materiales de alto grado magnético, lo cual origina un aumento en el costo inicial de la máquina, pero es justificable a largo plazo con la disminución de las pérdidas de energía.

### ***El cambiador de derivaciones***

En este caso el cambiador de derivaciones, aunque es un elemento que aumenta el costo del transformador, es un medio necesario para llevar a cabo la regulación local de voltaje.

### ***Temperatura ambiente***

La temperatura ambiente es un parámetro importante en la determinación de la carga de un transformador, puesto que el incremento de temperatura

para cualquier carga debe ser sumada a la del ambiente para obtener la temperatura de operación.

Por ejemplo :

$$(75^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}) = T_{\text{de operación}}$$

#### *Altura de operación*

La temperatura del lugar donde se instala un transformador influye en su capacidad para entregar energía a la carga, ya que a altura mayores, la densidad del aire es menor, originando que la disipación del calor de la máquina sea menor que a alturas menores. La disminución del calor disipado a mayores alturas trae como consecuencia un aumento en la temperatura de operación lo que implica hacer correcciones.

Paralelamente a lo anterior existen pérdidas en el transformador debido a variaciones presentes en el núcleo, algunas de éstas son :

- Pérdidas en el cobre : Son las que se originan por el calentamiento de tipo resistivo en los arrollamientos primario y secundario del transformador. Varían proporcionalmente en el cuadrado de la corriente de los devanados.
- Pérdidas por corrientes de Foucault: Son pérdidas por calentamiento de tipo resistivo en el núcleo del transformador.
- Pérdidas por histéresis : Están asociadas con el reagrupamiento de los dominios magnéticos en el núcleo, durante cada semiciclo.

- **Flujo de dispersión:** Los flujos de dispersión y los flujos mutuos que abandonan el núcleo y ligan sólo a uno de los devanados del transformador, son flujos dispersos.

Estas líneas pueden dividirse en 2 componentes:

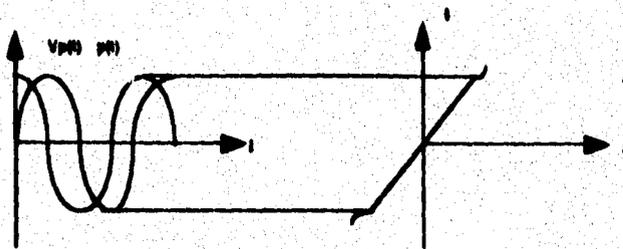
- 1) Flujo mutuo, confinado principalmente en el núcleo de hierro y enlazando el primario y el secundario.
- 2) Flujo de dispersión primario que sólo corresponde al primario cuyo camino se encuentra esencialmente en el aire .

De igual manera se plantea la misma situación para la bobina del secundario donde el flujo total en el primario, es igual a la suma del flujo mutuo y flujo de dispersión.

El elemento que provoca estos dos flujos en el núcleo ferromagnético es la corriente de excitación que también está formada por dos componentes:

- La corriente de magnetización  $i_{\phi}$  o corriente requerida para producir el flujo en el núcleo del transformador .
- La corriente de pérdidas en el núcleo o corriente requerida para alimentar las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault (corrientes parásitas).

La fig. 2.11 nos muestra la gráfica de histéresis para el transformador, la de voltaje en el primario y el flujo total, así como la corriente de magnetización.



Gráfica de histéresis figura 2.11

La componente fundamental de la corriente de magnetización retrasa en  $90^\circ$  el voltaje aplicado. La otra componente de la corriente del transformador la constituye la corriente necesaria para suministrar la potencia que consume el núcleo debido a la histéresis y a las corrientes parásitas como se observa en la fig. 2.12

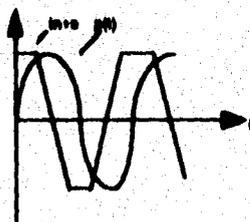


figura 2.12

**De donde:**

- 1) No es lineal debido a la no linealidad de la histéresis.**
- 2) Su componente fundamental esta en fase con el voltaje aplicado**

**Así que, considerando las pérdidas del cobre en el núcleo, el rendimiento de un transformador es función tanto de la potencia como del factor de potencia de la carga.**

**La carga sobre un transformador durante un período cíclico raramente permanecerá constante con las características nominales del transformador, sino que suele tener un término apreciablemente más bajo. Por tanto el rendimiento máximo de un transformador debe obtenerse de una carga menor que la nominal .**

**El consumo propio de energía reactiva de un transformador es relativamente mayor cuanto menor es la potencia nominal debido sobre todo a la presencia de la corriente magnetizante de carácter reactivo y que es prácticamente independiente de la carga .**

#### **2.4. SOLDADORA POR ARCO ELECTRICO**

**La soldadora por arco eléctrico juega un papel importante en el área industrial, debido a las necesidades y exigencias actuales de una sociedad en constante cambio tecnológico. Además de que la mayor parte de los artículos que usamos o por los que nos encontramos rodeados, han sido soldados parcial o totalmente . Por ello a continuación exponemos algunos ejemplos de la gran variedad de productos de tipo industrial o doméstico en donde se**

utiliza la soldadura eléctrica, como son: Autos, camiones, grúas, tanques de almacenamiento, tuberías, edificios, puentes y estructuras en general, televisores, radios, estufas, mesas, sillas refrigeradores, focos, etc.

#### 2.4.1. Tipos de soldadoras

En la siguiente figura se puede apreciar una clasificación de los diferentes tipos de soldadoras que existen.

Tipos de soldadoras	
Soldadora Por fusión	Por gas, Termita , De arco eléctrico
Soldadora Por presión	Por fuego, Por resistencia,
Soldadora Fuerte	
Soldadora Por caldo	

**Soldadora por fusión:** Comúnmente llamada autógena, la unión se produce con o sin material adicional, por efecto de la fusión localizada en los bordes de las piezas que han de soldar.

**Soldadora por gas:** El calor necesario se produce por la combustión de gas (acetileno, hidrógeno, etc.) La unión se efectúa generalmente con material adicional en forma de alambre o varilla.

**Soldadora por termita:** El calor necesario lo produce la reacción química exotérmica, provocada entre el aluminio y óxido de hierro componente de la termita. El material adicional es el hierro fundido resultante.

**Soldadora por presión:** Las piezas calentadas localmente hasta llegar al estado pastoso o aún en fusión se unen mediante presión mecánica o de percusión. Generalmente no se emplean materiales adicionales.

**Soldadora por fuego:** Las piezas que se calientan a la temperatura necesaria por medio de fragua, horno o adecuados quemadores de un tipo de gas, se unen mediante martilleo a presión mecánica.

**Soldadora por resistencia:** El calor necesario se produce por los arcos voltaicos que saltan entre los bordes encerrados de las piezas que se han de soldar. Es una soldadura a tope.

**Soldadora fuerte:** La unión se efectúa de modo semejante al de la soldadura por gas, pero sin que los bordes que se han de unir lleguen a fundirse empleando un material adicional distinto del material adicional base y que tenga un punto de fusión más bajo que este material.

**Soldadora por caldo:** La unión se obtiene generalmente por infiltración, entre las superficies superpuestas de las piezas que se han de unir, de un material metálico que se funde por el calentamiento de dichas superficies. Este procedimiento se distingue de acuerdo con el punto de fusión que tenga

el material , ya sea mayor o menor, elevado en soldadura fuerte y soldadura dulce.

**La soldadura por arco:** por ser un elemento que consume energía reactiva es una de las más importantes por lo cual nos enfocaremos a ella estudiandola más a fondo.

En este tipo de soldadura el calor necesario lo produce un arco voltaico establecido entre la pieza que se suelda y un electrodo. De ese tipo de soldadura se tienen dos tipos:

a) Soldadura con electrodo metálico: Este al fundirse, suministra el material adicional.

b) Soldadura con electrodo de carbón: El material adicional eventual lo proporciona la fusión, originada por el mismo arco de alambres o varillas. El metal en fusión puede estar o no cubierto por un gas de protección.

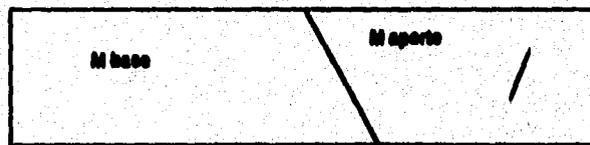
#### **2.4.2. Características generales de la soldadura por arco**

La figura 2.13 nos muestra los materiales utilizados en este tipo de soldadura.

**Donde:**

**Material base: Son las piezas por unir**

**Material de aporte: Es el material con que se suelda**



**Figura 2.13**

**Considerando su aplicación se dividen en:**

- a) Soldadora para producción**
- b) Soldadora para mantenimiento**

**La unión de dos piezas metálicas puede efectuarse utilizando material de aporte o sin material de aporte. Si se agrega material de aporte se tiene dos situaciones:**

- 1) Si el material de aporte es igual o semejante a las piezas del material base, se considera una soldadura homogénea.**
- 2) Si el material de aporte es una aleación metálica compatible con el material base, pero de composición totalmente diferente, entonces se tiene una soldadura heterogénea..**

	<b>Homogénea</b>
<b>Soldadura</b>	<b>Heterogénea</b>

### 2.4.3. Circuito básico de la soldadora por arco

La figura. 2.14 nos muestra el diagrama básico de la soldadora por arco.

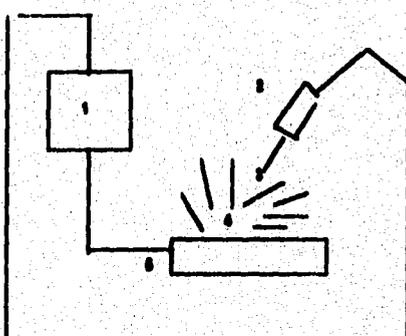


Diagrama básico de la soldadora por arco figura 2.14

Donde:

- 1) Generador y regulador
- 2) Porta electrodo
- 3) Electrodo
- 4) Arco
- 5) Cable
- 6) Cable de electrodo

El circuito comienza del generador al cable del electrodo, que sujeta al porta electrodo y forma el arco; el arreglo continúa al cable de tierra hacia el generador. La corriente fluirá por el cable al porta electrodo, luego al electrodo y saltará al arco, al mismo tiempo la corriente circulará por el metal base al cable de tierra y volverá a la máquina generadora.

#### **2.4.4. Máquinas de soldar (generadoras y reguladores)**

Las soldadoras por arco para su funcionamiento requieren de una alta corriente para lograr la temperatura de fusión entre el material base y el material aporte. Por tal motivo se hace uso directo de la corriente de la red, ya que ésta es de alto voltaje y bajo amperaje.

Para lograr estas características de alta corriente y bajo voltaje, que demanda una soldadora por arco se hace uso de generadores o transformadores con rectificadores para lograr un tipo de corriente, simplemente llamada "corriente de soldadura"

Tales máquinas de soldar son:

- ◆ Convertidor de corriente continua (motor generador, o motor de gasolina)
- ◆ Transformador
- ◆ Transformador con rectificadores (De selenio o silicio)

Cada tipo tiene su función o propósito en específico, pero la función básica de todos es entregar corriente de soldadura.

La soldadora por arco requiere de una fuente de energía constante de potencial, ésta puede ser corriente continua o alterna, los dos tipos son utilizables, sólo depende del tipo de trabajo a realizarse.

En la tabla 3 se pueden apreciar los voltajes típicos para soldar diferentes metales :

Tipo de metal	Espesor del material (in)	φ del material en (in)	AMP.	Volts de arco
Acero inoxidable	1/8	0.035	130-160	100-24
	1/4	0.045	220-295	22-30
Alacón	1/8	0.004	110-135	13-16
	1/4	0.003	240-290	24-30
Aluminio	1/8	3/64	110	20
	1/4	1/16	200	25-28
Acero al carbón	1/8	0.045	350	20
	1/4	1/16	475	32

Tabla 3

La potencia de las máquinas viene dada por el valor de la corriente de salida cuya variación es de 20 hasta 1 200 ampers y aún más en el caso de algunas máquinas industriales .

La potencia está referida a una duración de carga o ciclo de servicio, considerando esta variación como el tiempo dentro de un periodo de 10 min., en el que la máquina puede operar a la capacidad indicada. Por ejemplo, si una máquina tiene una potencia de salida de 300 ampers con una duración de carga del 60%, indica que la máquina puede ser operada sin problemas a 300 ampers. Durante 6 min. de cada 10, si la duración de carga se reduce, la corriente puede ser aumentada al máximo indicada por el fabricante.

#### **2.4.5. Convertidor de corriente continua**

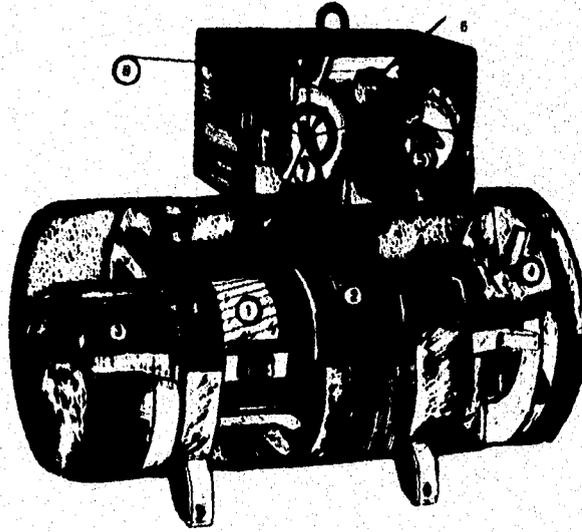
Es una máquina compuesta de un motor trifásico de accionamiento de corriente alterna de la red (220, 440), un generador de corriente continua, un excitador (todos acoplados en el mismo eje) y un equipo de control.

Los generadores de corriente continua se usan mucho en obras de construcción y reparación naval, oleoductos, gasoductos y en aplicaciones especiales, cuando por exigencias del trabajo se necesita laborar en lugares reducidos o demasiado calurosos y en donde la humedad puede poner en peligro la seguridad de los operarios. Además, estas máquinas se pueden emplear para todos los tipos de electrodos y para toda clase de soldaduras.

En lugares en que no existe corriente de alimentación de red, en construcción de puentes, gaseoductos, oleoductos, reparaciones de tipo naval, etc.

Se usa el mismo tipo de máquina de corriente continua, con la diferencia de que en vez de motor eléctrico para revolucionar el generador de corriente de soldadura se tiene un motor diesel o de gasolina.

En la figura 2.15 se puede apreciar un tipo de máquina de generación de corriente continua.



**Generador de Corriente Continua y Equipo de Control.**

**Fig. 2.15**

**Donde:**

- 1) Motor eléctrico trifásico de accionamiento**
- 2) Generador de corriente continua**
- 3) Excitador**
- 4) Ventilador**

Todos los componentes mencionados están acoplados en el mismo árbol y todo el conjunto mecánico está encerrado en una carcasa, que en la parte opuesta del ventilador tiene una serie de aberturas o ventanillas para la regeneración y expulsión de aire caliente.

En la parte superior de la carcasa está colocada un tipo de caja que contiene el equipo de control compuesto por:

- 5) Selector de trabajo, para la regulación de la intensidad de soldadura.**
- 6) Selector de polaridad (positiva, negativa, neutral).**
- 7) Selector de trabajo (voltaje) con las características de regulación según las posiciones de trabajo (plano vertical sobre cabeza) y para los aceros especiales.**
- 8) Switch de arranque y paro.**

#### *Funcionamiento*

Después de haber conectado la máquina a la corriente de red, se cierra el circuito de alimentación que va hacia el motor eléctrico, el cual por medio del impulso de la corriente lo acciona y lo hace girar. Con el girar tanto el generador de corriente continua como el excitador, que están situados en

el mismo eje. La corriente de soldadura se toma del colector a través de las escobillas.

Las máquinas que generan corriente continua están sometidas a la producción del soplo de arco. El arco que se forma con corriente continua es más estable que el que se forma con la corriente alterna.

#### 2.4.6. Soplo de arco

Recordando que en todo conductor por el cual pasa corriente eléctrica, es rodeado por un campo magnético cuyas líneas de fuerza se orientan según la dirección del flujo de la corriente. Dichas líneas nunca se tocan y ejercen una fuerza cuando se aproximan unas a otras, esta fuerza es proporcional a la cantidad de corriente que fluye por el conductor y su imagen es una serie de anillos concéntricos que lo rodean. El efecto magnético de esta fuerza es conocido con el nombre de soplo magnético.

Este fenómeno es como se ve en la figura 2.16a y 2.16b.

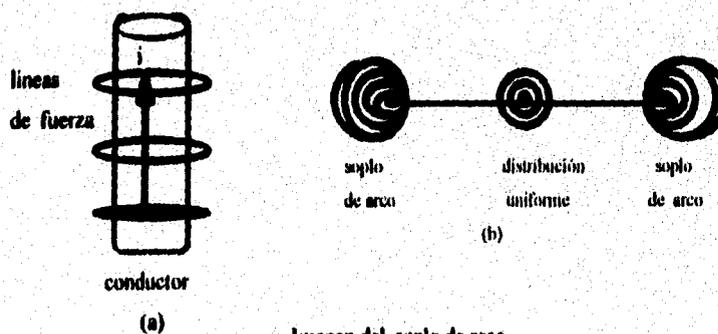


Imagen del soplo de arco  
figura 2.16

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

La imagen normal del flujo se distribuye en los extremos de la junta, donde éste se concentra dentro del metal base, en lugar de seguir por el aire hacia afuera del extremo de la unión.

En los extremos (zonas) donde las líneas de fuerza se concentran y ejercen una fuerza sobre el arco sopládolo o empujándolo como si fueran bandas elásticas.

Si el conductor es doblado la imagen del campo magnético es semejante, pues las líneas de fuerza se agruparán y desviarán el arco. Llamándose a este fenómeno efecto de masa, ya que la dirección del campo magnético sólo se puede alterar, si se cambia la posición de la conexión de tierra. Esto se ilustra en las figuras: 2.17a y 2.17b.

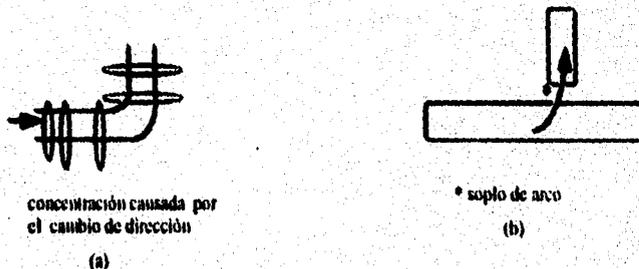


figura 2.17

### 2.4.7. Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente de soldadura ( corriente alterna ), son de las máquinas más baratas, sencillas y ahorrativas y sus necesidades de mantenimiento son casi nulas.

Las ventajas son muchas pero también las desventajas, porque no todas las clases de electrodos se pueden soldar. En soldadura la corriente alterna es más peligrosa que la corriente continua siendo esa una de sus limitaciones y por lo tanto no en todos los lugares se puede usar. Por ejemplo: Lugares cerrados como dobles fondos, tanques, calderas, recipientes, etc.

### *Funcionamiento*

La corriente de la red entra por el devanado primario del transformador de mayor número de espiras, induciendo campos electromagnéticos que generan corriente en el devanado secundario de menor número de espiras entregando la corriente de soldadura; como se ve en la figura 2.18a

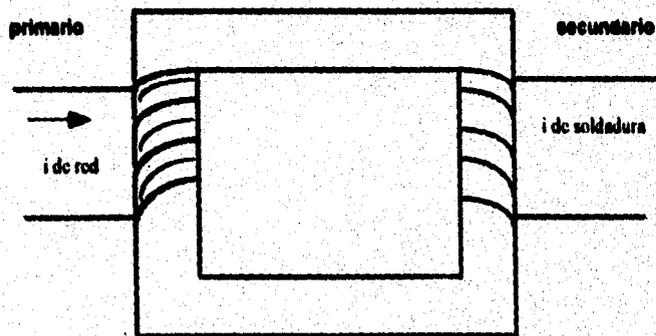
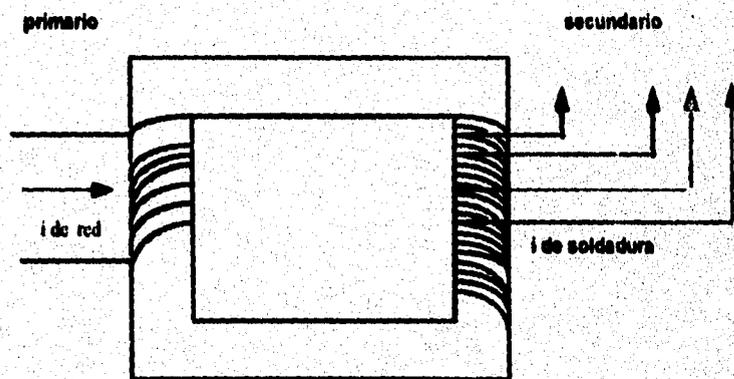


figura 2.18a

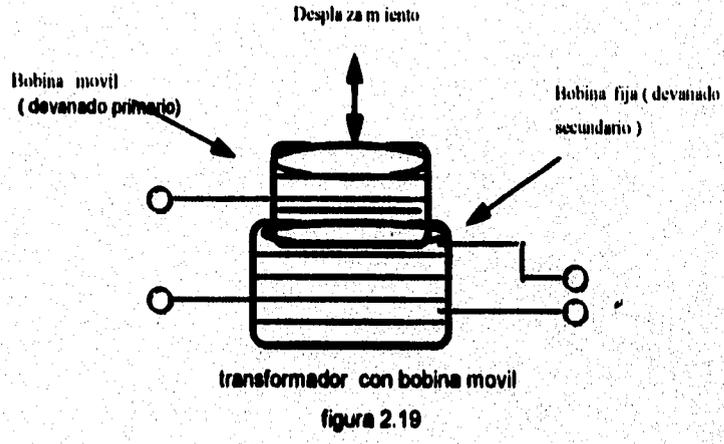
La regulación de corriente de soldadura se realiza por medio de derivaciones en el secundario figura 2.18b



Transformador de corriente alterna con derivaciones en el secundario

figura 2.18 b

Por lo común se utilizan transformadores con bobina móvil, con arrollamiento concéntrico y combinado como se ve en la figura 2.19.



#### 2.4.8. Rectificadores de corriente de soldadura

Las máquinas con rectificador, son en sí el transformador de una o tres fases a los que se les acopla un rectificador de selenio o de silicio por tubo al vacío, etc.; para cambiar la corriente de salida, de corriente alterna a corriente continua teniendo las mismas características como reguladores, y salidas de corriente como en los transformadores normales.

**CAPITULO TRES**

**OPCIONES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE**

**POTENCIA**

## **OPCIONES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.**

En el primer capítulo se mencionaron las características del circuito capacitivo y la reactancia capacitiva en un circuito de corriente alterna, ahora corresponde a este capítulo estudiar los tipos y aplicación de estos elementos para corregir un bajo factor de potencia en un sistema eléctrico.

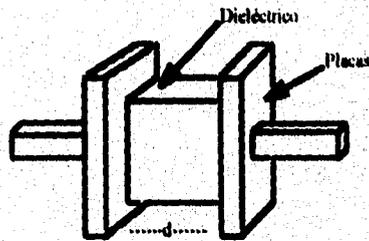
### **3.1. CAPACITOR ESTATICO**

Básicamente existen dos formas para corregir el bajo factor de potencia, en un sistema eléctrico de tipo industrial, en el cual predominan las cargas inductivas. Estas formas son basadas en la utilización de dispositivos compensadores de energía reactiva.

Los compensadores utilizados se pueden dividir en dos grandes grupos:

- 1) Compensadores estáticos, constituidos por bancos de capacitores.
- 2) Compensadores giratorios o síncronos, que son máquinas síncronas giratorias.

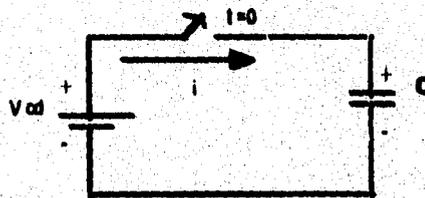
El capacitor elemental, es un componente constituido básicamente por dos placas paralelas, separadas a una distancia mínima por un dieléctrico. Ver Figura 3.1



Esquema básico de un capacitor

figura 3.1

La característica fundamental de este elemento, es almacenar carga. El efecto capacitivo se muestra, conectando una fuente de alimentación entre sus terminales, en este caso pensaremos que es una fuente de corriente directa. Ver figura 3.2



Circuito capacitivo

Figura 3.2

Al cerrar el interruptor comienza a fluir corriente en el circuito, acumulándose carga positiva en una de las placas y carga negativa en la otra placa, creando entre éstas, fuerzas de atracción, que son soportadas por el dieléctrico, esta fuerza electrostática es llamada campo eléctrico. Las placas se cargan paulatinamente creando una diferencia de potencial entre las dos terminales hasta igualar al valor de la fuente, es en este momento cuando la

tensión del capacitor se opone a la tensión de la fuente, nullificándose la tensión del circuito, permaneciendo el capacitor cargado, hasta que se brinde una trayectoria de descarga.

Este punto es importante para nuestro escrito, ya que la corriente de salida del capacitor contiene dos factores importantes, una corriente máxima y un voltaje nulo. Son las características opuestas de un circuito inductivo, lo cual significa que la utilización de capacitores compensará las pérdidas de nuestro sistema.

En corriente alterna un capacitor en su ciclo positivo, se carga y en su ciclo negativo se descarga, en este ciclo negativo el capacitor funciona como alimentador a la fuente, ya que crea su propia diferencia de potencial pero en sentido opuesto.

En la figura 3.3 se muestra el consumo de potencia activa y potencia reactiva de un transformador con implementación de capacitores y sin ellos.

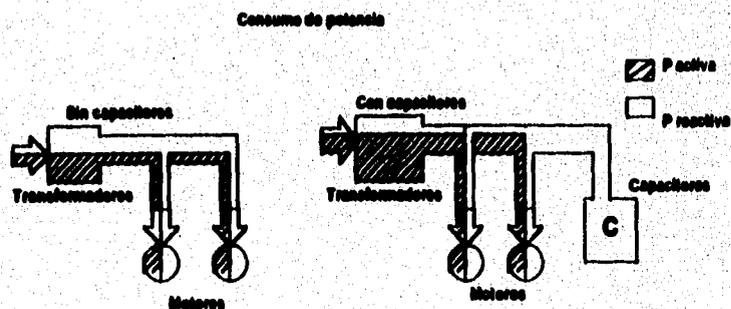


Figura 3.3

La relación de corriente y voltaje a la salida del capacitor, comienza con una corriente de descarga máxima y un voltaje de cero, cuando al inicio la corriente disminuye, el voltaje aumenta paulatinamente de cero a su máximo punto y la corriente es cero empezando a cargarse el capacitor nuevamente como se ve en la figura 3.4.

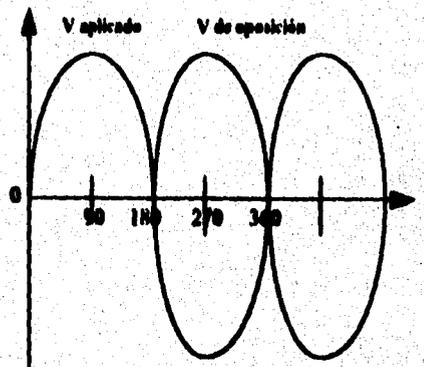


Figura 3.4

En la figura 3.4, el voltaje del capacitor se encuentra desfasado  $180^\circ$  con respecto al de alimentación.

La corriente de un capacitor se encuentra desfasada  $90^\circ$  con respecto al voltaje aplicado como se ve en la figura 3.5.

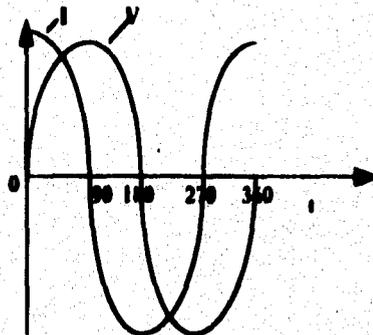


figura 3.5

Estas características de corriente y voltaje dependen de la capacitancia, y ésta a su vez del área de las placas, la distancia de separación, del dieléctrico utilizado, del voltaje aplicado y de la frecuencia.

Un área mayor en las placas significa una mayor recepción de carga. La distancia de separación influye en la creación de un campo eléctrico más intenso, menor distancia mayor fuerza, mayor distancia menor fuerza.

El dieléctrico sirve para crear un campo eléctrico intenso entre placas, ya que existe la posibilidad de corrientes de fuga, las cuales se presentan por sobre-tensiones que provocan calentamiento deteriorando las características aislantes del dieléctrico; ionizándolo permitiendo que sus electrones estáticos tengan movimiento, este movimiento de electrones en el material convierten al dieléctrico en un conductor. El fenómeno propiamente dicho es llamado corriente de fuga.

El dieléctrico deberá tener una resistencia de fuga del orden de los megaohms para soportarlos los embates de trabajo y seguir funcionando normalmente.

La tabla 1 nos muestra la resistencia dieléctrica de varios materiales y el voltaje que soporta el material.

RESISTENCIA DIELECTRICA		
Material	Voltaje que soporta	
	V/0.001in	V/0.01cm
Aire	80	
Fibra	50	
Vidrio	200	
Aceite de ricino	370	
Baquelita	500	
Porcelana	750	
Papel (parafinado)	1200	
Papel (encerado)	1800	
Mica	2000	

De la expresión :

$$Q = C \times V$$

Donde:

Q = Carga

C = Capacitancia

V= Voltaje

Nos damos cuenta que son tres factores que afectan directamente el valor de la capacitancia.

El primero es el voltaje, este influye en la carga almacenada pero no la determina, ya que un capacitor construido para 127 v. y 10 Uf, si se conecta a una red de 240 v. no dará un valor mayor a 10 Uf. de carga almacenada, y lo más seguro es que se dañe su dieléctrico provocando corrientes de fuga por sobrecalentamiento.

Capacitancia y carga están relacionadas entre sí, dado que una es capacidad de almacenamiento, y la otra cantidad de carga.

La frecuencia influye en el tiempo de almacenamiento de carga en el capacitor, como se observa en la expresión siguiente:

$$I = Q / t$$

Donde:

I = Intensidad de carga o de descarga en Amperes

Q = Cantidad de carga en Coulombs

t = Tiempo de carga o de descarga en segundos

Lo que significa que dos capacitores conectados a un voltaje semejante con distinta frecuencia e igual capacitancia tendrán una diferencia de tiempos de carga y descarga. La corriente y la capacitancia son directamente proporcionales, lo que significa que a mayor carga almacenada existirá mayor corriente de descarga.

La reactancia capacitiva, es la resistencia que ofrece un circuito capacitivo al flujo de corriente, y a su vez se ve disminuida al aumentar la capacitancia o la frecuencia como se ve en la figura 3.6.

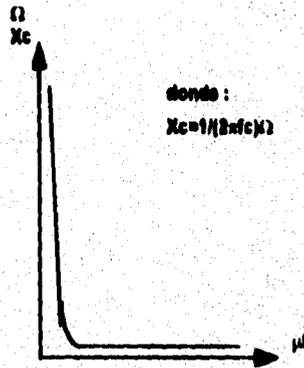


Figura 3.6

### 3.2. TIPOS DE CAPACITORES

Los capacitores de potencia o uso industrial son construidos y diseñados de diferentes formas, los cuales están basados en tres criterios interrelacionados:

- 1) El material que constituye el dieléctrico
- 2) El material de impregnación de este dieléctrico
- 3) El material que constituye la armadura

De los diferentes tipos de capacitores que existen para compensar la energía reactiva en la industria mencionaremos algunos de los más importantes.

a) **Condensador en aceite:**

**Dieléctrico:** Papel impregnado en aceite

**Armadura:** Hoja de aluminio

**b) Condensador en piraleno:**

**Dieléctrico:** Papel impregnado en piraleno (aceite aislante sintético)

**Armadura :** Hoja de aluminio

El piraleno es un tipo de aceite de askarel, el cual por sus características , es excelente pero por los efectos posteriores que producen en los trabajadores fue prohibida su fabricación y utilización. El principal motivo es la provocación de cáncer en la piel y el segundo, es porque no es degradable, o al menos no hasta unos cientos de años. Y aún cuando ya no se utiliza ese tipo de aceite todavía se encuentra en algunos capacitores y transformadores que fueron instalados hace años.

**c) Condensador de papel metalizado:**

**Dieléctrico:** Papel impregnado en aceite

**Armadura:** Capa metálica depositada sobre el papel

**d) Condensador de hoja de plástico**

**Dieléctrico:** Hoja de plástico con o sin impregnación

**Armadura:** Hoja metálica

En este tipo de condensadores existen tres modelos (K.S., K.T., K.C.).

- **Condensador K.S.:** El dieléctrico está constituido por hojas de poliestireno (polistírol, estyrosflex, estyropor) y su armadura es de hojas metálicas de aluminio.

- **Condensador K:T.:** El dieléctrico está constituido en este caso, de Estéres del ácido tereftálico, ( resina de poliéster) con alta resistencia a la temperatura y su armadura de hojas metálicas de aluminio.
- **Condensador K.C. :** El dieléctrico está constituido por hojas de policarbonatos, que son modernos materiales plásticos, caracterizados por conservar sus buenas cualidades dieléctricas a muy bajas temperaturas. La armadura es de hoja metálica de aluminio.

**e) Condensador de hoja de plástico metalizada**

**Dieléctrico :** Hoja de plástico con o sin impregnación.

**Armadura:** Capa metálica depositada sobre el plástico.

El condensador de hoja de plástico metalizado en realidad es un condensador autorregenerable, con electrodos metálicos finos firmemente adheridos a la hoja de plástico y que en general se depositan por evaporación. También ahora, en caso de perforación se evaporan los electrodos y además sin aportación de energía adicional al exterior. La característica de autorregeneración se lleva a cabo cuando se presenta la corriente de fuga, que en un condensador normal provocaría su salida de funcionamiento. En ese caso el condensador autorregenerable aísla la falla y sigue funcionando normalmente.

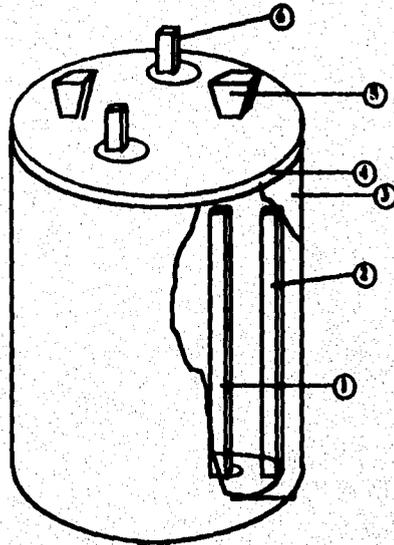
En la siguiente tabla se muestran las características técnicas de los capacitores:

Tipo de condensador	Tensiones nominales			Temperaturas de operación		Potencia nominal en VA	Factor de potencia
	Capacidad nominal (μF)	Capacitancia mínima	Capacitancia máxima	Mínima	Máxima		
Envuelto	0,1 a 100	500	50	-5	+55	5	20 X 104
Empaquetado	0,1 a 100	500	50	-50 a +10	+50 a -10	10	20 a 70 X 104
Capacitores de película	0,1 a 100	500	200	-50 a -5	+10 a -45	5	30 a 100 X 104
<b>Diélectrico plástico</b>							
Metálico	0,1 a 100	500	50	-50 a -5	+10	5	20 X 104
Metálico	0,1 a 100	500	50	-5	+15	5	20 a 30 X 104
Metálico	0,1	500	50	-5	+15	5	20 X 104
Diélectrico plástico	0,1 a 100	500	50	-50 a -5	+10 a +10	5	10 a 20 X 104

### Características técnicas de los capacitores

Tabla 2

La figura 3.7 nos muestra la estructura de un condensador de hoja de plástico. (Westinghouse) para una tensión máxima de 500 volts.



**Capacitor de hoja de plástico**  
**figura 3.7**

**Donde:**

**1 y 2.- Bobinas concéntricas, conectadas en paralelo, construidos en papel metalizado arrolladas sobre núcleos aislantes y siendo su conexionado no inductivo.**

**3.- Envase en forma cilíndrica, construido con chapa de aluminio o embutida. en el fondo y en la tapa llevan unos entrantes para centrar los núcleos de las bobinas.**

**4.- Cierre hermético de envase, conseguido mediante el engatillado de la tapa sobre el borde de la caja, asegurándose este cierre mediante un adhesivo.**

5.- Para la conexión exterior del elemento condensador, se disponen dos terminales pasatapas, fijadas herméticamente a la tapa, y constituidos por aisladores y espárragos roscados de latón, con sus tuercas correspondientes.

6.- Para la fijación al bastidor exterior, se utilizan dos espárragos roscados de latón, con sus tuercas correspondientes que están herméticamente fijados al envase del elemento condensador.

En la figura 3.8 se muestra la disposición frontal de un condensador de hoja de plástico.

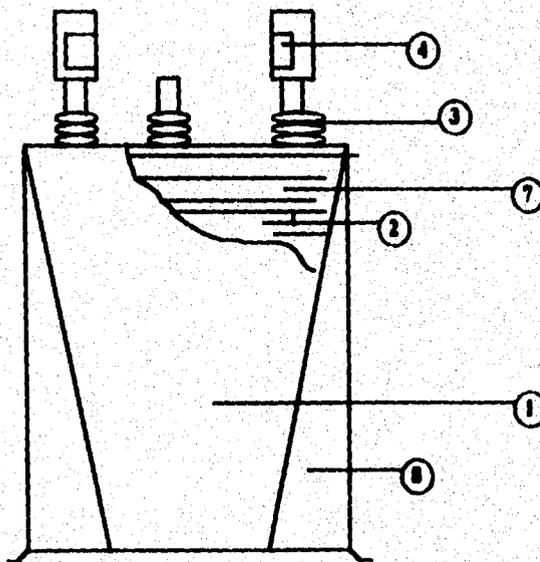


Figura 3.8

Donde:

1.- Caja y acabado: La caja está fabricada de acero de gran espesor, con todas las puntas soldadas y reforzadas.

2.- Elemento activo: Consiste en secciones de bobinas individuales de papel y película sintética, y papel de aluminio suave mate.

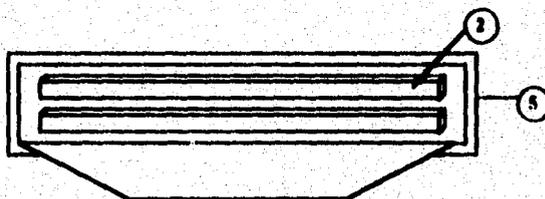
3.- Bornes terminales estancos: Esta junta evita la fuga del líquido de impregnación, incluso si el conjunto se inclina en un ángulo de 15°, lo que bien puede ocurrir durante la instalación del condensador.

4.- Fusibles indicadores individuales: Existen dos fusibles individuales, limitadores de la corriente y montados en los propios bornes terminales.

7.- Resistencia de descarga: Como medida de seguridad, en la parte interior de los terminales de los condensadores, se instala una resistencia de carbón. En caso de desconexión del condensador, la tensión de descarga residual se reduce 50 voltios o menos, antes de un minuto.

8.- Pieza de montaje

5.- Juntas de estanqueidad.



Vista superior de la figura 3.8  
figura 3.9

En la siguiente figura se muestra un condensador autorregenerable (Capacitores ABB) figura 3.10

### LA TECNOLOGIA DE LOS CAPACITORES ABB

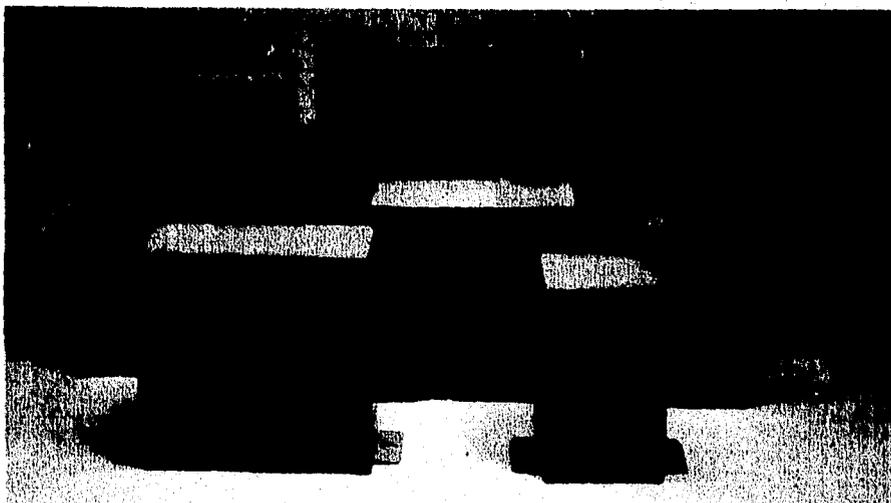
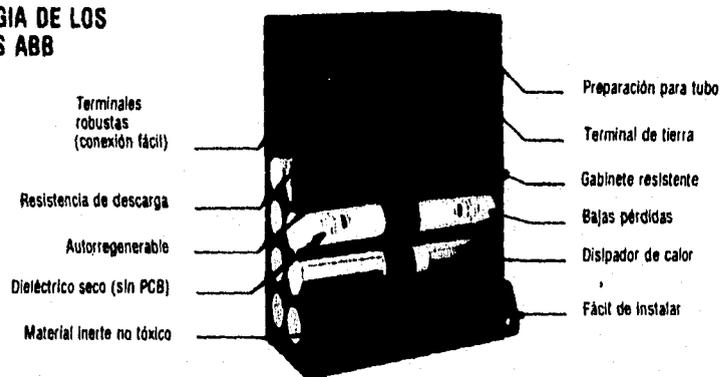


Figura. 3.10

Las siguientes especificaciones técnicas se refieren a los capacitores ABB.

<b>Rango de voltaje 240 y 280</b>	<b>T máxima 50 C</b>
<b>Frecuencia 60 Hz</b>	<b>T mínima -40 C</b>
<b>Conexión Delta</b>	<b>Distancia mínima 50mm</b>
<b>Resistencia de descarga 50v/min:</b>	<b>Pérdida 0.5 W/Kvar</b>
<b>Terminales birlos p/cables zapata</b>	<b>Voltaje a prueba 2.5 Vn. "</b>
<b>Conexión para tierra física</b>	<b>Caja lámina calibre 18</b>

Además de los criterios antes mencionados, del diseño y construcción de los capacitores, paralelamente éstos se fabrican para distintos voltajes, diferentes tipos de cubiertas, y para uso interior y exterior. Los capacitores para bajos voltajes, sean de uso interior o exterior, son apropiados en sistemas de 240, 480 ó 600 volts.

Los capacitores para voltajes intermedios sean de uso interior o exterior, son apropiados en sistemas de voltajes entre 2 400 y 14 400 volts.

Las unidades para 2.4. Kv. y mayores pueden ser conectados en serie, para igualar el voltaje de línea a neutro del circuito.

El tipo de cubierta de los capacitores es diseñado para satisfacer los requisitos de ubicación, a prueba de intemperie y a prueba de polvo.

**Las temperaturas máximas y mínimas del medio ambiente permisibles para la mayoría de los capacitores son:**

T	máxima	50°C
T	mínima	-40°C

**En los capacitores con capacidades nominales de 600 volts y menores, el voltaje residual debe reducirse a 50 volts o menos dentro del lapso de un minuto, después de desconectar el capacitor de la fuente de alimentación. En los capacitores con capacidades nominales a 600 volts, la reducción a 50 volts puede ocurrir en 5 minutos, o menos.**

**El circuito de descarga puede estar conectado permanentemente a las terminales del banco de capacitores, o puede tener un dispositivo de conexión automático a las terminales del banco de capacitores que opera cuando se interrumpe el voltaje en la línea.**

### **3.3. TIPOS DE CONEXION**

**Los condensadores son contruidos de manera independiente, su forma básica es cilíndrica, aunque también se construyen de forma rectangular. Estos internamente se conectan en tres formas diferentes para construir lo que se llama una batería de condensadores. Los siguientes modos de conexión son:**

- 1) Conexión en derivación (o en paralelo)**
- 2) Conexión en serie**
- 3) Conexión mixto**

1.- Conexión en derivación. Esta consiste en unir grupos de capacitores en paralelo juntando la armadura exterior e interior de éstos.

2.- Conexión serie. En este caso la armadura interior de cada condensador está conectada a la armadura exterior del siguiente, y así sucesivamente. Por lo común este tipo de conexión se realiza en aquellos casos en que es necesario distribuir la diferencia de potencial, porque si estuviera conectada a un solo condensador se perforaría el dieléctrico.

3.- Conexión mixto. en este arreglo se hace uso de los dos tipos de conexión antes mencionados. Como se observa en la figura 12.

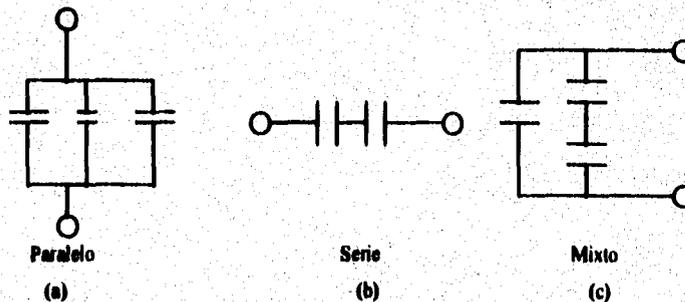


figura 3.12

Este tipo de conexiones se realiza para formar un grupo, banco o batería de capacitores. Y éstos a su vez para formar bancos trifásicos o monofásicos que posteriormente aliviarán el consumo de corriente reactiva.

La conexión de los capacitores en los sistemas de potencia ya sea en el lado de alta o baja tensión se realiza de dos formas

- 1) Conexión Estrella o yé (Y)
- 2) Conexión Delta o triángulo ( $\Delta$ )

La conexión delta es la más común ya que se obtiene mejor aprovechamiento de los capacitores conectados, dadas las características de voltaje y corrientes de una conexión estrella o delta para capacitores del mismo valor, conectados en las dos modalidades obtendríamos que, para la conexión delta necesitaríamos capacitores de capacidad tres veces menor que los que utilizaríamos en la conexión estrella, para obtener la misma potencia reactiva .

### **3.4. TIPOS DE COMPENSACION**

La conexión de los capacitores en los sistema para mejorar su factor de potencia, es una operación llamada compensación, y esta se realiza de tres formas:

- 1) Compensación central.
- 2) Compensación en grupo
- 3) Compensación individual.

*Compensación central:* Esta se realiza en la subestación de transformación y el banco de capacitores se puede colocar en:

- a) En el primario del transformador del lado de alta tensión, por lo común se realiza una conexión estrella como se ve en la figura 13.a
- b) En el secundario del transformador en el lado de baja tensión utilizando una conexión delta como se ve en la figura 13.b.

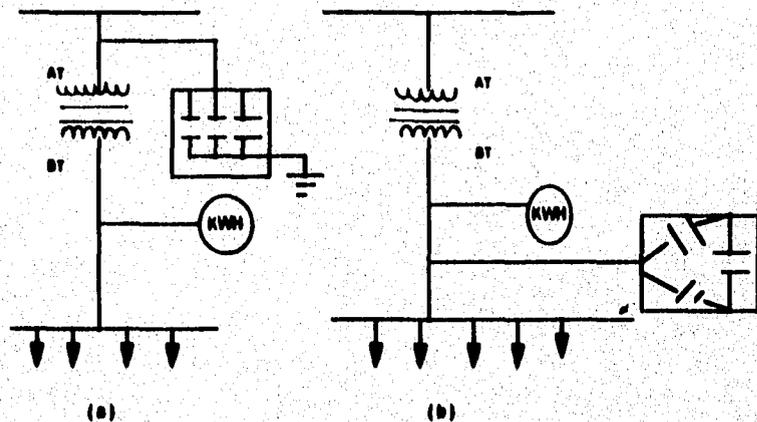


figura 3.13

**Compensación en grupo:** Se realiza atacando conjuntos o partes de la instalación de manera que cada parte afecta a una derivación o un grupo en derivación. Como se ve en la figura 3.14.

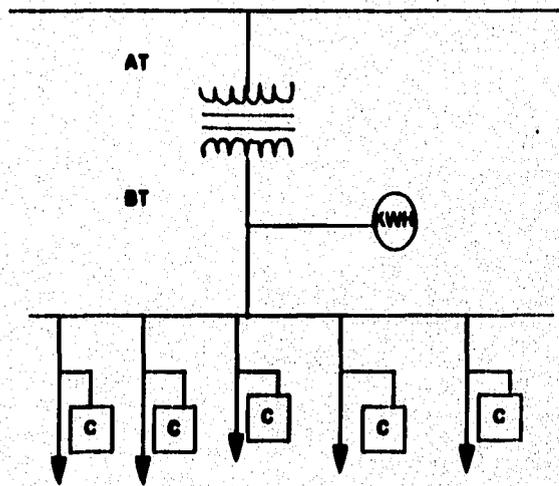


FIGURA 3.14

**Compensación individual:** El banco de capacitores compensa en particular tal elemento. Como se ve en la figura 3.15.

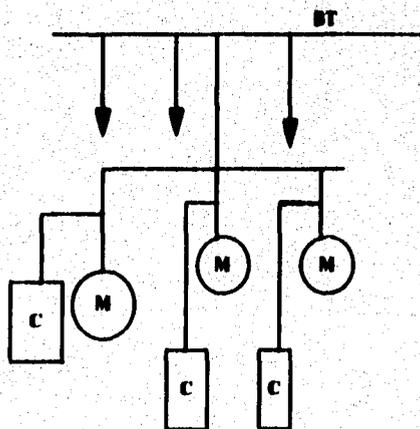


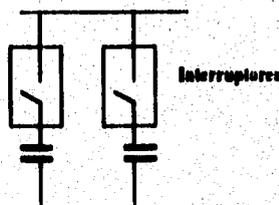
FIGURA 3.15

### 3.5. PROTECCION A LOS CAPACITORES

Los bancos de capacitores deben protegerse contra posibles fallas de servicio, estas protecciones varían según la compensación utilizada y el valor del capacitor. Para la compensación individual se utilizan contactores provistos de relés térmicos de protección contra sobrecargas, ajustados a un valor de 1 a 3 veces la intensidad de la corriente de servicio del condensador; también tienen protección contra corto circuito con valores de 4 a 9 veces la intensidad de la corriente de servicio del condensador.

En la instalación de alta tensión, los condensadores pueden conectarse a la red mediante interruptores de potencia o disyuntores de corriente con suficiente capacidad de desconexión de corto circuito. Dadas las características de los interruptores por su poder de ruptura relativamente reducido, se pueden utilizar fusibles de gran capacidad, figura 3.16. Estos fusibles deben estar calculados para un valor de 1 a 6 veces mayor a la corriente de servicio del condensador.

figura 3.16



Las posibles fallas para las cuales deberán estar protegidos los capacitores son :

- 1) Contra cargas residuales, mediante resistencias de descarga.

2) **Contra las sobretensiones en la conexión, unas veces por fraccionamiento de la puesta en tensión de la batería, y otras veces por medio de resistencias de choque o de reactancias de choque.**

3) **Contra la conexión de la batería antes de la puesta en marcha de los receptores.**

4) **Contra las sobretensiones debidas a las perforaciones de los dieléctricos o sobretensiones accidentales**

5) **Contra las perturbaciones, producidas por los sistemas de telemando y telecontrol.**

### **3.6. CAPACITORES AUTOMATICOS**

El banco de capacitores mostrado en la figura 3.10 es del tipo automático y pertenece a la empresa ABB SISTEMAS, S.A. de C.V.

#### **3.6.1. Características generales de los capacitores automáticos**

Básicamente, un Banco Automático para la regulación del factor de potencia está formado por los siguientes elementos:

##### ***Regulador automático de VAR'S***

Este dispositivo realiza cinco funciones importantes que son:

a) **Determinar el factor de potencia deseado, para lo cual, mide la potencia reactiva necesaria y controla conmutación (conexión) de los diferentes pasos de capacitores, de acuerdo al factor de potencia deseado.**

b) Medición del factor de potencia (Cos  $\theta$ ). Para lo que sensa los valores de corriente y voltaje y realiza la medición por el método de integración.

c) Ajuste del Cos  $\theta$  deseado. Esto se realiza por medio de un control, colocado en la carátula del regulador y graduado en valores de Cos  $\theta$  (0.7 inductivo a 0.95 capacitivo).

d) Ajuste de sensibilidad C/K. Esto se efectúa con un control igualmente colocado en la carátula y es para darle al regulador la sensibilidad, de acuerdo al TC y los valores de potencia reactiva de cada paso. Es decir se le indica cuando debe iniciar a conectar pasos y cuando conecta y desconecta un paso.

e) Cuenta con un indicador de factor de potencia digital.

Prácticamente, el regulador reacciona a cambios de 2/3 el valor de corriente de paso.

El tiempo entre la conexión de cada paso es de aproximadamente 40 segundos, por lo tanto no hay problemas en los transitorios de voltaje.

El ajuste C/K se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C/K = 360 Q/VK$$

Donde:

Q = Valor de un paso en KVAR

V = Voltaje nominal del sistema

K = Relación del transformador de corriente

**Ejemplo:**

$$TC = 500/5 = 100$$

**Banco 5x30 KVAR, Volts 240**

$$C/K = 360 \cdot 30/240 \times 100 = 0.45$$

***Interruptor termomagnético general de la capacidad adecuada.***

**Cuya función es proteger de manera general todo el banco automático.**

***Contactores***

**Los cuales son controlados por el regulador de VAR 'S y su propósito es conectar y desconectar los pasos de capacitores.**

**Mecánicamente: Para tener una gran cantidad de operaciones.**

**Eléctricamente: Para resistir la corriente transitoria de conexión.**

***Fusibles***

**Su función es la de proteger a cada capacitor, independientemente de la protección que les brinda el interruptor general.**

***Un banco de capacitores***

**Formado por 5 unidades, (para el caso más común del Banco Automático de 5 pasos). Cada capacitor cuenta con resistencias, las que lo descargan cuando éste se desconecta, a un valor de 50 Volts en aproximadamente un minuto.**

## **3.7 MAQUINA SINCRONA**

La máquina síncrona es la segunda opción para corregir el factor de potencia.

En esta parte del capítulo hablaremos brevemente acerca de esta opción para corregir el factor de potencia.

En nuestra investigación nos encontramos que la aplicación de esta máquina en la industria no es muy común debido principalmente al alto costo que implica un elemento de estas características, debido a la instalación y mantenimiento que deberá proporcionársele durante su vida útil.

### **3.7.1. Características generales**

Una máquina síncrona puede funcionar como:

- 1) Motor síncrono
- 2) Condensador síncrono
- 3) Generador síncrono

#### **1) Motor síncrono**

Su nombre de sincronía se deriva de la velocidad, la cual es la velocidad natural del campo magnético rotatorio del estator. En el motor síncrono se produce un campo magnético rotatorio y se usa de manera que reaccione con un campo especialmente originado en el rotor, para que el rotor se fije sincrónicamente en el campo rotatorio del estator y sea arrastrado a la velocidad síncrona del campo magnético.

Un motor de ese tipo utiliza los dos tipos de corrientes, es decir necesita corriente alterna para alimentar su estator y corriente continua para su estructura de campo, como se ve en la figura 3.17.

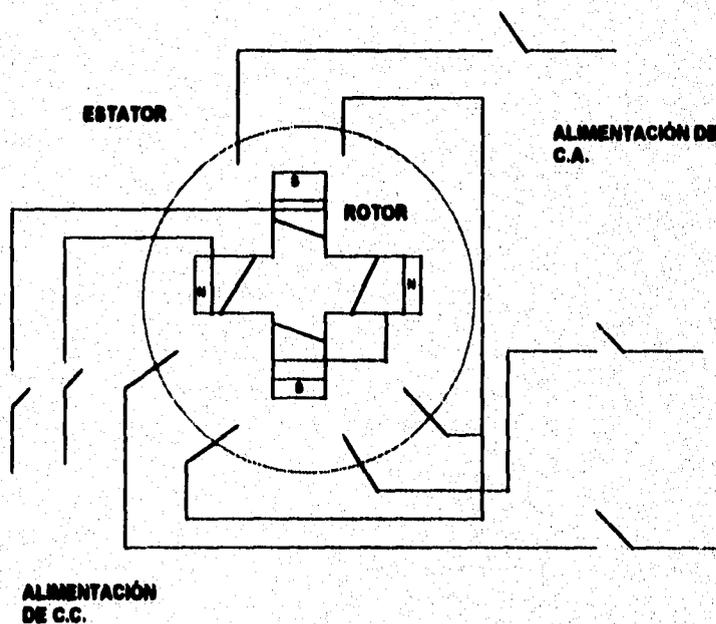


FIGURA 3.17.

Los beneficios que aporta este elemento es que no necesita corriente de magnetización para iniciar su marcha, además de ser muy eficiente.

Su utilización se restringe debido al costo que significa, ya que se deberían de cambiar todos los motores de inducción hasta alcanzar la compensación requerida, o colocar todas las cargas a un solo motor síncrono de gran capacidad que soporte todo el trabajo. Que de cualquier manera significa un alto costo.

**De manera general podemos enumerar las siguientes ventajas:**

- Se puede variar el factor de potencia, para obtener el requerido por la norma.
- Proporciona trabajo mecánico, al mismo tiempo que funciona con un factor de potencia requerido.
- Opera a velocidad constante tanto en condiciones de vacío como en condiciones de plena carga.

**Del mismo modo sus desventajas son las siguientes:**

- No se puede variar su velocidad.
- El rotor requiere de corriente continua que se debe proveer de medios externos.
- Requiere de medios externos para arrancar.
- Requiere de mantenimiento preventivo y correctivo.

**Las aplicaciones más comunes, de la máquina síncrona las encontramos en los molinos de cemento, en la industria minera, y algunas más.**

## **2) Condensadores síncronos**

**Esta es una característica de los motores síncronos, si alimentamos más corriente continua que la que necesita el estator de un motor síncrono, estará**

sobre-excitado y toma una corriente adelantada en fase con la línea de alimentación, igual que lo haría un capacitor conectado a la línea de un circuito resistivo. Es esta la utilización del motor síncrono sobre-excitado, para corregir el factor de potencia y a la vez es una forma de obtener trabajo mecánico y corrientes reactivas de compensación, las ventajas y desventajas para el capacitor síncrono son las mismas para el motor simple.

### **3) *Generador síncrono***

Es un elemento de la máquina síncrona, que ya no compete con nuestro trabajo, sólo lo enumeramos como parte del grupo.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, el ingeniero encargado de seleccionar e instalar el equipo apropiado para realizar la corrección del factor de potencia, tiene la opción de elegir de acuerdo a las características del sistema, presupuesto disponible y sobre todo garantizar un buen funcionamiento y resultados óptimos cualesquiera de los elementos ya mencionados.

En la tabla 4 se muestra en forma de resumen una comparación entre los compensadores síncronos y los capacitores:

<b>COMPENSADOR SINCRONO</b>	<b>CAPACITOR ESTATICO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite tanto el suministro de energía reactiva, como el consumo de esta misma energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un capacitor, las pérdidas o consumo de energía activa son proporcionalmente menores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El precio por KVA disminuye cuando crece la potencia instalada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El precio por KVA permanece constante cualesquiera que sea la potencia instalada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La regulación de la potencia reactiva es muy fácil y progresiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La regulación de la potencia reactiva no es tan progresiva ni tan fácil de realizar.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con la instalación de compensadores sincros, se obtiene una mayor estabilidad dinámica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el caso de los condensadores la unidad mínima de potencia puede ser tan pequeña como se desee.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso de disminuir la tensión, el compesador sincrónico tiende a elevar esa tensión, suministrando más potencia reactiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si un elemento está fuera del circuito o por avería, esto no implica el paro total de la batería del capacitor.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su instalación implica elevados gastos de instalación, mantenimiento y vigilancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prácticamente se suprimen los gastos de vigilancia y mantenimiento.</li> </ul>

**CAPITULO CUATRO**  
**METODOS Y MEDICIONES PARA LA CORRECCION**  
**DEL FACTOR DE POTENCIA**

## **METODOS Y MEDICIONES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA**

### **4.1. METODOS DE MEDICION DEL FACTOR DE POTENCIA**

Para determinar el consumo de corriente reactiva por parte de una industria, como necesidad debemos saber en promedio su factor de potencia, para así poder compensarla mediante la implementación de capacitores. En este capítulo hablaremos de los métodos de medición directa e indirecta del factor, de potencia, del cálculo numérico y gráfico para la determinación de los KVAR necesarios para satisfacer lo indicado en las normas impuestas para el consumo de energía eléctrica y del tipo de compensación a usarse. Finalmente propondremos la compensación en un ejemplo práctico.

En esta primera parte de este capítulo, mencionaremos 5 métodos para realizar la medición (de forma directa) del factor de potencia.

#### **4.1.1. Métodos Directos (Para la medición del factor de potencia)**

- 1) Wattímetro, amperímetro y voltímetro
- 2) Watthorímetro, amperímetro y voltímetro
- 3) Watthorímetro y Vahorímetro
- 4) Dos Wattímetros.
- 5) El Factorímetro

1.- El método del wattmetro, amperímetro y voltímetro parte de que, el factor de potencia, circuito de corriente alterna se obtiene con la relación de los Kilowatts y los Kilovolts-amperes.

Estos watts los obtenemos de la lectura mostrada por el wattmetro, los volts-amperes se obtienen realizando la multiplicación directa después de hacer la medición instantánea de cada elemento. Para obtener los KVA hacemos uso de la fórmula:

$$KVA = 1.732 VI / 1000$$

Donde la constante 1.732, obedece a la relación del voltaje de línea que es 1.732 veces mayor que el voltaje de fase por ser circuito trifásico y dividido entre 1000 para obtener KVA, si se trata de un circuito monofásico la constante desaparece..

Con las consideraciones hechas anteriormente, ya sólo necesitamos los valores de voltaje y corriente para sustituirlos en la fórmula para el factor de potencia en un circuito monofásico o trifásico.

En la siguiente figura 4.1 se muestra el diagrama de conexión de los aparatos de medición en un circuito monofásico. Y en la figura 4.2. para un circuito trifásico..

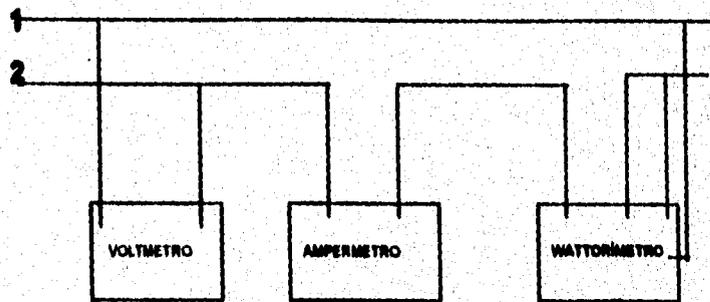


FIGURA 4.1

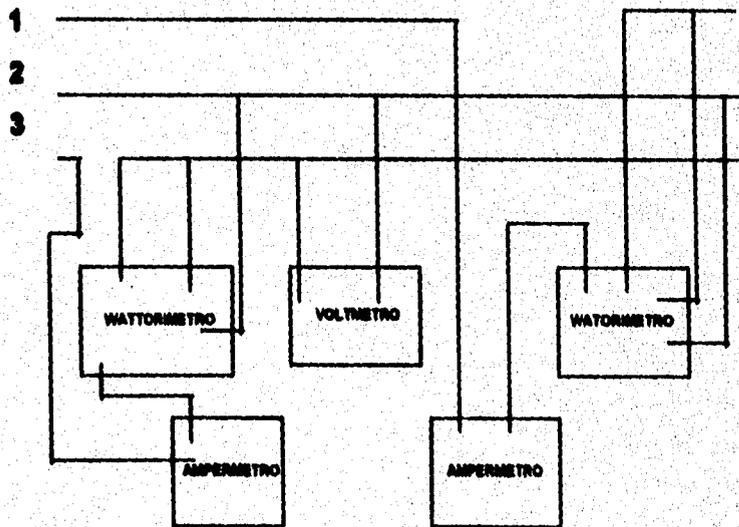


FIGURA 4.2

2.- El segundo método (Wathorimetro, voltímetro y amperímetro) la potencia activa  $P$  en watts se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$P = 3600 \frac{RKH}{n}$$

Esto, se logra contando las revoluciones R del disco del wathorímetro, durante un periodo de tiempo, especificando y conociendo la constante del medidor (KH); posteriormente, con el promedio de las lecturas del anperímetro y voltímetro en este mismo periodo de tiempo, se calcula el factor de potencia con las ecuaciones vistas en el método anterior.

3.- En el tercer método (wathorímetro y varhorímetro), las lecturas diarias, semanales o mensuales de estos instrumentos nos dan el factor de potencia, en el periodo seleccionado por medio de la ecuación siguiente:

$$Fp = P / (P^2 + Q^2)^{1/2}$$

4.- Respecto al cuarto método (El de los dos wattmetros) el factor de potencia es la relación de las dos lecturas, de los instrumentos y auxiliándonos de la tabla 4.1.

Esta tabla está constituida de dos columnas, W2/W1 y Cos  $\theta$  para valores positivos y otra para valores negativos. Las cuales se usan convenientemente del valor arrojado por las lecturas, W2 será siempre el valor más grande, y W1 el del valor más chico. Este método es más exacto porque la lectura sólo se hace con un solo instrumento sin cálculos adicionales.

TABLA 4.1

valores (+)				valores (-)			
w2/w1	COS $\theta$	w2/w1	COS $\theta$	w2/w1	COS $\theta$	w2/w1	COS $\theta$
0.976	0.99	0.912	0.74	0.913	0.40	0.400	0.24
0.700	0.99	0.900	0.73	0.927	0.40	0.410	0.23
0.747	0.97	0.890	0.72	0.941	0.47	0.430	0.22
0.712	0.96	0.872	0.71	0.954	0.45	0.433	0.21
0.801	0.97	0.850	0.70	0.969	0.45	0.470	0.20
0.804	0.96	0.840	0.68	0.983	0.46	0.480	0.19
0.820	0.95	0.825	0.68	0.990	0.42	0.510	0.18
0.800	0.94	0.820	0.67	0.110	0.42	0.540	0.17
0.803	0.93	0.807	0.66	0.125	0.41	0.582	0.16
0.803	0.92	0.100	0.66	0.130	0.40	0.584	0.15
0.844	0.90	0.181	0.64	0.164	0.38	0.590	0.14
0.830	0.89	0.100	0.63	0.166	0.38	0.530	0.13
0.807	0.87	0.100	0.62	0.163	0.37	0.602	0.12
0.400	0.86	0.140	0.61	0.180	0.36	0.670	0.11
0.470	0.85	0.120	0.60	0.214	0.35	0.700	0.10
0.407	0.84	0.117	0.59	0.220	0.34	0.726	0.09
0.441	0.83	0.104	0.58	0.240	0.32	0.700	0.08
0.482	0.82	0.092	0.57	0.262	0.31	0.704	0.07
0.416	0.81	0.078	0.56	0.270	0.29	0.511	0.06
0.500	0.80	0.060	0.55	0.285	0.28	0.646	0.05
0.501	0.79	0.053	0.54	0.312	0.28	0.576	0.04
0.287	0.78	0.030	0.53	0.330	0.27	0.502	0.03
0.300	0.77	0.020	0.52	0.340	0.26	0.630	0.02
0.330	0.76	0.013	0.51	0.364	0.25	0.607	0.01
0.330	0.75	0.000	0.50	0.382	0.24	1.000	0.00

La siguiente figura muestra la conexión de los instrumentos

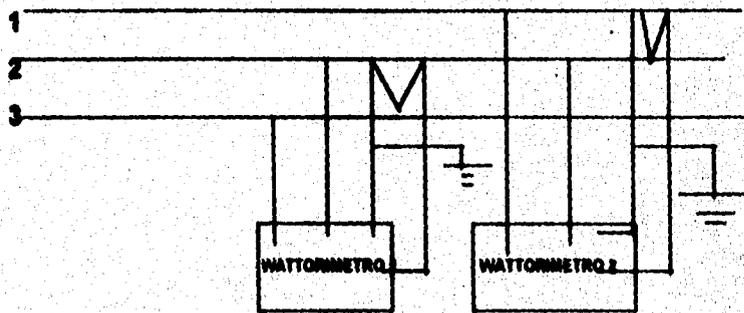


FIGURA 4.3

5.- El quinto método (Factorímetro), es el más sencillo para este fin, existiendo el siguiente inconveniente, ya que el circuito a medir debe tener las cargas balanceadas.

La conexión esquemática de este instrumento se muestra en la figura 4.4:

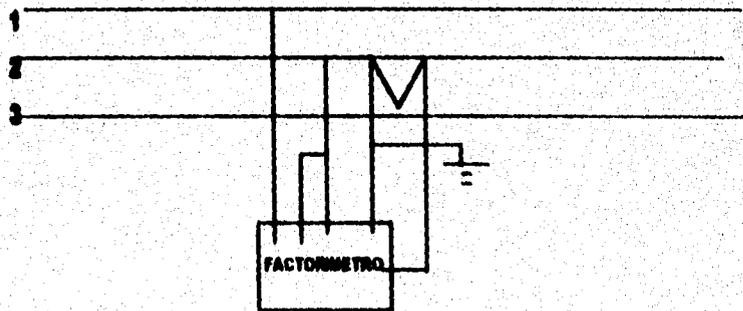


FIGURA 4.4

#### **4.1.2. Método por medio del consumo global de energía**

El factor de potencia de cualquier instalación industrial suele sufrir variaciones cuya intensidad depende de los equipos instalados en la misma y de los horarios de trabajo.

Cuando la carga alimentada no está sujeta a grandes alteraciones durante las horas de trabajo, puede ser práctico medir el factor de potencia medio, definido por la expresión:

$$\text{COS } \theta = \text{Kwh} / [ (\text{Kwh})^2 + (\text{Kvar})^2 ]^{1/2}$$

**Kwh:** Kilowatts-hora consumidos durante un mes

**Kvar:** Kvars-hora consumidos durante un mes

Las magnitudes KWh y KVARh, suelen venir especificadas en los recibos mensuales de la compañía eléctrica.

Si durante las horas de trabajo se suelen presentar grandes variaciones de carga y especialmente, si las cargas variables proceden de equipos de distinta naturaleza, puede resultar más conveniente el medir el factor de potencia a plena carga y posteriormente, determinar los KVAR capacitivos necesarios, bajo estas mismas condiciones.

Existen dos métodos semejantes para determinar el factor de potencia medio e instantáneo por medio de tablas en una instalación.

#### **4.1.3. Factor de potencia instantáneo**

$$Tg \varphi \text{ (instantáneo)} = (Kvar T) / (Kw T)$$

**Donde:**

**KvarT:** Es la medición hecha en ese momento de los Kvar

**KwT:** Es la medición hecha en ese momento de los Kw

El valor arrojado de esta relación, lo utilizamos comparativamente en la tabla 4.2 para obtener el factor de potencia instantáneo en ese momento.

#### **4.1.4. Factor de potencia medio**

$$Tg \varphi \text{ (medio)} = (Kvar h) / (Kw h)$$

**Donde:**

**Kvarh:** Es la energía reactiva consumida en un tiempo que puede ser un mes, o un bimestre.

**Kwh:** Es la energía activa consumida en un tiempo determinado.

De igual forma nos auxiliamos de la tabla 4.2, para determinar el factor de potencia medio.

| $\cos \phi$ |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.999       | 1.00        | 0.920       | 0.85        | 1.929       | 0.70        | 1.918       | 0.58        | 2.291       | 0.40        |
| 0.162       | 0.99        | 0.640       | 0.84        | 1.640       | 0.69        | 1.650       | 0.54        | 2.261       | 0.39        |
| 0.293       | 0.98        | 0.572       | 0.83        | 1.578       | 0.68        | 1.600       | 0.53        | 2.434       | 0.38        |
| 0.291       | 0.97        | 0.520       | 0.82        | 1.180       | 0.67        | 1.642       | 0.52        | 2.611       | 0.37        |
| 0.291       | 0.96        | 0.784       | 0.81        | 1.130       | 0.66        | 1.680       | 0.51        | 2.592       | 0.36        |
| 0.320       | 0.95        | 0.700       | 0.80        | 1.160       | 0.65        | 1.732       | 0.50        | 2.676       | 0.35        |
| 0.63        | 0.94        | 0.776       | 0.79        | 1.200       | 0.64        | 1.770       | 0.49        | 2.760       | 0.34        |
| 0.396       | 0.93        | 0.568       | 0.78        | 1.233       | 0.63        | 1.820       | 0.48        | 2.861       | 0.33        |
| 0.420       | 0.92        | 0.630       | 0.77        | 1.265       | 0.62        | 1.870       | 0.47        | 2.961       | 0.32        |
| 0.466       | 0.91        | 0.688       | 0.76        | 1.290       | 0.61        | 1.920       | 0.46        | 3.067       | 0.31        |
| 0.484       | 0.90        | 0.592       | 0.75        | 1.33        | 0.60        | 1.960       | 0.45        | 3.171       | 0.30        |
| 0.512       | 0.89        | 0.600       | 0.74        | 1.365       | 0.59        | 2.041       | 0.44        | 3.266       | 0.29        |
| 0.530       | 0.88        | 0.636       | 0.73        | 1.400       | 0.58        | 2.090       | 0.43        | 3.429       | 0.28        |
| 0.567       | 0.87        | 0.664       | 0.72        | 1.441       | 0.57        | 2.160       | 0.42        | 3.566       | 0.27        |
| 0.59325     | 0.86        | 0.692       | 0.71        | 0.440       | 0.56        | 2.225       | 0.41        | 3.716       | 0.26        |

TABLA 4.3

**Ejemplo 1**

Las lecturas arrojadas en una planta industrial y obtenidas por los instrumentos de medición nos dan los siguientes valores:

$P = 2000 \text{ Kw}$

$Q = 1850 \text{ Kvar}$

- Encontrar el factor de potencia instantáneo.

Tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi \text{ (instantáneo)} &= (\text{KvarT}) / (\text{KwT}) \\ &= (1850) / (2000) \end{aligned}$$

$$\text{tg } \varphi \text{ (instantáneo)} = 0.925$$

Comparativamente encontramos que el valor más cercano en la tabla 4.2 para  $\text{tg } \varphi$  es 0.936, correspondiéndole un valor de factor de potencia instantáneo de 0.73.

#### Ejemplo 2

Para un factor de potencia medio las lecturas arrojadas en un mes por la misma planta son:

Kwh 25 000

Kvarh 15 000

- Encontrar el factor de potencia medio

Tenemos que:

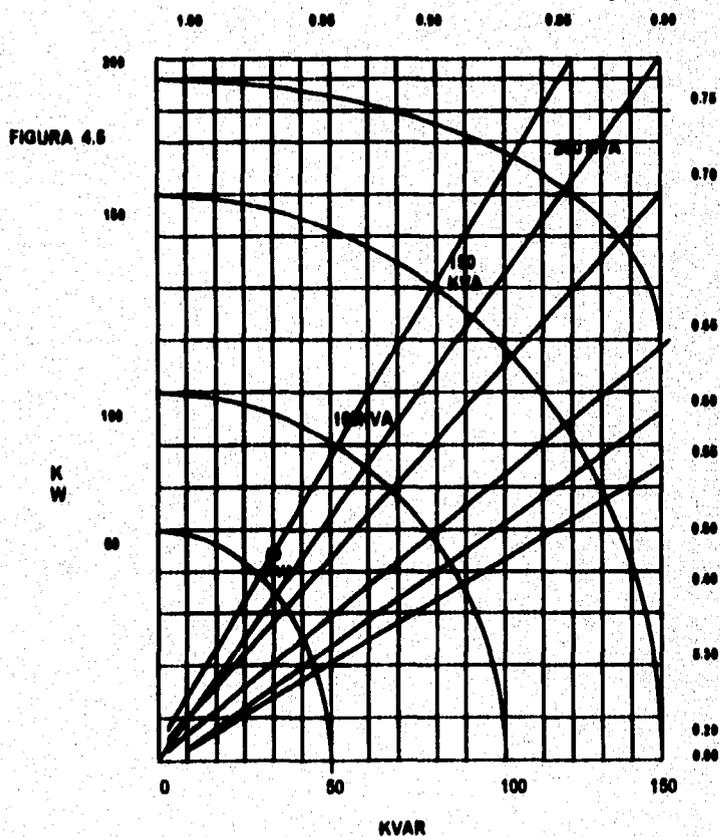
$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi \text{ (medio)} &= (\text{Kvarh}) / (\text{Kwh}) \\ &= (15000) / (20 000) \end{aligned}$$

$$\text{tg } \varphi \text{ (medio)} = 0.75$$

En la tabla 4.2 encontramos, que para  $\text{tg } \varphi$  0.75 corresponde un valor de  $\text{Cos } \varphi$  igual a 0.80 siendo este el valor para el factor de potencia medio.

#### 4.1.5. Método de Fresnel

Este método, consiste en hacer la suma de todas las potencias activas y reactivas de todos los elementos (motores, lámparas, hornos, etc.) que constituyen la industria, y utilizando la gráfica de Fresnel Fig 4.5 podemos trazar los KVA y el factor de potencia del sistema.



A manera de ejemplo ilustrativo para entender este método, se propone lo siguiente, figura 4.6

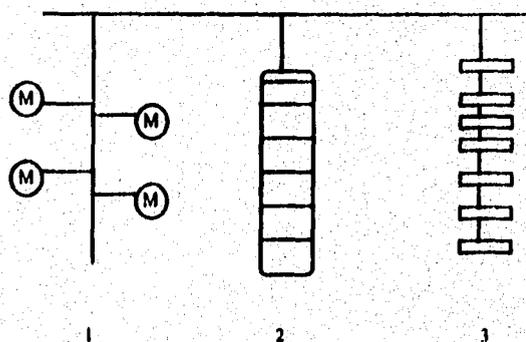


figura 4.6

### Ejemplo 3

Supongamos la instalación propuesta en la figura 4.6 y constituida por los siguientes receptores, conectados todos ellos en paralelo:

a) 4 motores eléctricos de 5 Kw de potencia unitaria y  $\text{Cos } \theta = 0.7$

$$\text{Total } P_1 = 4 \times 5 = 20 \text{ Kw, } \text{Cos } \theta = 0.7$$

b) Una estufa

$$P_2 = 10 \text{ Kw, } \text{Cos } \theta = 1$$

c) Alumbrado por medio de 20 lámparas fluorescentes de 100 W. de potencia unitaria y  $\text{cos } \theta = 0.5$

$$\text{Total } P_3 = 20 \times 100 = 2000 = 2 \text{ Kw, } \text{Cos } \theta = 0.5$$

La gráfica en el que el eje vertical muestra la potencia activa graduada en Kw, y el eje horizontal tiene la Potencia reactiva en Kva, en todo el contorno opuesto a estos dos ejes se encuentran valores de 0 a 1 para el  $\cos \theta$  dentro de esta gráfica se encuentran semicírculos que determinan valores de Kva.

El procedimiento de utilización de esta gráfica se basa en la determinación de los Kvar en el eje x, y los Kw en el eje y, graficando estos punto obtenemos unas coordenadas y una resultante, esta resultante nos muestra un valor de Kva en los semicírculos y un valor de  $\cos \theta$  en el recuadro opuesto en los ejes coordenados y de esta manera determinamos el factor de potencia.

Regresando al problema:

-Potencia activa total (las potencias activas se suman aritméticamente):

$$P = P1 + P2 + P3 = 20 + 10 + 2 = 32 \text{ Kw.}$$

-Potencia reactiva total (las potencias reactivas se suman algebraicamente, pero en este caso como se trata de cargas inductivas, todas tienen el mismo signo).

Cada potencia reactiva se determina gráficamente; el valor de la potencia activa correspondiente se proyecta sobre la recta representativa del factor de potencia ( $\cos \theta$ ) que corresponda y después se proyecta sobre el eje horizontal; de esta forma, se obtiene:

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 = 3.5 + 0 + 20.5 = 24 \text{ KVAR}$$

En la figura 4.7 se ilustra el ejemplo.

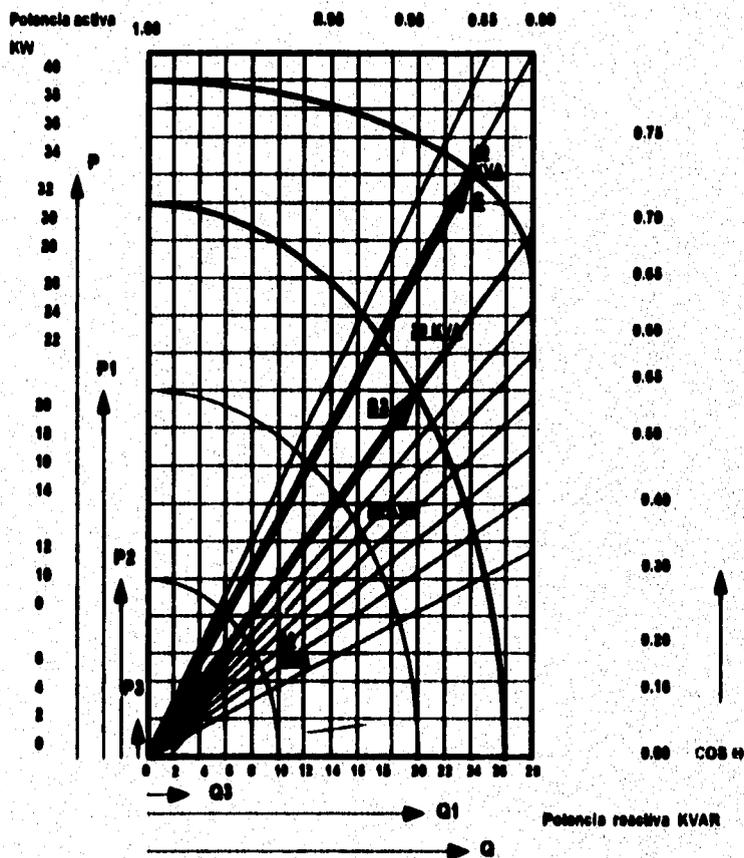


Figura 4.7

-Potencia aparente total. Se halla en la intersección de los valores correspondientes a la potencia activa total P y la potencia reactiva total Q. Gráficamente se tiene:

$$S = 40 \text{ Kva}$$

-Factor de potencia de la instalación. Gráficamente, en la intersección de los valores correspondientes a la potencia activa total P y a la potencia reactiva total Q es decir:

$$\text{Cos } \theta = 0.8$$

El método gráfico de Fresnel tiene la ventaja de evitar largos cálculos numéricos y proporciona resultados de una precisión técnica suficiente.

También existen otros métodos llamados Nomogramas, que sirven para la determinación del factor de potencia. Este método consiste en unir puntos de Kw con Kvar y la recta intermedia nos indicará el valor del factor de potencia (este método es eficaz en un 80 %).

Hasta aquí los métodos directos e indirectos más probables, que a nuestro parecer fueron los más sencillos o adecuados para la medición del factor de potencia.

Haciendo un comentario respecto a los equipos de medición que la mayoría de las empresas, tienen para mostrar lecturas de índole eléctrico.

En éstas encontramos aparatos de medición que nos dan datos de Kwh, Kvar, Kw pico, Kvar pico, factor de potencia promedio, nivel de pulsos, etc. siendo estos aparatos de la compañía de luz y fuerza, Westinghouse, Cuttler-Hammer, de esta forma los métodos antes descritos se utilizarán salvo en ocasiones donde se carezca de elementos de medición como los descritos anteriormente.

La marca Westinghouse cuenta con un elemento de medición llamado IQ DATA PLUS II (Sistema de medición y protección de líneas) es un aparato a base de microprocesador, autocontenido, de montaje en puerta, diseñado para

monitorear y visualizar los parámetros eléctricos, así como también para proteger los equipos industriales conectados a la línea.

Los parámetros eléctricos que mide son los siguientes:

- Corrientes de línea CA ( cada fase)
- Línea C.A. a tensión de línea (las tres)
- Línea C.A. a tensión neutra
- Watios
- Factor de potencia
- Corriente máxima
- Frecuencia
- Watios-hora

Monitorea la línea C.A. que alimenta una o más cargas determinadas para detectar condiciones que exceden los parámetros eléctricos seleccionados por el usuario. Podrá proteger las cargas contra condiciones como:

- Pérdida de fase
- Desequilibrio de fase
- Inversión de fase
- Baja tensión
- Sobretensión

La tensión podrá ser monitoreada directamente en líneas trifásicas de C.A. dentro de unos límites de 600 Vca a 14 KV con transformadores de potencia externos.

**Las aplicaciones típicas de este aparato son:**

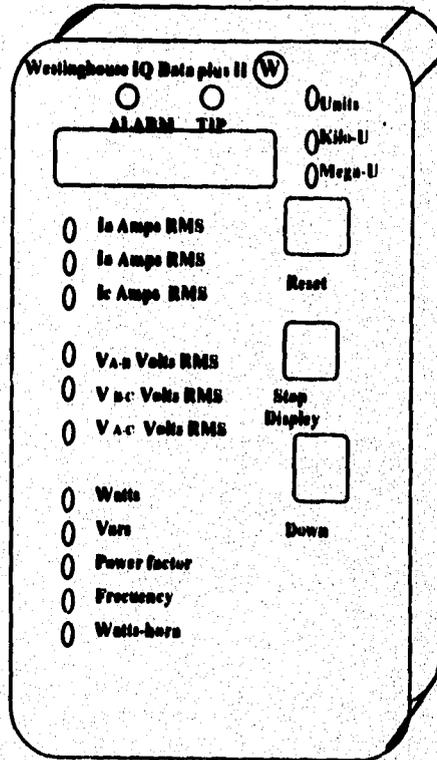
- **Líneas trifásicas de C.A. entrantes**
- **Circuitos de alimentación de transformadores**
- **Circuitos derivados**
- **Arranque de motores**
- **Cargas eléctricas trifásicas**

**Cuenta con la opción de comunicación con un computador personal P.C. de I.B.M. El computador funciona como estación principal y también se puede usar interfase con otros dispositivos a base de microprocesadores.**

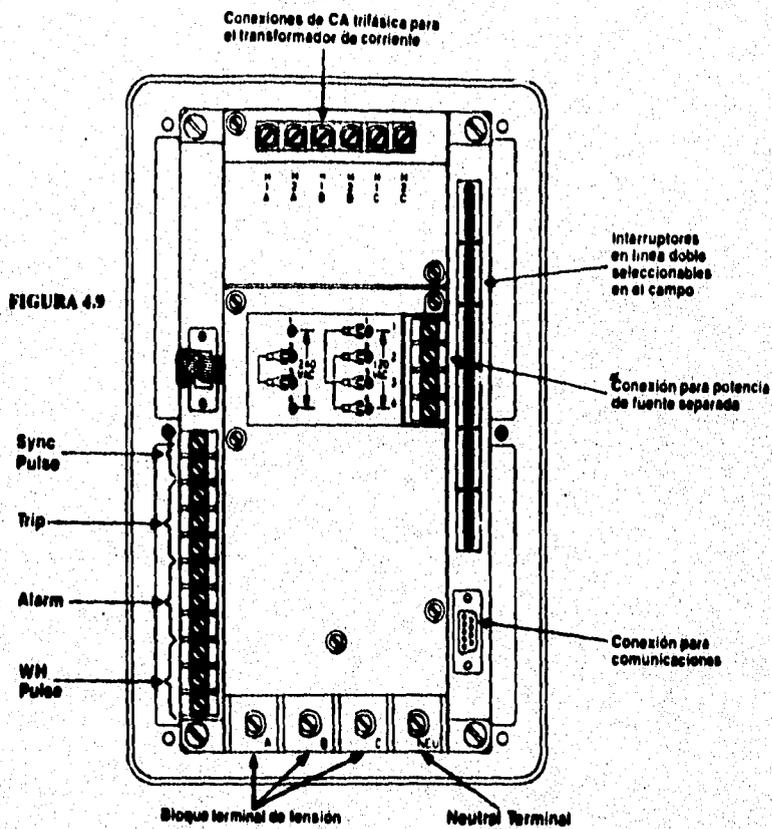
**Ya se mencionaron algunas características de este elemento de medición, pero el objetivo fundamental es mostrar diferentes opciones para obtener lectura del factor de potencia.**

**La figura 4.8 muestra el IQ Data Plus II**

FIGURA 4.8



La figura 4.9 muestra la parte de conexión del IQ Data Plus II  
El costo de este aparato en el mercado es de N\$ 10 800 precio de agosto / 95.



## 4.2. DETERMINACION DE LOS Kvar

Para realizar la compensación teniendo ya el valor del factor de potencia en retraso, mostraremos dos métodos para hacerlo, el primero mediante el método por tabla y el segundo utilizando nomogramas, estos dos métodos nos ayudan a determinar el valor de los capacitores que necesitamos.

#### **4.2.1. Método de la tabla**

Para este método necesitamos saber el valor actual de los Kw consumidos a plena carga y el factor de potencia actual. El valor del factor de potencia deseado lo referimos a la tabla 4.3, y ubicamos el valor del factor de potencia deseado e intersectando la columna del factor de potencia actual, con el factor de potencia corregido encontraremos un valor (factor de multiplicación) que multiplicaremos por los Kw para obtener los Kvar necesarios, el arreglo matemático sería:

$$\text{Kvar} = \text{Kw} \times \text{Factor de multiplicación}$$

#### **Ejemplo 4:**

Una pequeña máquina herramienta consume un promedio de 100 Kw a un factor de potencia de 0.80, necesitamos elevar a .95.

- ¿Cuántos Kvar necesitamos?.

De acuerdo con la tabla 4.3

Factor de potencia deseado	Factor de potencia deseado															
	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
66	518	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534
67	489	516	541	568	595	624	652	680	709	738	766	795	823	852	880	908
68	460	486	512	539	567	595	623	651	679	707	735	763	791	819	847	875
69	431	457	483	510	537	564	591	618	645	672	699	726	753	780	807	834
70	402	427	453	480	507	534	561	588	615	642	669	696	723	750	777	804
71	373	398	424	451	478	505	532	559	586	613	640	667	694	721	748	775
72	344	370	396	423	450	477	504	531	558	585	612	639	666	693	720	747
73	315	341	367	394	421	448	475	502	529	556	583	610	637	664	691	718
74	286	312	338	365	392	419	446	473	500	527	554	581	608	635	662	689
75	257	283	309	336	363	390	417	444	471	498	525	552	579	606	633	660
76	228	254	280	307	334	361	388	415	442	469	496	523	550	577	604	631
77	199	225	251	278	305	332	359	386	413	440	467	494	521	548	575	602
78	170	196	222	249	276	303	330	357	384	411	438	465	492	519	546	573
79	141	167	193	220	247	274	301	328	355	382	409	436	463	490	517	544
80	112	138	164	191	218	245	272	299	326	353	380	407	434	461	488	515
81	83	109	135	162	189	216	243	270	297	324	351	378	405	432	459	486
82	54	80	106	133	160	187	214	241	268	295	322	349	376	403	430	457
83	25	51	77	104	131	158	185	212	239	266	293	320	347	374	401	428
84		22	48	74	101	128	155	182	209	236	263	290	317	344	371	398
85			19	45	71	98	125	152	179	206	233	260	287	314	341	368
86				16	42	68	95	122	149	176	203	230	257	284	311	338
87					13	39	66	93	120	147	174	201	228	255	282	309
88						10	36	63	90	117	144	171	198	225	252	279
89							7	33	60	87	114	141	168	195	222	249
90								4	30	57	84	111	138	165	192	219
91									1	27	54	81	108	135	162	189
92											2	24	51	78	105	132
93													2	21	48	75
94															1	45
95																1

Table 4.3

Localizamos el factor de potencia actual y el factor de potencia deseado, intersectando estas dos líneas encontramos el valor igual a 0.421, este valor lo sustituimos en la fórmula anterior:

Donde:

$$\begin{aligned} Kvar &= Kw \times (\text{Factor de multiplicación}) \\ &= 100 \times 0.421 \\ &= 42.1 \text{ Kvar} \end{aligned}$$

Por lo que necesitaríamos 42.1 Kvar para elevar el factor de potencia de .8 a .95. De acuerdo a las capacidades de los capacitores disponibles en el mercado y por los valores que se dan en la lista de precios del capítulo cinco, se requiere un capacitor de:

MODELO	CLMB 50-240
Kvar	50
VOLTAJE	120/240
PRECIO	8.150 DLLS.

#### 4.2.2. La utilización de nomogramas

Este método consiste en la unión de dos puntos, el factor de potencia actual y el factor de potencia deseado, mediante un arreglo gráfico para que la recta nos indique el valor del factor de multiplicación K y aplicando la siguiente fórmula:

$$Qc = K \times P$$

**Donde:**

**Qc = Kvar necesarios**

**P = Kw medidos**

**K = Factor de multiplicación**

**Ejemplo 5**

**¿Que potencia reactiva adicional es necesaria para aumentar el factor de potencia de 0.65 a 0.97 en una instalación industrial, si la carga es igual a 2000 Kw?**

**De acuerdo con el Nomograma de la figura 4.10:**

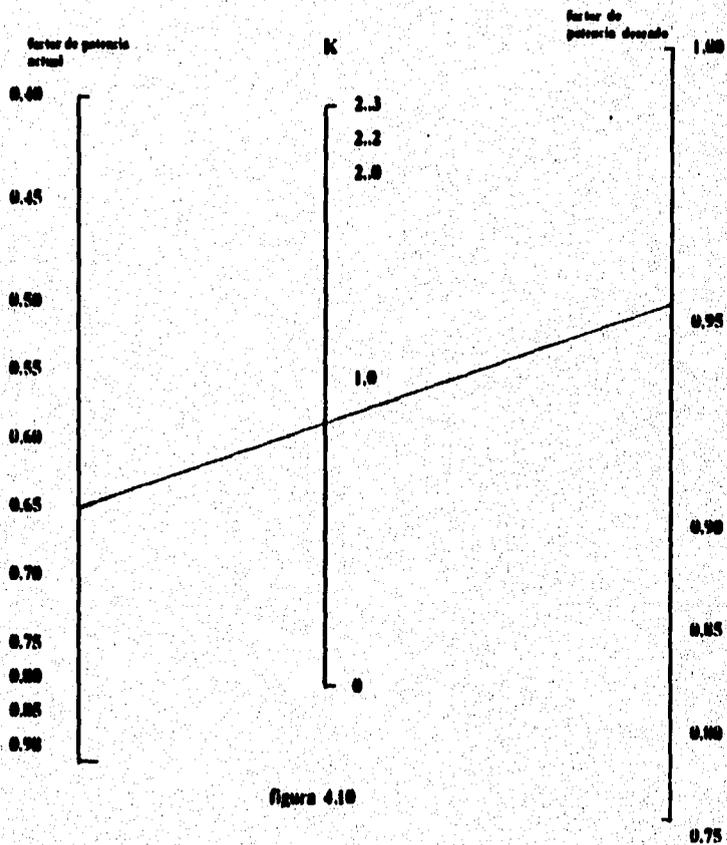


figura 4.10

De la figura anterior obtenemos que:

$$K = 0.92$$

Sustituyendo en la formula tenemos que:

$$Q_c = 0.92 \times 2000 = 1.840 \text{ Kvar}$$

Por lo tanto necesitamos 1.840 Kvar para elevar el Factor de Potencia a 0.95.

Existen otros métodos para el cálculo de los Kvar como el método gráfico, o el método de Fresnel pero sólo se mencionan éstos, ya que el método por tabla es usado actualmente por las diversas empresas e industrias productoras de capacitores por ejemplo: (ABB capacitores, y Balmecc capacitores), pareciendo el mejor método por la comodidad y exactitud de los cálculos. El nomograma también es usado pero guarda un margen de diferencia o error comparado con el método por tablas.

#### **4.3. TIPOS DE COMPENSACION**

Después de realizar el cálculo para determinar el factor de potencia y la obtención de los Kvar necesarios debemos saber, en donde colocaremos los capacitores que suministrarán la demanda de corriente reactiva.

Los capacitores son construidos en unidades independientes o banco de capacitores, además que se requieren diferentes valores de potencia reactiva, voltaje y corriente como se ve en la tabla 4, Proporcionada por ABB capacitores.

RITMO DE KVAR	AMPE A		AMPE A		PROTECCIÓN		ALIMENTACIÓN		Faltas en %	COSTO DE INYECCIÓN A TENSIA (AWT)	PUNTO DE	Por de estudio
	200 V	400 V	200	400	TENSION FRENTE A MASA	FALTA						
240 VCA	5	11		11	20	20	2-50	19	11	2.7		CLASO 240
	7	15		17	20	20	2-50	19	11	2.8		CLASO 240
	10	22		24	20	20	2-50	20	10	2.9		CLASO 240
	15	33		36	20	20	2-50	22	10	3.5		CLASO 240
	20	44		48	70	100	2-50	22	0	3.8		CLASO 240
	25	55		60	100	100	2-50	20	0	4.3		CLASO 240
	30	66		72	100	100	2-50	18	0	4.8		CLASO 240
	40	88		96	100	100	2-50	15	0	5.6		CLASO 240
	50	110		120	100	100	2-50	12	0	6.5		CLASO 240
	60	132		144	100	100	2-50	10	0	7.5		CLASO 240
	70	154		168	100	100	2-50	8	0	8.6		CLASO 240
	80	176		192	100	100	2-50	7	0	9.8		CLASO 240
480 VCA	10		11		20	20	2-50	19	11	2.8		CLASO 240
	15		17		20	20	2-50	18	11	2.9		CLASO 240
	20		22		20	20	2-50	18	10	3.0		CLASO 240
	25		28		20	20	2-50	18	10	3.1		CLASO 240
	30		33		20	20	2-50	18	10	3.2		CLASO 240
	40		44		70	100	2-50	18	0	3.8		CLASO 240
	50		55		100	100	2-50	18	0	4.3		CLASO 240
	60		66		100	100	2-50	18	0	4.8		CLASO 240
	70		88		100	100	2-50	18	0	5.6		CLASO 240
	80		110		100	100	2-50	18	0	6.5		CLASO 240
	90		132		100	100	2-50	18	0	7.5		CLASO 240
	100		154		100	100	2-50	18	0	8.6		CLASO 240

Tabla 4.4

Como podemos ver esta empresa fabrica capacitores para 240 Vca desde 5 Kvar a 60 Kvar y para 480 Vca de 10 Kvar a 80 Kvar, de modo que se podría armar el banco de capacitores de acuerdo a la necesidad que se presente. También se pueden hacer capacitores de características especiales. Si necesitáramos 40 Kvar para compensar un sistema, podríamos utilizar cuatro capacitores de 10 Kvar o dos de 20 Kvar y formar nuestro banco.

La compensación que utilizaremos nos la dictará la distribución y cantidad de elementos consumidores de corriente reactiva, que existan en el sistema, ya que ésto será determinante en la ubicación de los capacitores, como ya lo comentamos en el capítulo tres.

#### **4.4. CONSIDERACIONES PARA SU INSTALACIÓN**

La vida útil de un capacitor de baja tensión se estima entre los 10 a 15 años siempre y cuando se instale bajo las condiciones establecidas por el fabricante.

Al instalarse un capacitor, deben considerarse las siguientes características:

- Ventilación adecuada
- Protección contra armónicas
- Condiciones anormales de operación

La protección de capacitores deberá de hacerse a los siguientes elementos:

- Protección con fusibles
- Protección en grupo
- Protección con relevadores
- Protección con interruptores
- Protección con pararrayos

##### ***Ventilación***

Este es un factor importante, ya que las pérdidas eléctricas en forma de calor por parte de los capacitores representan un porcentaje muy pequeño, pero pueden elevarse a un valor considerable deteriorando al capacitor en un 70% de su vida útil, la causa de la elevación de este porcentaje puede ser debido a:

- Que no se respetó la tolerancia de 10 °C por arriba del valor indicado en los datos de placa
- Que no se guardó el espacio necesario entre capacitor y capacitor.

• Que se colocó en algún lugar cerrado donde la disipación de calor es muy lenta.

Este tipo de condiciones atacan directamente al dieléctrico, ya que se fuerza a trabajar a temperaturas muy superiores para las cuales fue diseñado. La ventilación adecuada debe darse al aire libre colocando al capacitor en un lugar ventilado, para que realice la disipación por convección natural o deberá colocarse un sistema de ventilación forzada.

#### ***Protección contra armónicas***

Existen instalaciones industriales propicias para generar corrientes armónicas de importancia como son: Instalación de hornos metalúrgicos de arco, hornos de inducción grandes, motores que entran y salen frecuentemente etc. Estas corrientes armónicas pueden provocar elevaciones de la corriente nominal y el voltaje nominal, haciendo pasar por el capacitor corrientes de varias veces el valor de la nominal y para tales eventualidades se sugiere tomar las siguientes precauciones:

- a) Tomar un cuidado especial en la ventilación, o incluso refrigeración del banco.
- b) Dejar el neutro flotante, en caso de conexión estrella.
- c) Desconectar si es posible el banco en los periodos de máxima generación de armónicas.
- d) Cambiar de emplazamiento el banco, para evitar posibles resonancias parciales.

#### **4.5. REPORTE DE LA VISITA**

El día viernes 22 de septiembre de 1995, llevamos a cabo una visita a la Comisión Nacional de Texto Gratuito, ubicada en Avenida Cuauhtémoc 138 Col. Juárez.

Durante el recorrido por esta planta se puede concluir lo siguiente: Se trata de una planta de impresiones gráficas a nivel nacional, en donde se lleva a cabo la elaboración de libros de texto de primaria, desde su edición hasta la encuadernación y empaquetado de éstos.

Continuamos el recorrido por las diferentes áreas de trabajo de la planta y algunas de éstas son:

- Área de impresiones
- Área de fotolito
- Área de diseño gráfico
- Área de compaginado
- Área de guillotinas
- Rotativa
- Almacén etc.

Además de contar con sus departamentos de mantenimiento (mecánico y eléctrico).

Debido a las funciones que desempeña una planta de impresiones gráficas, es necesario contar con la maquinaria y equipo adecuado que hará que esta empresa cumpla con sus necesidades, algunos de estos equipos son:

- Transformadores de distribución
- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna
- Generadores de corriente continua
- Lámparas incandescentes
- Lámparas fluorescentes
- Elevadores etc.

La energía eléctrica que consume la planta es proporcionada por 3 subestaciones eléctricas interconectadas a un equipo de medición, así como a un tablero general para de ahí alimentar a los demás tableros de distribución.

La planta además de contar con el suministro de energía eléctrica proporcionada por la CFE, cuenta con un soporte de energía eléctrica respaldada por una planta de emergencia con capacidad de 2000 Kva.

Las subestaciones cuentan con transformadores trifásicos de 1500 Kva, 1000 Kva., y 750 Kva todas ellas a 60 Hz. Y un voltaje BT. de 460 /250V, 220/127V, 440/254V respectivamente. Con lo que respecta a la utilización de capacitores para la corrección del factor de potencia diremos que esta planta utiliza capacitores estáticos y capacitores automáticos. Estos capacitores estáticos son de la marca RTC. General Electric, todos ellos funcionando a 60 Hz. con tres fases y una conexión interna en Delta ( $\Delta$ ). La potencia reactiva que proporcionan estos capacitores, es una compensación de grupo al que están conectados a la línea de distribución de la planta.

Las potencias reactivas que se requieren para la corrección del factor de potencia a 0.9 en cada una de las subestaciones eléctricas son de la siguiente manera:

**Subestación 1**

	2 Bancos de capacitores	2 Bancos	1 Banco
Marca	RTC	RTC	RTC
Kvar	24	42	15/18
Volt	460	460	230
Amp	30	15	40/49
Conexión	Delta	Delta	Delta
Fases	3	3	3
Hz	60	60	60

**Subestación 2**

	4 Bancos de capacitores	2 Bancos
Marca	RTC	RTC
Kvar	15/18	24
Volt	230	460
Amp	37/45	30
Conexión	Delta	Delta
Fases	3	3
Hz	60	60

**Subestación 3 .**

<b>Capacitor automatico</b>		<b>Capacitor automatico</b>	
<b>Marca</b>	<b>RTC G.E.</b>	<b>ECSA Reg/C.F.</b>	
<b>Kvar</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	
<b>Volt</b>	<b>480</b>	<b>110</b>	
<b>Amp</b>	<b>360 (1/fase)</b>	<b>400</b>	
<b>Conexión</b>	<b>Delta</b>	<b>Delta</b>	
<b>Fases</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	
<b>Hz</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	

En esta subestación, se cuenta con dos capacitores automáticos para la corrección del factor de potencia cada uno con las siguientes características:

- Capacitor automático
- Funciones de servicio
- Manual / automático
- Indicador digital
- Desconexión manual / automática
- Conexión manual / automática
- Programación

Al término del recorrido, del cual se hizo cargo el jefe de mantenimiento, Ingeniero Héctor Carrillo, pudimos constatar la fiabilidad del sistema para corregir el factor de potencia a través de capacitores estáticos y automáticos. Se nos mostró un recibo de la Cía de Luz y Fuerza en donde manifiesta que la empresa Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuito se encuentra trabajando con un factor de potencia de 0.91829, es decir un poco arriba del

mínimo que exige la CFE para evitar cargos en la lectura de la energía. Sin embargo, al estar trabajando con F.P. arriba de 0.9 la Cia suministradora de energía eléctrica se verá obligada a entregar la bonificación correspondiente de aplicar la fórmula establecida a la factura .

Sobre este decreto y porcentajes de bonificación hablamos en el capítulo 5. , así como también abordaremos un ejemplo práctico.

## **CAPITULO CINCO**

**ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA**

**CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA**

## **ESTUDIO TÉCNICO ECONOMICO.**

En este quinto capítulo mencionaremos las ventajas económicas que tienen elevar el bajo factor de potencia, basándonos en las multas vigentes, así como en las bonificaciones aplicadas por parte de la compañía de luz y fuerza, en listas de precios actuales (Septiembre / 95 ABB capacitores) para capacitores individuales en baja tensión, y documentaremos el acuerdo que establece el cambio de valor del factor de potencia de 0.85 a 0.90 permaneciendo este como ley.

### **5.1 ACUERDO ESTABLECIDO PARA EL NUEVO FACTOR DE POTENCIA**

**Domingo 10 de noviembre 1991**

El valor autorizado para el factor de potencia antes se encontraba igual a 0.85 de aprovechamiento, para el consumo de energía eléctrica. El 17 de octubre de 1991 el Ing. Guillermo Guerrero Villalobos, que fungiendo como Director General de la Comisión Federal de Electricidad y de representante legal de la empresa denominada: Compañía de Luz y Fuerza del Centro S.A. y sus asociados convino el incremento de las tarifas por consumo de energía eléctrica respaldando su propuesta en la ya no rentabilidad de producción de energía eléctrica de acuerdo con el pago, y pronosticando un crecimiento del 6% en la tasa de consumo esperado para 1990 a 1995, propone modificaciones para las tarifas de alta tensión (AT) y baja tensión (BT), para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico se modifica la disposición complementaria de tarifa relativa al factor de potencia, elevando el valor mínimo de 0.85 % actual a

90 % e introduciendo bonificaciones porcentuales para factores iguales o superiores a 0.9.

Este acuerdo fue publicado en el Diario Oficial con fecha domingo 10 de noviembre de 1991, hacemos una cita textual de lo expuesto en este documento.

#### **5.1.1. Factor de potencia**

**PRIMERO:** El usuario procurará mantener un factor de potencia (FP) tan aproximado a 100 % (cien por ciento) como le sea posible, pero en caso de que su factor de potencia durante cualquier período de facturación tenga un promedio menor de 90% (noventa por ciento) atrasado, determinado por métodos aprobados por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. El suministrador tendrá derecho a cobrar al usuario la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la fórmula que se señala.

**SEGUNDO:** En el caso de que el factor de potencia tenga un valor igual o superior de 90 % (noventa por ciento), el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación según la fórmula que también se señala.

**Fórmula de recargo:**

**Porcentaje de Recargo =  $3/5 \times ((90/FP) - 1) \times 100$  FP menor que 90 %**

**Fórmula de Bonificación:**

**Porcentaje de bonificación =  $1/4 \times (1 - (90 / FP) \times 100$  FP mayor o igual a 90 %**

**Donde FP es el Factor de Potencia expresado en por ciento.**

Los valores resultantes de la aplicación de estas fórmulas se redondearán a un solo decimal, por defecto o por exceso, según sea o no menor que 5 (cinco) el segundo decimal. En ningún caso se aplicarán de recargo superiores a 120% (ciento veinte por ciento), ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5 % (Dos punto cinco por ciento).

**TERCERO:** A los usuarios con un factor de potencia entre 85 % (ochenta y cinco por ciento) y 90 (noventa por ciento) se les concede un plazo de seis meses para adecuar sus instalaciones sin que se les apliquen los recargos a que se refiere el resolutivo. Décimo segundo de este acuerdo. Asimismo, para los usuarios con un factor de potencia inferior a 85 % (ochenta y cinco por ciento), los recargos a que se refiere dicho resolutivo, surtirán efecto a partir del 7o. (Séptimo) mes, en tanto, se les aplicará el procedimiento vigente hasta la fecha de entrada en vigor del presente Acuerdo.

**CUARTO:** El suministrador de servicio deberá someter a la aprobación de esta Secretaría, en un plazo no mayor de 90 (noventa) días a partir de la fecha de entrada en vigor del presente acuerdo, un procedimiento para el ajuste automático de las tarifas O-M, H-S y H-T por las fluctuaciones que ocurren en los precios de los combustibles.

Además en el mismo plazo deberá someter a la aprobación de esta Secretaría, tarifas especiales conforme a lo previsto en el segundo párrafo del artículo 31 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, para usuarios de tarifas H-S y H-T que cumplan los requisitos establecidos en el antepenúltimo párrafo de los considerados del presente Acuerdo y que así lo soliciten.

**QUINTO:** Desde la fecha de entrada en vigor de este acuerdo y en lo que se oponga al mismo, quedan derogadas las disposiciones administrativas en materia tarifaria expedidas con anterioridad.

### **5.1.3. Recargo y bonificación**

En el informe del Diario Oficial aparecen dos fórmulas, para ser aplicadas las lecturas obtenidas por los instrumentos de medición, una para hacer la bonificación y otra para el recargo.

La Comisión Federal de Electricidad con el paso del tiempo ha desarrollado dos tablas para realizar tales operaciones. Tabla 5.1. para bonificación y la tabla 5.2. para recargo.

0.90181 -0.001 0.90543	0.90544 -0.002 0.90808	0.90910 -0.003 0.91277	0.91278 -0.004 0.91640	0.91680 -0.005 0.92084
0.92025 -0.003 0.92402	0.92403 -0.007 0.92783	0.92784 -0.008 0.93167	0.93168 -0.009 0.93555	0.93556 -0.10 0.93945
0.93945 -0.011 0.94339	0.94340 -0.012 0.94735	0.94737 -0.013 0.95137	0.95138 -0.014 0.95541	0.95542 -0.015 0.95948
0.95949 -0.016 0.96359	0.96360 -0.017 0.96744	0.96775 -0.018 0.97182	0.97183 -0.019 0.97613	0.97614 -0.02 0.98048
0.98040 -0.021 0.98489	0.98489 -0.022 0.98901	0.98902 -0.023 0.99379	0.99388 -0.024 0.99778	0.99779 -0.025 1.00189

### Bonificación por factor de potencia mayor de 0.90.

#### tabla 5.1

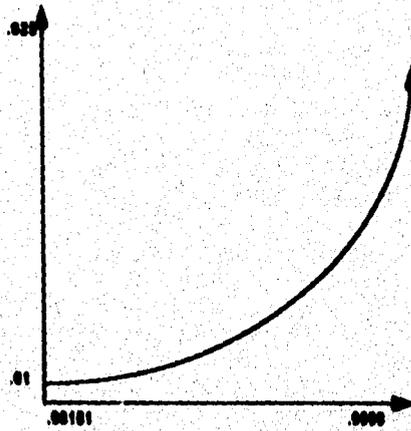
Un ejemplo hipotético para mostrar el proceso de bonificación y recargo sería el siguiente:

La lectura del factor de potencia facturado, fue de .83657= .80 y un costo de energía eléctrica consumida durante un mes de N\$ 245.30 a este .83657 le corresponde un recargo del .045 % que es igual 4.5 % de la cantidad que es igual a 11.0385, entonces la cuota a pagar en ese mes sería de N\$ 256.3385.



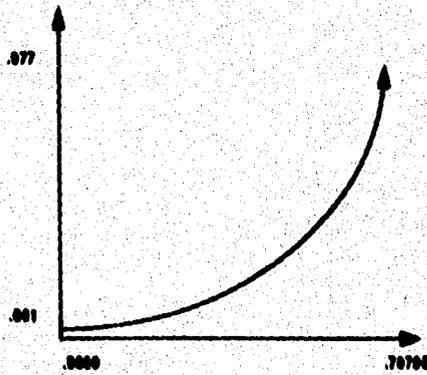






**Gráfica de bonificación para F.P. mayores a .50**  
 Donde se puede apreciar que la bonificación será de .01 si el f.p. es igual .50 e ira aumentando proporcionalmente asta alcanzar un 0.625 si el f.p. alcanza 0.00

Figura 6.3



**Gráfica de recargo para F.P. menores a .50**

Figura 6.4

## 5.2. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CAPACITORES

La empresa ABB capacitores nos proporcionó la siguiente lista de precios:

### LISTA DE CAPACITORES EN BAJA TENSION PARA CORRECCION DE FACTOR DE POTENCIA

<b>TIPO</b>	<b>POTENCIA (Kvar)</b>	<b>VOLTAJE (VOLTS)</b>	<b>PRECIO EN DOLARES</b>
CLMB 23-05	5	240	365
CLMB 23-07	7	240	370
CLMB 23-10	10	240	376
CLMB 43-15	15	240	562
CLMB 53-20	20	240	637
CLMB 53-25	25	240	752
CLMB 53-30	30	240	847
CLMB 63-40	40	240	1.126
CLMB 63-50	50	240	1.415
CLMB 63-60	60	240	1.528

<b>240 VOLTS</b>	<b>POTENCIA (Kvar)</b>	<b>PASOS</b>	<b>PRECIO EN DOLARES</b>
CLMB 25-240	25	5 X 5	7200
CLMB 50-240	50	5 X 10	8150
CLMB 75-240	75	5 X 15	9980
CLMB 100-240	100	5 X 20	11200
CLMB 125-240	125	5 X 25	14810
CLMB 150-240	150	5 X 30	15640
<b>480 VOLTS</b>			
CLMB 50-480	50	5 X 10	7120
CLMB 70-480	70	5 X 14	7740
CLMB 100-480	100	5 X 20	7890
CLMB 125-480	125	5 X 25	9560
CLMB 150-480	150	5 X 30	10430
CLMB 200-480	200	5 X 40	11723
CLMB 250-480	250	5 X 50	15640
CLMB 300-480	300	5 X 60	16640

Todos los modelos son bancos trifasicos para una frecuencia de 60 Hz .

Como podemos ver si necesitamos 40 Kvar para elevar el factor de potencia a 0,95 y el voltaje es de 240 Vca, necesitamos un capacitor tipo CLMB63-40 de un costo de 1126 dólares que equivalen a N\$ 7882 pesos, considerando el tipo de cambio a N\$ 7 (Precio actual en agosto del 95), si queremos que esta misma

empresa nos lo instale sería un promedio del 20 al 40% sobre el costo del capacitor o del banco de capacitores.

### **5.3. EJEMPLO PRÁCTICO**

Un ejemplo comparativo en lo que se refiere al costo y amortización del equipo para la corrección del factor de potencia, es el siguiente:

Supongamos que una de las subestaciones eléctricas con la que cuenta la Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuito tiene los siguientes datos :

- La subestación opera con un transformador trifásico de 1500 Kva, 440/254 V
- La subestación alimenta 3 tipos de cargas con el FP. de adelanto, de atraso y unitario.
  - La carga del sistema está dada por:
    - a) Lámparas incandescentes 80Kva; FP = 1
    - b) Motores de inducción 300 Kva; FP = -0.8
    - c) Motores síncronos 154 Kva; FP = 0.8
    - d) Lámparas fluorescentes 4Kva

La figura 5.5. nos muestra el diagrama unifilar de la subestación eléctrica.

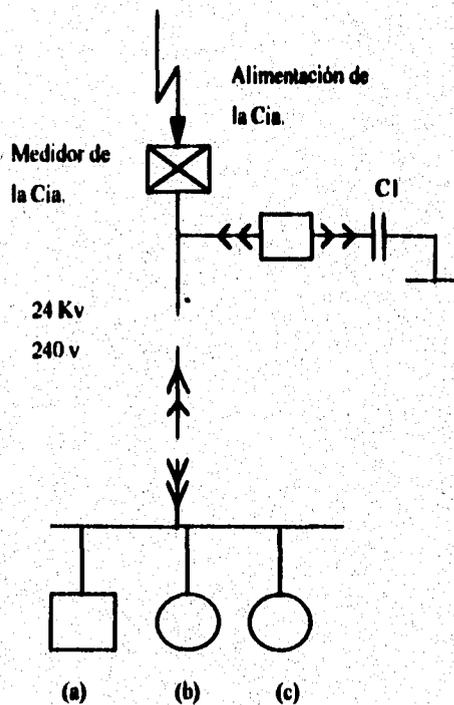


figura 5.5

**Solución:**

Debemos calcular primeramente el factor de potencia total de la subestación de la manera siguiente:

- Calculando  $K_w$  y  $K_{var}$  totales tenemos que :

$$K_w = K_{va} \times F.P$$

$$K_{var} = (K_{var}^2 - K_w^2)^{1/2}$$

Para:

a).  $-(80 \text{ Kva} \times 1) = 80 \text{ Kw}$

b).  $-(300 \text{ Kva} \times 0.8) = 240 \text{ Kw}$

c).  $-(150 \text{ Kva} \times 0.8) = 120 \text{ Kw}$

d).  $-(4 \text{ Kva} \times 0.5) = 2 \text{ Kw}$

Por lo tanto :

Los Kw totales que la subestación deberá suministrar son:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_t = (80 + 240 + 120 + 2) \text{ Kw}$$

$$P_t = 442 \text{ Kw}$$

Para calcular los Kvar tenemos que :

a). - 0 Kvar por ser una carga resistiva

b).  $\text{Kvar} = (300^2 - 240^2)^{1/2} = (32400)^{1/2}$

$$\text{Kvar} = 180 \text{ Kvar}$$

c).  $\text{Kvar} = (150^2 - 120^2)^{1/2} = (8100)^{1/2}$

$$\text{Kvar} = 90 \text{ Kvar}$$

d).  $\text{Kvar} = (4^2 - 2^2)^{1/2} = (12)^{1/2}$

$$\text{Kvar} = 3.46 \text{ Kvar}$$

Por lo tanto:

$$Q_t = (0 + 180 + 90 + 3.46)$$

$$Q_t = 93.46 \text{ Kvar}$$

**Calculando los Kvar totales tenemos que :**

$$\text{Kva} = (\text{Kw}^2 + \text{Kvar}^2)^{1/2}$$

**Entonces:**

$$\text{S total} = (442^2 + 93.46^2)^{1/2} = (204,098)^{1/2}$$

$$\text{S total} = 451.77 \text{ Kva}$$

**Ahora calculando el F.P. total de la subestación:**

$$\text{F.P.} = \text{Kw}/\text{Kva}$$

**Por lo tanto:**

$$442 \text{ Kw} / 451.77 \text{ Kva}$$

$$\text{F.P.} = 0.978$$

## CONCLUSIONES

Como es sabido, en grandes ciudades como la de México en donde el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial se han incrementado considerablemente durante las últimas décadas es fácil suponer que se genere toda una serie de problemas y se incrementen los ya existentes. Consecuencias como: La degradación y escases de los recursos naturales, contaminación del medio ambiente, consumo excesivo de energía y muchos más, son por el efecto que produce al gunos de los más importantes problemas a solucionar o mejor dicho a tratar de evitar que sigan creciendo.

Si es necesario e incluso hasta obligatorio que todos los usuarios de la energía eléctrica, tengamos de que menos una idea de lo importante que es ahorrar la electricidad y los beneficios que se obtiene al hacerlo, así como también es justificable realizar un cargo adicional considerable por el mal uso de la energía eléctrica.

Como pudimos damos cuenta en el capítulo cinco de este trabajo, la adquisición de equipo suministrador de corriente reactiva para compensar las pérdidas puede amortizarse en poco tiempo y si traer bastantes beneficios. Además de que ya estamos ahorrando energía.

## BIBLIOGRAFIA

**ABB equipos y sistemas, Catálogo :**  
**corrección del factor de potencia con capacitores**  
México., 1995

**CEACC de electricidad :**  
**el factor de potencia**  
Edit. CEACC, México., 1975

**CUTLER HAMER :**  
**Catálogo general 95**  
México., 1995

**Diario Oficial :**  
**domingo 10 de noviembre de 1991**  
p.p 20 - 26

**Enriquez Harper :**  
**el abc de las instalaciones eléctricas**  
Edit. Limusa, México., 1994

**Harry Mileaf :**  
**serie 1-7 electricidad**  
Edit. Limusa, México., 1993

**Irwin Lazar :**  
**análisis y diseño de sistemas eléctricos para plantas**  
Edit. Mac Graw Hill, México., 1993

**Manual de soldadoras eléctricas**  
Edit. Mac Graw Hill, México., 1980

**Navarro Crespo Alfredo :**  
**capacitores de potencia**  
Edit. Balmec, S.A., México., 1992

**Osram conceptos de iluminación**  
Edit. Osram, México., 1994

**Reguladores automáticos S. A. :**  
**aplicación de los capacitores para la corrección del factor de potencia**  
Edit. R. A., México., 1989

**Stephen J. Chapman :**  
**máquinas eléctricas**  
**Edit. Mac Graw Hill, México, 1992**

**Westinghouse :**  
**manual de alumbrado**  
**México, 1994**