



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGÓN"**

**"ANÁLISIS DE MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DEL FACTOR  
DE POTENCIA PARA UN SISTEMA ELÉCTRICO  
(APLICADO A LA EMPRESA YASBEK)"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A N :  
**BADILLO CORTÉS ERNESTO**  
**CAZARES CORTÉS RICARDO**

**ASESOR:  
ING. ABEL VERDE CRUZ**

**SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO,**

**OCTUBRE DE 2004**



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.

*A todos y cada uno de los profesores que  
formaron parte de nuestra formación  
académica, gracias*

*Gracias a nuestro asesor y amigo Ing. Abel  
Verde Cruz  
por su apoyo y tiempo brindado a la  
conducción de esta tesis*

*A mi Padre: Abelardo Cazares Aldama por inculcarme y darme los mejores ejemplos durante mi existir para tratar de hacer de mí una buena persona.*

*A mi Madre: Esther Cortés Amezcua por llenarme de fuerzas para llegar hasta este día y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.*

*A mis hermanos:*

*Javier: Por ser el centro de energía del cual brotan las fuerzas y el amor para esta familia.*

*Abelardo: por estar siempre en los momentos difíciles conmigo y apoyarme y guiarme para alcanzar mis metas*

*A Norma que es parte de mí pensar y sentir a cada momento.*

*A Dios por haberme permitido ser parte de este universo, y colocarme dentro de esta familia*

*A mis amigos:*

*David Sigala Torres*

*Alejandro Cruz Rosas*

*Rodrigo Anzures Galván*

*Octavio O. Olivero Magariño*

*Castellanos Rosas Oscar A.*

*Flores Mejía Alfredo*

*Efraín Vega Llanos*

*Manuel Alfaro que desde donde te encuentres estarás siempre con nosotros*

*.....gracias por su apoyo y cooperación.*

DOY GRACIAS :

A DIOS POR TODO LO BUENO Y LO MALO

A MIS PADRES ERNESTO BADILLO DELGADO Y MA. ADELA  
CORTES HERNANDEZ POR SU APOYO, COMPRENSION Y  
PACIENCIA.

A MIS HERMANAS SOFIA, SOCORRO Y CONSUELO POR SU  
AYUDA DESINTERESADA.

A MIS AMIGOS RICARDO, OSCAR, OCTAVIO, EFRAIN,  
GUILLERMO, MARCOS, SAULO, HORACIO, MIGUEL LUIS Y  
TANTOS MAS SIN LOS CUALES LA HISTORIA SERIA  
DIFERENTE.

A LOS PROFESORES QUE TUVE LA OCASION DE CONOCER Y  
DE SER SU ALUMNO.

FINALMENTE A TODOS MIS AMIGOS Y FAMILIARES,  
ALGUNOS DE ELLOS YA NO ESTAN ENTRE NOSOTROS, PERO  
SIEMPRE ME ALENTARON A SEGUIR ADELANTE, SUS  
NOMBRES NO APARECEN AQUI PERO TODOS ELLOS Y ELLAS  
A DIARIO LOS TENGO PRESENTES.

## OBJETIVOS:

Esta investigación tiene como fin informar al interesado de la importancia que tiene aprovechar de manera eficaz la energía eléctrica y mantener un F. P. casi unitario, para de este modo evitar posibles pagos innecesarios a las industrias y usuarios en general. Es por eso que una de las partes más relevantes de este escrito es mostrarle a las industrias la conveniencia que tiene para ellos la implementación de bancos de capacitores para:

- Alargar la vida útil de sus equipos e instalaciones
- Lograr una bonificación por buen F.P y con esto reducir sus pagos por consumo

Después de estudiar el presente escrito se podrá entender mejor la operación de dispositivos como lo son los transformadores, motores de inducción, lámparas y maquinas de soldar así mismo como la mejor utilización de la energía eléctrica utilizando bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia.

Hay que tomar en cuenta que existen otros procesos industriales donde también se usa la energía eléctrica como por ejemplo las cribas electrolíticas, pero debido a que su consumo es en CD su estudio esta fuera de este trabajo.

El presente trabajo esta orientado a ayudar a toda aquella persona que se dedique al mejoramiento del factor de potencia para que lo utilice como una guía en sus diseños e implementación de dispositivos de corrección.

## INTRODUCCION.

La energía eléctrica es parte fundamental del desarrollo de cualquier país. Debido a esto es fundamental aprovechar los recursos naturales con los que cuenta México para la producción de esta. A si mismo es necesario que los usuarios trabajen con un factor de potencia mínimo de 0.9 que es el establecido por la comisión federal de electricidad y al cual se le hace mención en el Diario Oficial de la Federación.

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de electricidad, tiene otras implicaciones de igual o mayor significación, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

La explicación de factor de potencia, los efectos que se presentan cuando su valor es reducido, y los métodos para corregirlo, no son temas nuevos. Desde hace muchos años han sido tratados en innumerables artículos, libros y revistas especializadas. Sin embargo el factor de potencia es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos cuya actividad se relaciona con el diseño, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, particularmente de plantas industriales, por lo que la revisión periódica de los conceptos no solo es conveniente sino necesaria.

La corriente requerida por los motores de inducción, lámparas fluorescentes, transformadores y otras cargas inductivas, puede considerarse constituida por corriente magnetizante y por corriente de trabajo.

La corriente de trabajo es aquella que es convertida por el equipo en trabajo útil, por ejemplo hacer girar un torno, efectuar soldaduras o bombear agua. La unidad de medida de la potencia producida es el kilowatt (kW).

La corriente magnetizante (reactiva o no productora de trabajo) es la necesaria para producir el flujo para la operación de los dispositivos de inducción. Sin corriente magnetizante, la energía no puede fluir a través del núcleo del transformador o a través del entrehierro de los motores de inducción. La unidad de medición de esta "potencia magnetizante" es el kilovar (kVAR).

Tener un bajo factor de potencia, representa un dispendio de energía tanto para los usuarios como para la comisión federal de electricidad. Es por ello que a continuación explicamos los inconvenientes y el motivo por el que se realiza un pago adicional en la facturación eléctrica.

La corriente que demanda su instalación de la red del servicio público, será mayor entre más bajo sea su factor de potencia. Esto puede ocasionar que sus transformadores, cables y otros equipos de distribución se sobrecarguen, con un incremento tanto de las pérdidas por calentamiento como de las caídas de tensión; además, de requerirse invertir en nuevos equipos, si la corriente rebasa el límite de los existentes.

Hay que considerar que para poder suministrar la corriente en exceso debida al bajo factor de potencia, la CFE requiere de una mayor capacidad instalada en

sus equipos de generación, transformación, transmisión y distribución de energía eléctrica, con el consiguiente incremento en las inversiones destinadas al desarrollo de la infraestructura eléctrica y en los costos de operación, lo cual se traduce en el cargo que por bajo factor de potencia se aplica en su recibo de consumo de energía eléctrica.

Por lo tanto, para mejorar las condiciones de operación de sus equipos y la calidad y continuidad del servicio eléctrico, le recomendamos mantener el factor de potencia de su instalación a no menos del 90 % y tan cercano al 100 % como sea posible. con esto, en el primero de los casos, evitará el cargo correspondiente, y en el segundo, podrá obtener una bonificación, tal y como está previsto en el punto número cuatro, de las disposiciones complementarias de las tarifas generales en vigor y que se transcribe a continuación:

*"el usuario procurará mantener un factor de potencia (fp) tan aproximado a 100 % (cien por ciento) como lo sea posible, pero en el caso de que su factor de potencia durante cualquier periodo de facturación tenga un promedio menor de 90 % (noventa por ciento) atrasado, determinado por métodos aprobados por la secretaría de comercio y fomento industrial (SECOFI), 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. 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":*

Este trabajo de tesis consta de cuatro capítulos; en el primero se hace mención de los conocimientos básicos con respecto a la energía eléctrica así mismo como su diferente comportamiento en diversos tipos de circuitos eléctricos.

En el segundo se define de un manera detallada el significado del Factor de Potencia, así mismo como las ventajas de tenerlo por arriba de 0.9 y las desventajas de contar con un valor por debajo del mencionado, también la manera en que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LFC) controlan sus cargos de penalización y/o bonificación dependiendo del caso y los métodos de corrección para un bajo factor de potencia entre los que se mencionan el uso de bancos de capacitores estáticos, automáticos y máquinas síncronas.

En tercer capítulo se describe el funcionamiento y modo en que afectan diversos dispositivos el factor de potencia. El motor de inducción, el transformador, lámparas, soldadoras de arco, entre otras.

En el cuarto capítulo se hace referencia a varios tipos de medición del factor de potencia cuya variación uno con otro es el tipo de dispositivos utilizados en la mediciones, (wattmetros, wathometros, voltmetros, amperímetros) así mismo como el estudio de mediciones de bajo factor de potencia de una industria y el modo de corrección para este caso en específico con bancos de capacitores automáticos.

El método más práctico para mejorar (corregir) el factor de potencia, es instalando capacitores o condensadores, en donde la corriente del condensador se encargará de suministrar la corriente magnetizante requerida por la carga. El efecto de los condensadores es opuesto al de las cargas inductivas, debido a esto la cantidad neta de potencia reactiva se reduce y por consecuencia se aumenta el factor de potencia.

Se emplean tablas y gráficas para facilitar la determinación de la capacidad de los condensadores necesarios para corregir el factor de potencia.

## INDICE:

Objetivos	iv
Introducción	v
Indice	viii
Capitulo 1 Generalidades de la energía eléctrica	
1.1 Corriente alterna	1
1.2 El Circuito resistivo	7
1.3 El circuito capacitivo	12
1.4 El circuito inductivo	16
1.5 El circuito resistivo capacitivo	21
1.6 El circuito resistivo inductivo	26
1.7 El circuito inductivo-capacitivo	34
1.8 Potencia eléctrica	42
Capitulo 2 El Factor de Potencia	
2.1 Definición	52
2.2 Ventajas y desventajas de tener un bajo F.P.	54
2.3 Tarifas eléctricas	56
2.4 Métodos de corrección para el bajo F.P.	62
2.5 Tipos de capacitores	66
2.6 Tipos de conexión	69
2.7 Tipos de compensación	70
2.8 Instalación y operación de condensadores	78
Capitulo 3 Equipos que alteran el F.P.	
3.1 Equipos relacionados con un bajo factor de potencia	85
3.2 Motores de inducción	86
3.3 Lámparas	94
3.4 Transformadores de potencia	99
3.5 Soldadora por arco eléctrico	108
Capitulo 4 Métodos de medición y corrección del factor de potencia en un Sistema eléctrico	
4.1 Medición con datos del recibo	118
4.2 Medición de Potencia Trifásica con dos wattmetros	120

4.3 Medición de potencia y Factor de Potencia con Amperímetro	126
4.4 Medición de Potencia y Factor de Potencia con Voltmetro	127
4.5 Ejemplos de corrección del Factor de Potencia	128
4.6 Calculo de Justificación Económica	147
Conclusiones	151
Glosario	152
Apendice	153
Bibliografia	163
Plano	165



PARAMETROS:

INTENSIDAD, AMPERAJE O CORRIENTE (I): Es la cantidad de electrones que circula por un conductor en unidad de tiempo, la unidad para medir intensidades es el ampere o amperio.

AMPERIO O AMPERE (A): Es el paso de un coulomb ( $=6.28 \times 10^{18}$  electrones) en un segundo, a través de un conductor.

Múltiplos:            kiloampere (KA) = 1 000 amperes  
                           Megampere (MA) = 1 000 000 de amperes

Submúltiplos:      miliampere (mA) = 0.001 ampere  
                           microampere ( $\mu$ A) = 0.000 001 ampere

TENSION, VOLTAJE O FUERZA ELECTROMOTRIZ (V): Es la diferencia de potencial existente entre dos cargas, la unidad para medir tensiones eléctricas es el voltio.

VOLTIO O VOLT (V): Es la diferencia de potencial que causa el paso de un coulomb para producir un joule de trabajo. En otros términos, volt es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un circuito, por el cual circula una corriente de un ampere, cuando la potencia desarrollada entre estos dos puntos es de un watt.

Múltiplos:            kilovolt (KV) = 1 000 volts  
                           Megavolt (MV) = 1 000 000 de volts

Submúltiplos:      milivolt (mV) = 0.001 volt  
                           microvolt ( $\mu$ V) = 0.000 001 volt

CICLO: variación completa de la tensión y/o corriente de 0 a un valor máximo positivo y luego a 0, de éste a un valor máximo negativo y finalmente a 0.

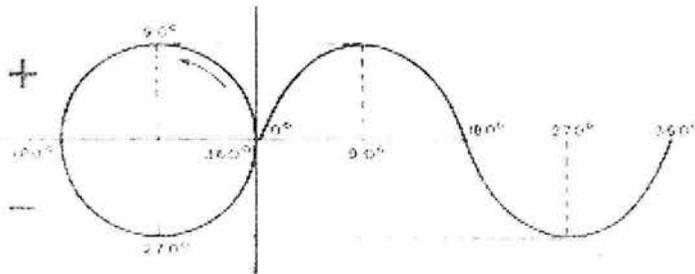


Fig.1.2. Representación vectorial y senoidal de la corriente alterna.

FRECUENCIA: Numero de ciclos que se producen en un segundo. Su unidad es el Hertz o hercio (Hz), que equivale a un ciclo por segundo. Se representa por la letra *f*.

**PERIODO:** Tiempo necesario para que un ciclo se repita. Se mide en segundos y se representa con la letra  $T$ . Se puede obtener con el valor inverso de  $f$ .

**LONGITUD DE ONDA:** Distancia (en línea recta) que puede recorrer la corriente en el tiempo que dura un ciclo completo. Es igual a la velocidad de la corriente entre la frecuencia.

$$\lambda = \frac{300000 \text{ km/seg}}{f}$$

**FASE:** Es la relación de tiempo entre voltajes y/o corrientes alternas, independientemente de sus magnitudes. En una representación vectorial o cartesiana se puede considerar como fase cada una de las posiciones que va ocupando un punto determinado a lo largo de su trayectoria circular o senoidal. Estas variaciones se dan en grados, por lo cual se denominan ángulos de fase.

#### VALORES FUNDAMENTALES

**VALOR INSTANTANEO:** Es el valor que tiene el voltaje y/o corriente en un instante determinado. De allí que una onda tiene infinito número de valores instantáneos.

**VALOR MÁXIMO O PICO:** Este valor es importante por:

\*Seguridad: debe tenerse presente que el valor máximo de voltaje en corriente alterna, aún cuando sólo se produce dos veces por cada ciclo, es mayor que el voltaje considerado comúnmente. Por ejemplo el valor pico para un voltaje de 208 V, es 294 V, mucho más alto y por consiguiente más peligroso que los 208 V.

\*Aislamiento: Al considerar al aislamiento de un conductor, se debe tener en cuenta el valor máximo del voltaje, ya que en realidad soportará voltajes más altos (aún cuando esto suceda solo en ciertos momentos), en un circuito con corriente alterna que otro equivalente con corriente continua, y que podría perforar el material aislante.

**VALOR MEDIO:** Es el promedio de todos los valores instantáneos de medio ciclo. Es igual a 0.637 del valor máximo.

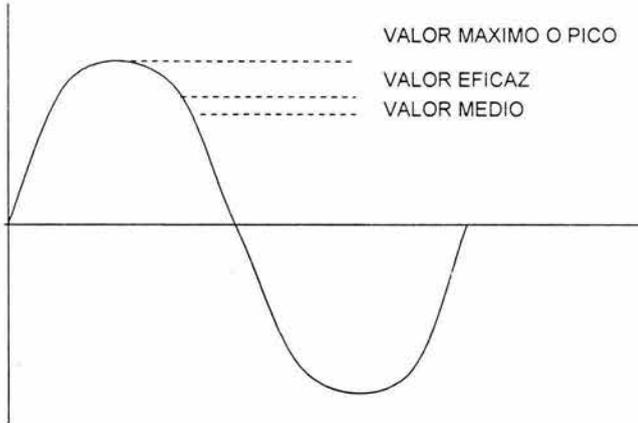
Ejemplo: el valor medio para un voltaje pico de 294 V será:  
 $(294 \text{ V}) (0.637) = 187.27 \text{ V}$

**VALOR EFICAZ O CUADRÁTICO MEDIO (rmc):** El valor eficaz de un voltaje o corriente alterna es el que, en un circuito puramente resistivo, produce la misma cantidad de calor que la producida por una corriente continua del mismo valor. Por ejemplo una corriente alterna, cuyo valor eficaz es 1 ampere generará el mismo calor, en una resistencia de 10 ohms, que el generado por una corriente continua de 1 ampere.

El valor eficaz es igual a la raíz cuadrada del valor medio de la suma de los cuadrados de los valores instantáneos de corriente o voltaje durante medio ciclo.

En función del valor pico, el valor eficaz es 0.707 del valor pico; o bien podemos obtener el valor eficaz dividiendo el valor pico por 1.4142.

Este es el valor mas importante, ya que cuando se habla ordinariamente de ciertos valores de voltaje o corriente, se está haciendo referencia al valor eficaz. Así cuando se habla de 120, 150, 208, 260, 380 ó 440 V (voltajes mas usados en nuestro medio, y a nivel comercial 127 y 220 V) se hace referencia exclusivamente a los valores eficaces.



*Fig.1.2. Valores fundamentales*

#### GENERACION DE UN VOLTAJE ALTERNO.

Las formas geométricas de las ondas, en particular la rectangular y la triangular, se usan con objeto de ilustrar ciertos principios. Pero sencillas como parecen, estas ondas, el empleo de cualquiera de ellas como norma, complicaría las matemáticas de las corrientes alternas. En todo caso, esas ondas no se encuentran a menudo en la práctica; ninguna de ellas está de acuerdo con nuestra idea de una onda, ya que tendemos a mirarla como una curva continua.

Pero aun las curvas continuas pueden contener diferentes formas, por lo que es necesario escoger una onda que obedezca alguna ley matemática. La norma que se usa se basa en una de las funciones trigonométricas sencillas de un ángulo, a saber, el seno. La curva senoide (o senoidal) es la gráfica del seno de un ángulo trazada en función del ángulo; cualquier onda de esta forma se llama senoidal y, también senoide.

La curva senoidal tiene numerosas aplicaciones. Por ejemplo, muchos sistemas mecánicos oscilatorios —un resorte cargado, un diapasón, un péndulo— donde el movimiento es "armónico simple", esto es, donde el desplazamiento, cuando se traza tomando el tiempo como base, da como resultado una curva senoidal.

## LA CURVA SENOIDAL

Cualquier libro de tablas matemáticas incluye los valores de los senos naturales para ángulos hasta de  $90^\circ$ ; estos valores pueden emplearse para trazar la curva. En ausencia de tablas puede dibujarse una curva aproximada si se memorizan los siguientes valores:

Sen  $0^\circ = 0$ , sen  $30^\circ = 0.5$ , sen  $60^\circ = 0.866$  y sen  $90^\circ = 1$ .

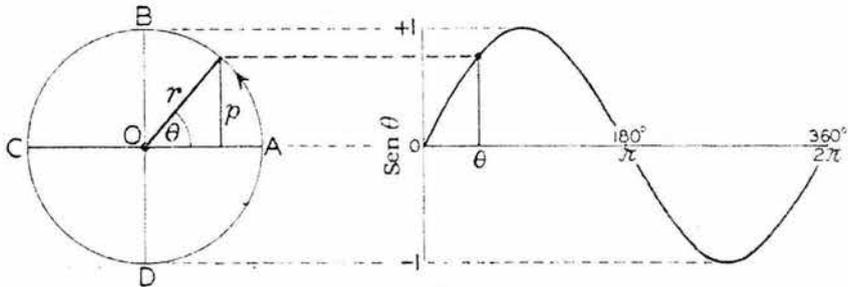


Fig. 1.3. Generación de un voltaje senoidal.

El radio  $r$  del círculo  $ABCD$  se considera que empieza su movimiento en la posición  $OA$  y que está girando en sentido contrario al de las manecillas del reloj. En la posición representada ya se ha movido un ángulo  $\theta$  y el seno de  $\theta$  se define como la relación entre la perpendicular  $p$  y el radio  $r$ . Ahora, si  $r$  se toma como la unidad,  $p$  queda numéricamente igual al seno, y puede ser proyectado para obtener un punto en la curva, como se indica en la fig.1.3. Otros puntos pueden obtenerse de modo semejante.

El ángulo  $\theta$  no se mide necesariamente en grados; como una alternativa, la línea de base puede medirse en medidas circulares, o radianes, como se indica, siendo  $2\pi$  radianes correspondientes a  $360^\circ$ , o sea  $1 \text{ radian} = 57.3^\circ$ . El uso de medir los ángulos en radianes tiene la ventaja de que simplifica muchas fórmulas de c.a.

## Generación de una fem senoidal:

En principio es sencillo producir una fem (fuerza electromotriz) que siga la ley de los senos; todo lo que se necesita es hacer girar una vuelta, o cuadro de alambre, o una bobina, a velocidad constante en un campo magnético uniforme, aunque, existen dificultades en la aplicación de este principio a los alternadores prácticos.

Por sencillez sólo se ha presentado un único conductor en la fig.1.4. moviéndose el ángulo  $\theta$  desde  $A$  y cortando oblicuamente el flujo cuando ha descrito este ángulo.

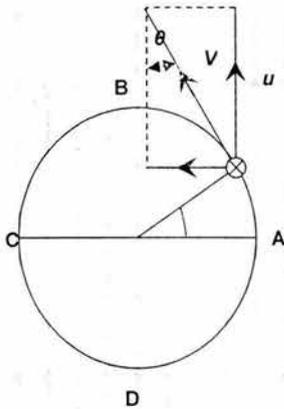


Fig. 1.4. Conductor único cortando oblicuamente el flujo

Por medio del paralelogramo de velocidades, la velocidad tangencial  $V$  puede resolverse en dos componentes. Uno de estos,  $v$ , es perpendicular al campo y el otro,  $u$ , es paralelo a él. Este último determina la rapidez con que se corta el flujo y por tanto el valor de la fem instantánea generada.

La expresión para el voltaje generado en un conductor de  $l$  metros de largo, cuando se mueve a la velocidad de  $v$  metros por segundo, perpendicular a un campo cuya densidad de flujo magnético es de  $B$  teslas; esta expresión puede expresarse en el caso presente para encontrar el voltaje instantáneo:

$$e = B l v$$

Por trigonometría:

$$v = V \text{ sen } \theta$$

Por lo que:

$$e = B l V \text{ sen } \theta$$

En esta expresión  $B l V$  representa el voltaje máximo,  $E_m$ , que tiene lugar en la posición de cuadratura B, donde el conductor se mueve perpendicularmente al campo;

$$e = E_m \text{ sen } \theta$$

Esta ecuación básica para un voltaje, independientemente de la manera como se haya generado; puede emplearse también para otras magnitudes senoidales, como la corriente, sustituyendo los símbolos apropiados.

**FRECUENCIA ANGULAR.** El conductor de la fig.1.4. hace  $f$  revoluciones por segundo, donde  $f$  es la frecuencia y, puesto que hay  $360^\circ$  en cada revolución, su velocidad angular en grados por segundo será  $360f$ . El valor de  $\theta$  en grados vale entonces  $360ft$ , donde  $t$  es el tiempo en segundos transcurrido desde el principio del movimiento en A.

Si  $\theta$  se mide en radianes, y no en grados, su valor será  $2\pi ft$ , donde  $2\pi f$  es la velocidad angular del conductor en radianes por segundo. La cantidad  $2\pi f$  aparece frecuentemente en las formulas de corriente alterna basadas en magnitudes senoidales: se le ha dado nombre especial de frecuencia angular y se simboliza con la letra  $\omega$  (la letra minúscula griega "omega") la ecuación fundamental podrá entonces escribirse:

$$e = E_m \text{ sen } \omega t$$

## 1.2 EL CIRCUITO RESISTIVO.

**CIRCUITOS ELECTRICOS.** Un circuito eléctrico es el recorrido completo que realiza la corriente, desde que sale de la fuente hasta que retorna a ella, pasando por una o mas cargas (dispositivos donde la energía eléctrica se transforma en otras forma de energía) a través de unos conductores. Como se muestra en la figura 1.5.

En consecuencia, todo circuito eléctrico debe estar compuesto necesariamente por:

- a. fuente de energía
- b. conductores de conexión
- c. carga

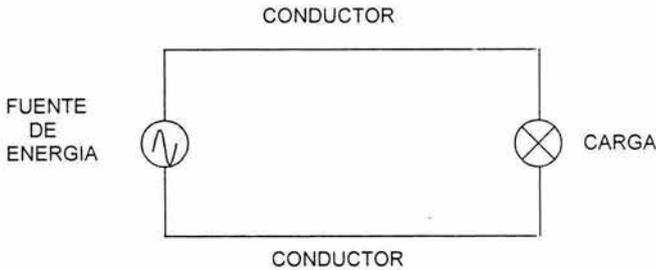


fig. 1.5. Circuito eléctrico.

**CIRCUITO ABIERTO.** Circuito que se encuentra interrumpido en algún punto del mismo. Se tiene energía, pero no hay flujo de corriente eléctrica. Esto se observa en la figura 1.6.

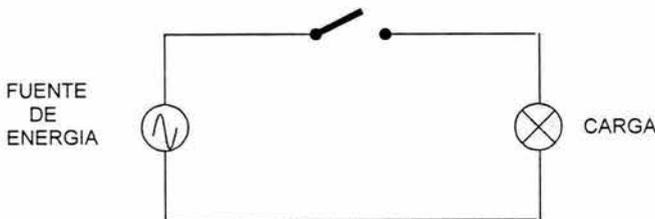


Fig. 1.6. Circuito abierto

**CIRCUITO CERRADO.** Circuito sin interrupción alguna. Se tiene energía y flujo de corriente eléctrica. Esto se observa en la figura 1.7.

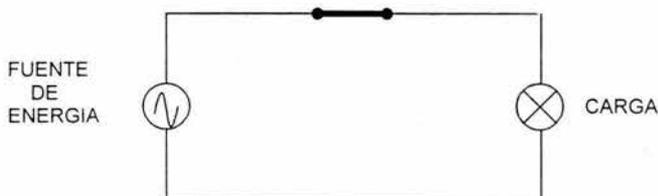


Fig.1.7. Circuito cerrado

## RESISTENCIA

**LA RESISTENCIA.** Es la oposición o dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente.

La unidad para medir esta magnitud es el ohmio u ohm.

Ohmio u ohm ( $\Omega$ ): Es la resistencia que ofrece una columna de mercurio de 106.3 cm. de longitud y  $1 \text{ mm}^2$  de sección al paso de la corriente.

Múltiplos:      kilohm (K $\Omega$ ) = 1 000 ohms  
                      megaohm (M $\Omega$ ) = 1 000 000 de ohms

Submúltiplos: Tienen muy poca utilización ya que un ohm es de por sí una unidad muy pequeña.

El instrumento que se emplea para medir esta magnitud es el ohmetro. Al usar este instrumento el circuito no debe tener voltaje alguno, y debe conectarse en paralelo con el elemento que se desea medir. Es muy común el uso del ohmetro para medir continuidad, es decir, para ver si el circuito está o no interrumpido.

El instrumento para medir grandes resistencias, aislamiento de los conductores y fugas a tierra se denomina MEGGER.

## FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UN CONDUCTOR

- La longitud ( $\ell$ ): a mayor longitud corresponde una mayor resistencia.
- La sección (S): a mayor sección se tiene menor resistencia. Para determinar la sección se emplea comúnmente el término calibre.
- Coefficiente de resistividad ( $\rho$ ): es la resistencia específica que ofrece un material y que depende de su estructura física o naturaleza. Su valor se da en ohms por metro por milímetro cuadrado de sección ( $\Omega \cdot \text{m}$ ). Este valor para el cobre es  $0.0172 \Omega \cdot \text{m}$  y para el aluminio es  $0.028 \Omega \cdot \text{m}$ .

Estos tres factores se expresan matemáticamente así:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

- d) La temperatura: Normalmente con el aumento de la temperatura aumenta la resistencia, pero se dan materiales en los cuales con el aumento de temperatura disminuye la resistencia. Este comportamiento variable da origen a las termo resistencias o termistores.
- Resistencias NTC (coeficiente negativo de temperatura): son elementos en los que su resistencia baja rápidamente al aumentar la temperatura. Se fabrican partiendo de óxidos semiconductores de algunos metales como Cr, Mn, Fe, etc.
  - Resistencias PTC (coeficiente positivo de temperatura): son elementos con un coeficiente de temperatura muy positivo, dentro de un margen de temperatura determinado, fuera del cual el coeficiente puede ser cero o inclusive negativo. En general al aumentar la temperatura aumenta la resistencia. Se fabrican con mezclas de titanatos de bario y estroncio.

#### OTROS FACTORES DE LOS CUALES DEPENDE LA RESISTENCIA DE UN CONDUCTOR.

- a) Resistencias dependientes de la iluminación (luz):  
Se denominan fotorresistencias aquellos elementos cuya resistencia varía al cambiar las condiciones luminosas del ambiente. El valor de la resistencia disminuye a medida que aumenta la luz.
- b) Resistencias dependientes de la tensión (mecánica) o VDR:  
Son elementos en los cuales el valor de la resistencia disminuye al aumentar la tensión aplicada. Se fabrican a base de carburo de silicio.

#### LEY DE OHM

Se refiere a la relación existente entre las tres magnitudes fundamentales que descubrió el Dr. George Simon Ohm. En 1827, después de un periodo experimental publicó la relación matemática entre los valores de corriente, voltaje y resistencia de un circuito eléctrico conocido ahora como ley de ohm.

“La intensidad es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia”

Matemáticamente se expresa:  $I = \frac{V}{R}$

De la cual se deducen las siguientes ecuaciones:

$$V = IR \quad \text{ó} \quad R = \frac{V}{I}$$

Estas fórmulas se usan en circuitos con corriente continua y en circuitos con corriente alterna puramente resistivos.

Mas adelante se verá como se usan en circuitos con otros elementos en corriente alterna.

## CONDUCTIVIDAD

Ocasionalmente se usa la recíproca como una medida de la capacidad de un material para conducir electricidad; esta magnitud se llama conductividad y se simboliza con la letra griega  $\sigma$  (sigma). Por ejemplo, la conductividad del cobre es:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1 \times 10^8}{1.724} = 58 \times 10^6 \text{ siemens/metro}$$

La conductividad puede emplearse para determinar la resistencia de un conductor; en este caso la ecuación de la resistencia se escribe de la siguiente forma:

$$R = \frac{L}{\sigma S}$$

Como la conductancia de un alambre es proporcional al área de su sección transversal e inversamente proporcional a su longitud, la conductancia puede determinarse a partir de la conductividad y de las dimensiones del conductor:

$$G = \frac{\sigma S}{L}$$

La conductividad es poco usada en cálculos de circuitos, algunas veces es importante, por analogía, en los circuitos magnéticos.

## CIRCUITOS PURAMENTE RESISTIVOS

Circuitos en los cuales las cargas eléctricas están constituidas exclusivamente por resistencias.

**CIRCUITO SERIE.** Circuito en el cual la corriente tiene un solo recorrido. Se puede calcular  $I$ ,  $R$  y  $V$  con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I_3 = \dots = I_n \\ V_t &= V_1 + V_2 + \dots + V_n \\ R_t &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \end{aligned}$$

Lo anterior se muestra en la figura 1.8.a. Una aplicación importante de la resistencia en serie, ocurre cuando se inserta un resistor para limitar la corriente del circuito a un valor particular. Si también se quiere variar esta corriente, como por ejemplo, en el amortiguamiento de la luz de las lámparas eléctricas, el resistor mismo debe ser variable; este aparato se llama entonces un reóstato o un resistor variable.

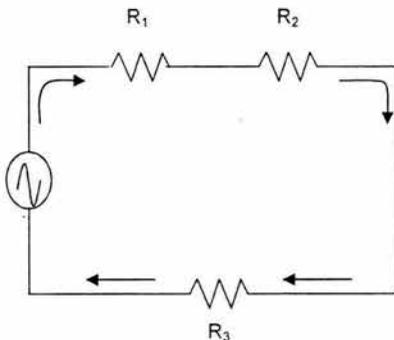


Fig.1.8.a. Circuito serie

CIRCUITO PARALELO. Circuito en el cual la corriente tiene posibilidad de varios recorridos. Cálculo de  $I$ ,  $R$  y  $V$

$$I_t = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V_t = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Lo anterior se muestra en la figura 1.8.b.

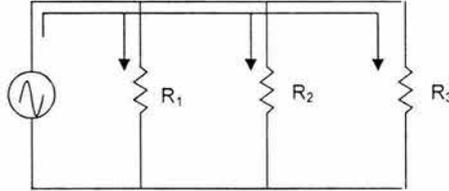


fig.1.8.b. Circuito paralelo

Cuando en un circuito paralelo se tienen solamente dos resistencias diferentes, se puede emplear la siguiente ecuación.

$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

CIRCUITO SERIE-PARALELO ó MIXTO. Circuito en el cual la corriente tiene en parte un solo recorrido, y en parte posibilidad de varios recorridos.

El cálculo de  $I$ ,  $R$  y  $V$ ; para calcular estas tres magnitudes, debe reducirse previamente circuito mixto a uno que sea solamente serie o solamente paralelo. Lo anterior se muestra en la figura 1.9.

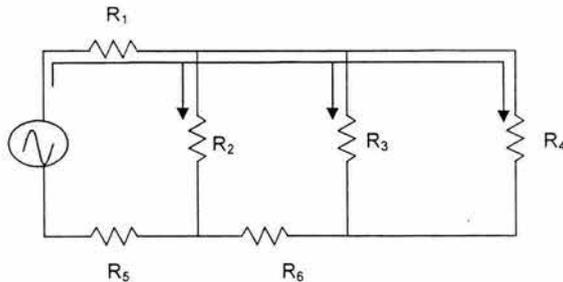


Fig.1.9. Circuito mixto

- En todos estos circuitos los valores de  $I$  y  $V$  se consideran por sus valores eficaces.
- La ley de ohm tiene completa y total aplicación, exactamente como si se tratara de circuitos con corriente continua.

### 1.3 EL CIRCUITO CAPACITIVO

#### EL CAMPO ELECTRICO

Un cuerpo cargado ejerce fuerzas sobre otras cargas eléctricas vecinas y puede considerarse, por tanto, que está rodeado por un campo eléctrico de fuerzas. Esto es semejante al campo gravitacional de la Tierra, pero difiere en que la fuerza eléctrica no es necesariamente de atracción, ya que depende del signo de las cargas.

Una fuerza deberá actuar a lo largo de una línea particular, por lo que se considera que el campo consiste de líneas de fuerza, o líneas de campo. Consideremos el conductor esférico aislado y cargado positivamente de la fig.1.10. cuando se coloca cerca de este conductor un cuerpo con una pequeña carga, será atraído o rechazado, por lo que el campo consiste de líneas radiales de fuerza, en realidad en tres dimensiones, aunque en la figura se representa en dos dimensiones.

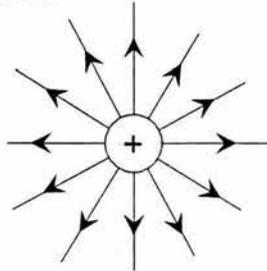


Fig.1.10 Campo eléctrico

Que la fuerza esta dirigida hacia adentro o hacia fuera, dependerá si la carga del cuerpo es positiva o negativa. Pero si se acuerda que la dirección convencional de las líneas indicadas en los mapas de los campos eléctricos sea la dirección de la fuerza recibida por las cargas positivas, las flechas de la figura estarán dirigidas hacia fuera.

**ENERGIA DEL CAMPO.** Los cuerpos cargados de la fig.1.10a. se atraen entre sí y si tuvieran libertad de moverse se obtendría trabajo mecánico conforme se fueran acercando hasta que se tocarán y el campo quedara destruido. También, las cargas de la fig. 1.10b. producirán trabajo si se les permite separarse, volviéndose el campo cada vez mas débil.

Así, el campo eléctrico puede considerarse como una fuente de energía.

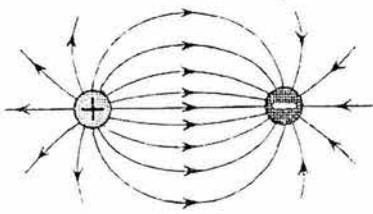


Fig. 1.10 a

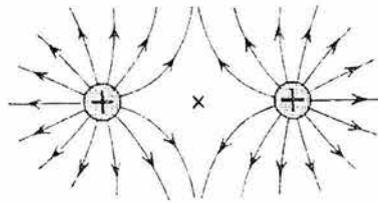


fig. 1.10 b

### CAPACIDAD DE UN CONDUCTOR

Al tomar un cuerpo conductor una carga  $q$  adquiere un potencial  $V$ , de tal manera que ambas magnitudes quedan ligadas en forma directamente proporcional (doblando o triplicando la carga, se duplica o triplica en potencia). Si se denomina por  $C$  la constante de proporcionalidad, la fórmula correspondiente será:

$$q = C \cdot V$$

Dicha constante  $C$ , que depende de la forma y el material que constituye el cuerpo conductor, se denomina capacidad del conductor.

La fórmula de la capacidad es, pues:

$$C = \frac{q}{V}$$

que indica que la capacidad de un conductor viene dada por la carga que adquiere por unidad de potencial.

Un caso particularmente interesante es el de la capacidad de los conductores esféricos; sus cargas eléctricas se distribuyen de una manera uniforme en su superficie, de tal manera que el potencial en cualquiera de sus puntos es el mismo.

El potencial en la superficie de una esfera valdrá:

$$V = \frac{q}{R}$$

siendo  $q$  la carga total y  $R$  el radio de dicha esfera. El centro del campo es el centro de la esfera.

La capacidad para un conductor esférico será, por consiguiente:

$$C = \frac{Q}{V} = R$$

La unidad de capacidad en el sistema internacional se denomina faradio. «Faradio = cuando al aplicar a dos placas 1 voltio, almacena 1 coulomb de carga en cada una de ellas». Se representa por F.

$$\text{faradio} = \frac{\text{coulomb}}{\text{voltio}}$$

El faradio resulta una unidad excesivamente grande y, en consecuencia poco utilizada en la práctica; en su lugar se emplea el milifaradio (mF), el microfaradio ( $\mu\text{F}$ ) y el picofaradio (pF).

$$1 \text{ mF} = 1 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$1 \mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 1 \times 10^{-9} \text{ F}$$

### CAPACITANCIA

Es la propiedad de un circuito eléctrico que le permite almacenar energía eléctrica, por medio de un campo electrostático, para liberarlo posteriormente. La unidad de capacitancia es el faradio.

El efecto capacitivo que se produce en un condensador (cuando se lo considera como capacitancia pura) provoca un desfaseamiento de adelanto de  $90^\circ$  de la corriente respecto a la tensión.

Este desfase máximo irá disminuyendo a medida que vaya aumentando la resistencia

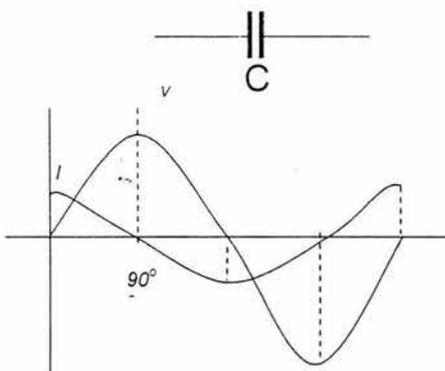


Fig. 1.11a Corriente y voltaje en fase

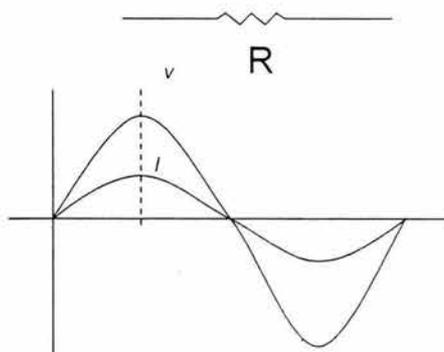


Fig. 1.11b Desfasamiento de corriente vs. voltaje

Aunque un cuerpo aislado tiene capacitancia con sus alrededores, ésta es normalmente muy pequeña. Incidentalmente, puede resultar de interés que la tierra misma, la cual es una esfera aislada tiene una capacitancia de 708 mF con respecto a los otros cuerpos del espacio.

### CAPACITORES

Más comúnmente conocidos como condensadores, son elementos que introducen capacitancia en un circuito.

Existe un capacitor siempre que un material aislante separe a dos conductores que tengan diferencia de potencial entre sí.

Los capacitores están constituidos por dos placas y un material aislante o dieléctrico.

Un capacitor esta cargado cuando existe diferencia de potencial entre sus placas. A mayor carga de las placas se obtendrá un campo eléctrico mas intenso, pero si esta carga es excesiva (sobrecarga) se produce la perforación de las placas, deteriorándose el capacitor.

#### REACTANCIA CAPACITIVA ( $X_c$ ):

Un capacitor se opone al flujo de corriente alterna en forma análoga a una resistencia o a una inductancia. Esta oposición que presentan las capacitancias se denomina reactancia capacitiva y se expresa en ohms.

Como el flujo de corriente es directamente proporcional a la frecuencia y capacitancia, la reactancia capacitiva será inversamente proporcional a los mismos. De allí que ésta puede calcularse mediante la expresión:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

donde:  $2\pi f$  representa la rapidez de cambio de la corriente  
 $C$  es la capacidad expresada en faradios

En un circuito capacitivo (al igual que en los circuitos inductivos), como el único factor que limita el flujo de la corriente es la reactancia capacitiva, puede aplicarse la ley de ohm con la correspondiente adecuación, obteniéndose la siguiente expresión:

$$I = \frac{V}{X_c}$$

Como  $X_c$  es inversamente proporcional a la  $f$ , cuando ésta se altere, también se modificará la corriente, pero en proporción directa.

#### CALCULO DE LA CAPACITANCIA TOTAL EN CIRCUITOS PURAMENTE CAPACITIVOS

a) Circuitos en serie:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

b) Circuitos en paralelo:

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

En el caso especial donde sólo hay dos capacitancias en serie, es semejante a la combinación de resistencias en paralelo:

$$C_t = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

La razón por la cual las capacitancias y las resistencias se combinan en forma diferente es la que sigue: mientras que la resistencia mide la oposición que el circuito ofrece al flujo de electricidad, la capacitancia mide la facilidad con que un capacitor almacena una carga eléctrica. La capacitancia es mas semejante a la conductancia que a la resistencia.

El agrupamiento en paralelo se emplea en donde es necesario aumentar la capacitancia; el agrupamiento en serie también se emplea en ciertos casos, por ejemplo, donde el voltaje aplicado es más grande que el de uno de los capacitores puede soportar con seguridad.

## 1.4 EL CIRCUITO INDUCTIVO

### GENERALIDADES SOBRE CAMPO MAGNETICO.

**CAMPO MAGNETICO ORIGINADO POR UN CONDUCTOR.** En todo conductor, a través del cual circula corriente, se genera un campo magnético circular. La intensidad de este campo está dado por las líneas de fuerza que se producen, así como por la distancia que hay entre ellas.

El sentido de las líneas de fuerza se determina mediante la regla de la mano izquierda: si se cierra la mano izquierda alrededor de un conductor, de manera que el pulgar señale la dirección del flujo de la corriente, el campo magnético que rodea al conductor tendrá la dirección de los dedos que rodean el conductor, lo anterior aparece dentro de la figura 1.12.

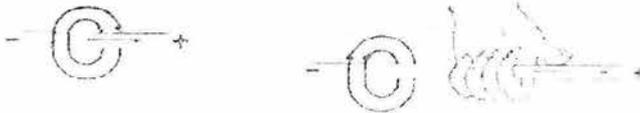


Fig.1.12. Campo magnético en un conductor

**CAMPO MAGNETICO ORIGINADO POR UN SOLENOIDE.** Solenoide es un conductor arrollado en forma de espiral. Al circular la corriente por él, se genera un campo magnético similar al de un imán.

La polaridad de dicho campo se conoce mediante la regla de la mano izquierda: si se cierra la mano izquierda alrededor de un solenoide, de manera que los dedos que rodean el solenoide señalen la dirección de la corriente, el dedo pulgar señalará el polo norte. Como se puede observar en la figura 1.13

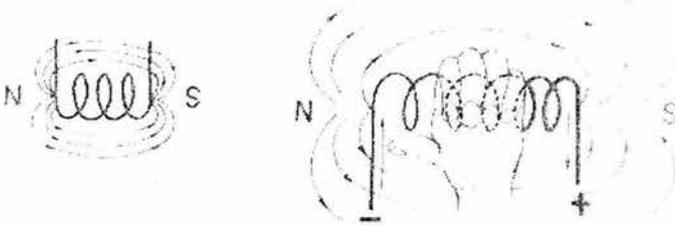


Fig. 1.13 Campo magnético originado por un solenoide

**CAMPO MAGNETICO ORIGINADO POR UNA CORRIENTE ALTERNA.** Como la corriente alterna varía constantemente en magnitud y sentido, también el campo magnético generado en el conductor y/o solenoide, por el que circula

CA cambiara constantemente en intensidad (magnitud) y polaridad (sentido de las líneas de fuerza).

**AUTOINDUCCION.** Debido a una variación constante que se produce en el campo magnético que se genera alrededor de un conductor, por el cual circula CA, puede considerarse que las líneas de fuerza cortan el conductor, produciéndose un efecto similar al originado cuando el conductor se mueve dentro de un campo magnético, es decir, se genera o induce una fuerza electromotriz en el mismo conductor, o sea se produce autoinducción.

Como toda fem inducida tiene magnitud y polaridad, que dependen de la rapidez con que se expande o reduce el campo magnético, lo cual a su vez depende de la velocidad con que varía la corriente, es decir de la frecuencia, de manera que a mayor frecuencia, mayor fem inducida.

Así mismo depende de la intensidad de la corriente: las corrientes intensas producen campos magnéticos mas intensos, de tal manera que la fem autoinducida será directamente proporcional a la amplitud y frecuencia de la corriente alterna que la produce.

**INDUCCION MUTUA.** La inducción de la fem en una bobina por líneas de fuerza generadas por otra bobina, recibe el nombre de inducción mutua.

La bobina que genera las líneas de fuerza o flujo se denomina primario, y aquella en la cual se induce la fem se llama secundario.

La magnitud de la fem inducida depende de:

- a) Posición relativa de las dos bobinas
- b) Numero de espiras que tengan las bobinas:
  - ∞ Si el secundario tiene menor numero de espiras que el primario, la fem inducida será menor;
  - ∞ Si el secundario tiene mayor numero de espiras que el primario, la fem inducida será mayor.

La inducción mutua tiene directa aplicación en los transformadores.

**INDUCTANCIA.** Aun cuando la inductancia es en realidad una característica física de un conductor, a menudo se la define, mas bien, en función del efecto que tiene en el flujo de la corriente y que se expresa así :

Inductancia (cuya unidad es el henry o henrio) es la propiedad de un circuito eléctrico a oponerse a cualquier cambio de la corriente en él.

Los conductores enrollados en forma de solenoides o bobinas son los que presentan las mayores inductancias.

Las equivalencias del henrio o henry son las siguientes:

$$\begin{aligned} 1 \text{ henry} &= \text{weber-vuelta por amperio} \\ &= 1 \times 10^8 \text{ maxwell-vueltas por amperio} \end{aligned}$$

**LA BOBINA.** Es un arrollamiento de alambre en forma de espiral. Está compuesta por:

- a) Conductor: suele ser un alambre sólido de cobre, revestido con un aislamiento esmaltado, a través del cual circulará corriente.

- b) Núcleo: elemento que se encuentra dentro de la bobina. Puede ser de un material ferromagnético o de un material aislante (en cuyo caso normalmente sólo será soporte y no adquirirá propiedades magnéticas). Cuando el núcleo puede moverse dentro de la bobina, se obtiene una inductancia variable (determinada por la posición del núcleo).

La inductancia de una bobina depende:

- a) Del núcleo:

- ∞ Material del cual esta hecho: ya que si es ferromagnético, el campo magnético se intensifica por el reforzamiento o suma de las líneas de fuerza producidas por la bobina.
- ∞ Sección transversal: a mayor área transversal se obtendrá un mayor numero de líneas de fuerza.
- ∞ Longitud: a mayor longitud corresponde un flujo magnético menor.

- b) De las espiras:

- ∞ A mayor numero de espiras, mayor inductancia.
- ∞ Cuanto mas cercanas entre sí las espiras, se tendrá una mayor inductancia.

Todos estos factores se expresan matemáticamente de la siguiente forma:

$$L = \frac{0,4\pi N^2 \mu A}{l}$$

donde:  $N$  = número de espiras

$\mu$  = permeabilidad magnética

$A$  = área transversal del núcleo

$l$  = longitud del núcleo

- c) De la intensidad de la corriente: cuanto mayor corriente circule por la bobina, se obtendrá mayor intensidad en el campo magnético.

**INDUCTANCIA PURA.** Es aquella que se considera sin resistencia ni capacitancia. El efecto inductivo que se produce en una bobina, considerada como inductancia pura, provoca un desfase de atraso de  $90^\circ$  de la corriente con respecto al voltaje. Este desfase máximo ira disminuyendo a medida que aumente la resistencia de la bobina, pues en un circuito puramente resistivo el voltaje y la corriente están en fase.

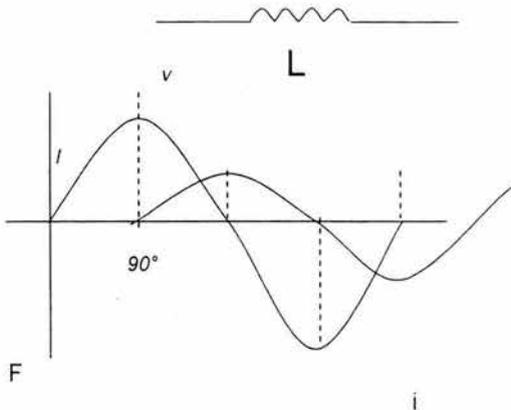


Fig.1.14. Circuito inductivo puro

**REACTANCIA INDUCTIVA ( $X_L$ )**

En un circuito de CA con solo inductancias, la cantidad de corriente que fluye es determinada por la fuerza contraelectromotriz que contrarresta el voltaje aplicado, por lo que se comporta como una resistencia, al limitar el flujo de corriente. Por este motivo la oposición que presenta una inductancia al paso de corriente alterna se llama reactancia inductiva y se expresa en ohms.

Como la fuerza contraelectromotriz depende de la  $L$  y de la  $f$ , la  $X_L$  se puede calcular así:

$$X_L = 2\pi fL$$

donde:  $2\pi f$  representa la rapidez de cambio de la corriente

$L$  es la inductancia expresada en henrys

Dado que en un circuito puramente inductivo, el único factor que limita el flujo de corriente es la reactancia inductiva, puede aplicarse la ley de ohm, con la correspondiente adecuación. Así obtendremos:

$$I = \frac{V}{X_L}$$

teniendo presente de que un valor específico de reactancia inductiva se aplica sólo para una frecuencia específica, de tal manera que si se altera la  $f$ , también quedará alterada la  $X_L$ , haciendo que un mismo circuito sea más o menos inductivo.

**CALCULO DE LA INDUCTANCIA TOTAL EN CIRCUITOS PURAMENTE INDUCTIVOS:**

a) Circuitos en serie:  $L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

b) Circuitos en paralelo:  $\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$

## VARIACIONES DE LA CORRIENTE

**CRECIMIENTO LENTO DE LA CORRIENTE.** En la figura 1.15a, una diferencia de potencial (ddp) de  $V$  en voltios es aplicada repentinamente a un inductor de  $L$  henrys, que se supone es ideal y sin resistencias.

Así, la corriente debe aumentar de tal manera que la rapidez con que aumenta el voltaje autoinducido equilibre la ddp aplicada. Entonces,

$$V = E = (L)(\text{rapidez con que aumenta la corriente})$$

$$\text{rapidez con que aumenta la corriente} = \frac{V}{L}$$

La corriente continua creciendo indefinidamente con la rapidez de  $\frac{V}{L}$  amperes por segundo, como se indica en la fig. 1.15b.

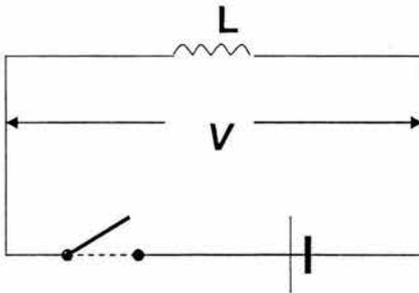


Fig.1.15.a

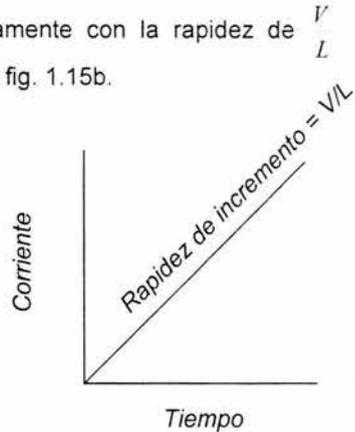


fig.1.15.b

**DISMINUCION LENTA DE LA CORRIENTE:** Si en el circuito ideal de la figura 1.15.a., el inductor fuera cortocircuitado y retirada la batería, la corriente, en lugar de caer bruscamente, continuara fluyendo sin disminuir, justamente como un cuerpo mantendrá su velocidad indefinidamente si no hay resistencias que se opongan a su movimiento.

**ENERGIA ALMACENADA EN UN INDUCTOR.** Mientras se establece el campo magnético debe suministrarse trabajo contra la fem, autoinducida; esta energía así suministrada se almacena en el campo y debe recuperarse cuando el campo desaparece.

Refiriéndonos nuevamente al circuito inductivo sencillo de la figura 1.15 a, el voltaje aplicado  $V$ , obliga a la corriente a aumentar con una rapidez uniforme; supongamos ahora que alcanza el valor de  $I$  amperes al cabo de  $t$  segundos como en la figura 1.16 la energía almacenada en el campo es igual al trabajo dado contra el voltaje aplicado, es decir:

$$W = VQ$$

pero

$$V = E = \frac{LI}{t}$$

y

$$Q = \frac{It}{2}$$

por tanto

$$W = \left(\frac{LI}{t}\right)\left(\frac{It}{2}\right)$$

o sea

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

Esta expresión da la energía en julios, siempre que  $L$  esté en henrys e  $I$  en amperes; alternativamente,  $L$  puede estar en milihenrys para obtener a  $W$  en milijulios. Debe tenerse cuidado al sustituir el valor de la corriente pues si  $I$  está en miliamperes estando  $L$  en henrys, la energía no queda en milijulios sino en microjulios.

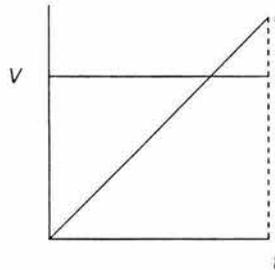


fig.1.16

### 1.5 EL CIRCUITO RESISTIVO-CAPACITIVO.

#### CIRCUITOS RESISTIVOS-CAPACITIVOS EN SERIE.

Son circuitos compuestos por una o mas resistencias y por uno o mas capacitores.

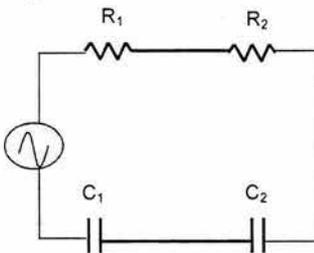


Fig.1.17 Circuito resistivo capacitivo en serie

Corriente:

Como todo circuito serie, la corriente total es la misma que fluye a través de todos y cada uno de los diversos componentes, es decir a través de las resistencias y capacitores.

$$I_t = I_R = I_C$$

Aplicando la ley de ohm:

$$I_t = \frac{V_t}{Z}$$

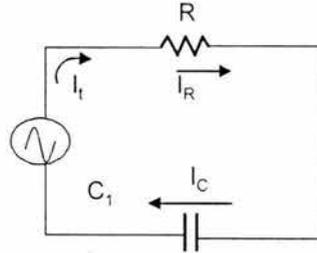


fig.1.18

Voltaje:

El voltaje total del circuito se obtiene:

Aplicando la ley de ohm:

$$V_t = I_t Z$$

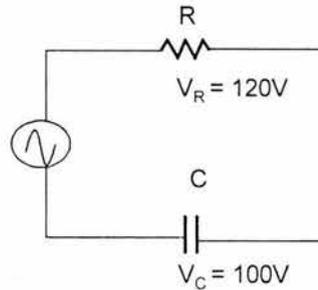


fig.1.19

Sumando vectorialmente:

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$V_t = \sqrt{(120v)^2 + (100v)^2}$$

$$V_t = \sqrt{24400v^2}$$

$$V_t = 156.2v$$

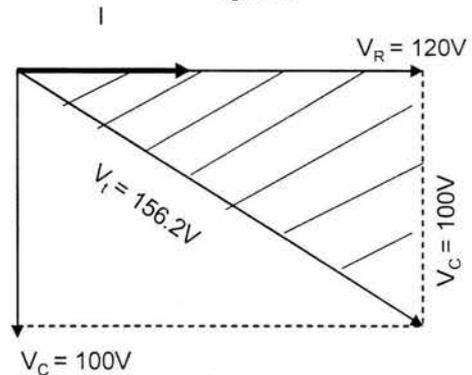


fig.1.20

El ángulo de desfase, formado por la corriente y el voltaje total, se calcula empleando la siguiente función trigonométrica básica:

$$\cos \alpha = \frac{V_R}{V_t}$$

$$\cos \alpha = \frac{120V}{156.2V}$$

$$\cos \alpha = 0.7682$$

$$\alpha = \cos^{-1} 0.7682$$

$$\alpha = 39.8^\circ$$

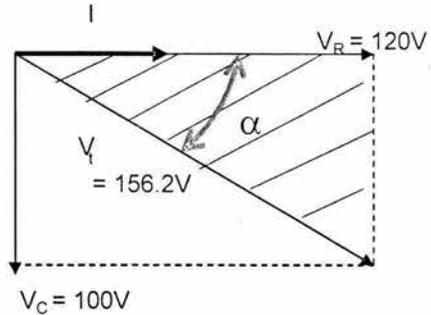


fig.1.21

Impedancia:

Es la oposición total al flujo de la corriente que ofrecen las resistencias y reactancias capacitivas del circuito.

Su valor se calcula sumando vectorialmente  $R$  y  $X_c$ :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$Z = \sqrt{(100\Omega)^2 + (80\Omega)^2}$$

$$Z = \sqrt{16400\Omega^2}$$

$$Z = 128.06\Omega$$

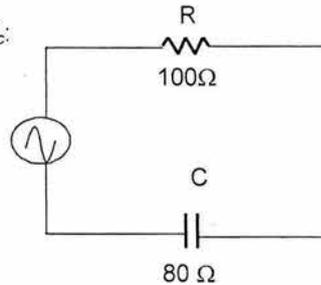


fig.1.22

Aplicando la ley de Ohm:  $Z = \frac{V_t}{I}$

Para averiguar el ángulo de desfase en función de los componentes resistivos ( $Z$ ,  $R$  y  $X_c$ ), se emplea la siguiente función trigonométrica:

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \alpha = \frac{100\Omega}{128.06\Omega}$$

$$\cos \alpha = 0.7809$$

$$\alpha = 38.66^\circ$$

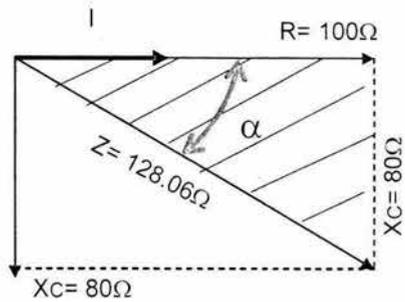


fig.1.23.

### CIRCUITOS RC EN PARALELO

Circuitos en los cuales se tienen una o mas resistencias y una o mas capacitancias conectadas en paralelo.

Voltaje:

El voltaje aplicado  $V_t$  a un circuito RC en paralelo llega directamente a cada rama, de tal manera que el voltaje total es el mismo e igual, tanto en la rama resistiva como en la rama capacitiva.

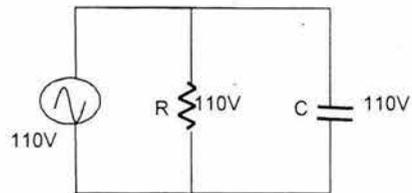


fig.1.24

$$V_t = V_R = V_C$$

Aplicando la ley de Ohm:  $V_t = I_t Z$

Corriente:

La corriente de cada rama es independiente, estando supeditada únicamente al valor que  $R$  y  $X_C$  tengan, por cuanto el voltaje es el mismo en ambas ramas.

Aplicando la ley de Ohm obtendremos:

$$I_R = \frac{V}{R} \qquad I_C = \frac{V}{X_C}$$

Como en la rama resistiva  $I$  está en fase con  $V$ , mientras en la rama capacitiva  $I$  está adelantada  $90^\circ$  a  $V$  (siendo  $V$  la misma en ambas ramas), se puede afirmar que  $I_C$  está adelantada  $90^\circ$  a  $I$ , de manera que para averiguar la intensidad total del circuito debemos sumar vectorialmente  $I$  e  $I_C$ .

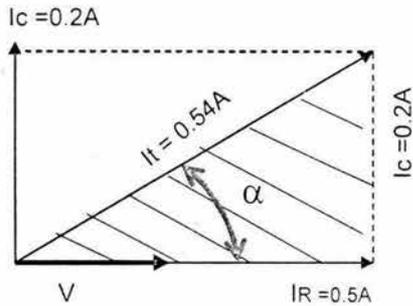


Fig.1.25

De esta manera obtenemos:

$$I_t = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \rightarrow I_t = \sqrt{(0.5)^2 + (0.2)^2}$$

$$I_t = 0.54$$

$$I_t = 0.54 \text{ Amp.}$$

Si se conociera  $Z$ , se puede aplicar directamente la ley de Ohm.

El ángulo de desfase entre  $I_t$  y  $V$  (ó  $I_R$ ) se obtiene mediante procesos análogos a los empleados en circuitos RL en paralelo:

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I_t}$$

Impedancia:

Oposición total al flujo de la corriente en tanto en la rama resistiva como en la rama capacitiva aplicando un procedimiento similar al empleado en circuitos RL en paralelo obtendremos:

$$Z = \frac{RX_C}{R^2 + X_C^2}$$

O aplicando la ley de Ohm:

$$Z = \frac{V}{I_t}$$

El valor de la impedancia siempre será inferior a  $R$  y  $X_C$ . De estos dos factores, el de menor valor (y que por tanto deja pasar mas corriente) es quien determina el tipo predominante del circuito: si es resistivo o capacitivo.

Efecto de la frecuencia en un circuito RC:

Cuando el elemento reactivo es un capacitor, la corriente se incrementa según se incrementa la frecuencia. Empieza desde un valor de cero y aumenta con la frecuencia, aunque no de modo lineal; en altas frecuencias, donde es despreciable la reactancia capacitiva, la limitación de la corriente se debe únicamente a la resistencia.

## 1.6 EL CIRCUITO RESISTIVO INDUCTIVO

Un circuito resistivo-inductivo (RL) es aquel que está formado tanto por resistencias como por inductancias.

La diferencia fundamental entre un circuito RL y un circuito puramente resistivo radica en que las relaciones de fase en las partes resistivas del circuito RL son diferentes a las relaciones de fase en las partes inductivas, afectando ambas, aunque en forma diferente, el funcionamiento general del circuito.

En estos circuitos, tanto la resistencia como la reactancia inductiva, se oponen al flujo de corriente. El efecto combinado de ambos es lo que se denomina impedancia ( $Z$ ) del circuito, y que se mide en ohms.

En estos circuitos, la ley de Ohm es totalmente aplicable, con la salvedad de que, según los componentes que se usen, la  $R$  debe considerarse bien sea como  $X_L$  o bien como  $Z$ .

En consecuencia tendremos:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{ó} \quad I = \frac{V}{X_L} \quad \text{ó} \quad I = \frac{V}{Z}$$

### CIRCUITOS RL EN SERIE.

Un circuito RL en serie puede estar constituido por una o más resistencias y por una o más inductancias.

Cuando la resistencia interna de la bobina o bobinas es 10 veces inferior a alguna de las resistencias del circuito, no se toma en cuenta su valor, por lo que normalmente las bobinas se consideran como inductancias puras.

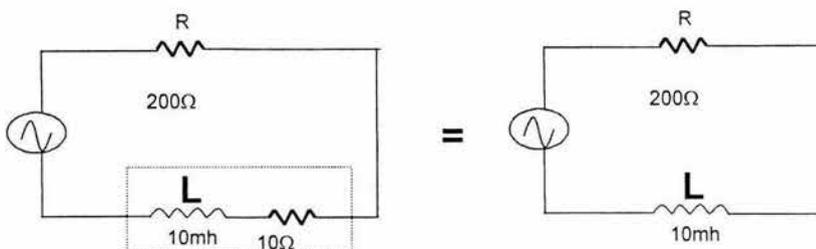


Fig.1.26

Corriente:

Por ser un circuito serie, la intensidad será la misma en todo el circuito, exactamente como si fuera un circuito puramente resistivo.

Por consiguiente, para la siguiente figura tendremos:

$$I_i = I_{R1} = I_{R2} = I_{L1} = I_{L2}$$

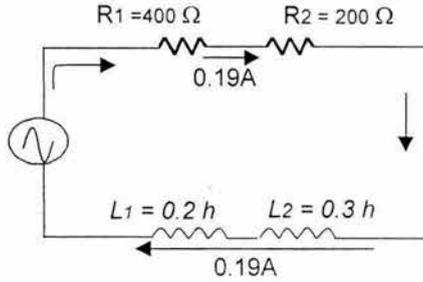


Fig.1.27

Aplicando la ley de Ohm tendremos:

$$I_t = \frac{V}{Z} \quad I_R = \frac{V}{R} \quad I_L = \frac{V}{X_L}$$

Voltaje:

En un circuito puramente resistivo el voltaje total es igual a la suma algebraica de los voltajes parciales. En un circuito RL en serie, el voltaje total también será igual a la suma de los voltajes parciales ( $V_R$  y  $V_L$ ), pero teniendo presente que el voltaje en  $R$  está en fase con la corriente, mientras que en la inductancia el  $V$  está adelantado  $90^\circ$  con respecto a  $I$ , de manera que, tomando como referencia la corriente, se puede afirmar que  $V_L$  está adelantado  $90^\circ$  con respecto a  $V_R$ .

Aplicando la ley de Ohm obtendremos las siguientes expresiones para los voltajes parciales:

$$V_R = I_R R \quad V_L = I_L X_L$$

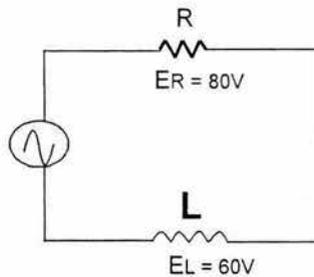


Fig.1.28.

El voltaje total será la suma vectorial de los voltajes parciales de  $R$  y  $L$ , donde  $V_R$  y  $V_L$  son dos vectores perpendiculares. La suma de ambos será la hipotenusa del triángulo rectángulo que se ha formado, en el cual  $V_L$  y  $V_R$  son los catetos.

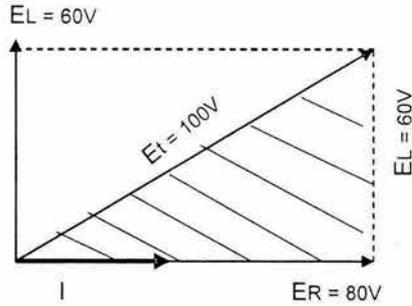


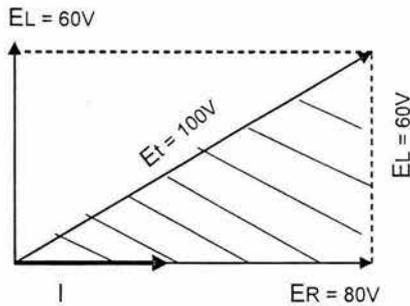
Fig.1.29

Por lo tanto aplicando el teorema de Pitágoras tendremos:

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

$$V_t = \sqrt{(80)^2 + (60)^2}$$

$$V_t = 10000$$



$$V_t = 100\text{ V}$$

Fig.1.30.

Así como  $V_L$  está desfasada  $90^\circ$  con respecto a  $V_R$ , también el  $V_t$  estará desfasado de  $V_R$ , pudiéndose averiguar este ángulo de desfase de la siguiente manera:

El vector que representa el  $V_t$  y el vector que representa el  $V_R$  forman un triángulo rectángulo, en el cual la hipotenusa mide 100 V, el cateto adyacente al ángulo  $80^\circ$  y el cateto opuesto (que es igual a  $V_L$ ) 60 V. Por consiguiente podemos aplicar la siguiente función trigonométrica básica:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{V_R}{V_t} \\ \cos \alpha &= \frac{80}{100} \\ \alpha &= \cos^{-1}(0.8) \\ \alpha &= 36.87^\circ\end{aligned}$$

Impedancia:

Es la oposición total del circuito al flujo de corriente, equivalente a la  $R$  total de un circuito puramente resistivo.

En un circuito puramente resistivo, la resistencia total es igual a la suma algebraica de las resistencias parciales.

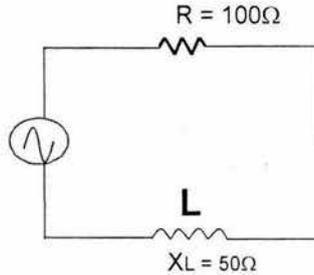


Fig.1.31.

En un circuito RL en serie, como la  $I$  es la misma para la resistencia y la inductancia, en tanto que el  $V_L$  está adelantado  $90^\circ$  con respecto a  $V_R$ , se considera que  $X_L$  está adelantada  $90^\circ$  con respecto a  $R$ .

De allí que para calcular la impedancia, la suma de  $R$  y  $X_L$  deberá ser una suma vectorial.

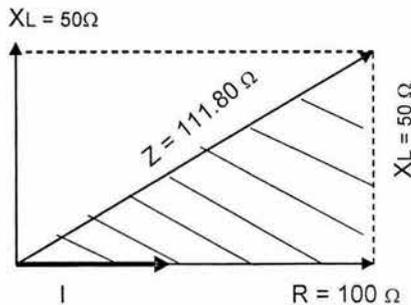
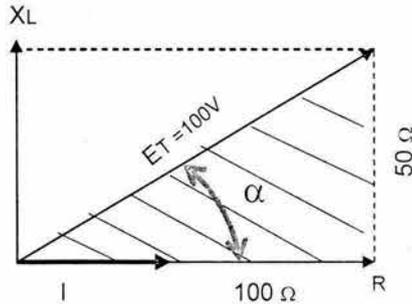


Fig.1.32.

Por un proceso similar al aplicado para calcular el  $V_T$  tendremos:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



$$Z = \sqrt{(100)^2 + (50)^2}$$

Fig.1.33.

El ángulo de desfase de  $V$  e  $I$ , en función de los componentes resistivos, se calcula como sigue:

$$\cos \alpha = \frac{100}{111.8}$$

$$\cos \alpha = 0.894454$$

$$\alpha = \cos^{-1}(0.894454)$$

$$\alpha = 26.56^\circ$$

Efecto de la frecuencia en un circuito RL en serie:

Los valores relativos de  $X_L$  y  $R$  determinan el ángulo de desfase entre  $Z$  e  $I$ .

Como  $X_L$  varía con la frecuencia, también el valor relativo de  $Z$  se verá afectado, por lo que un mismo circuito tendrá propiedades distintas, variando únicamente la frecuencia:

cuanto mas baja la frecuencia, el circuito se comportará como un circuito exclusivamente resistivo (por ser  $X_L$  bajo), y cuanto mas alta la frecuencia, se comportará como un circuito puramente inductivo ( $X_L$  es mayor).

**CIRCUITOS RL EN PARALELO:**

Circuitos en los cuales se tienen una o mas resistencias y una o mas inductancias conectadas en paralelo.

Voltaje:

Al igual que en un circuito puramente resistivo, en un circuito RL el voltaje total es el mismo en cada una de las ramas resistivas e inductivas.

$$V_i = V_R = V_L$$

Aplicando la ley de Ohm:

$$V_R = I_R R \quad V_L = I_L L$$

$$V_i = I_i Z$$

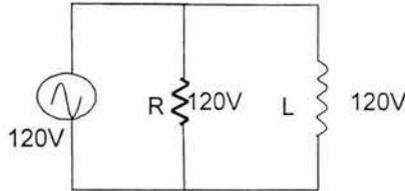


Fig.1.34

Corriente:

La corriente total, la corriente de las ramas resistiva e inductiva son independientes, pues la cantidad de corriente que circula por cada rama estará dada por los valores que tengan las resistencias y las reactancias inductivas, por cuanto el voltaje es el mismo en todas las ramas.

En consecuencia tendremos:

Para las ramas resistivas:  $I_R = \frac{V}{R}$

Para las ramas inductivas:  $I_L = \frac{V}{X_L}$

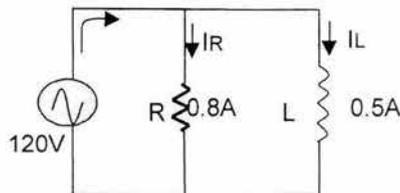


Fig.1.35

La corriente total será igual a la suma vectorial de las corrientes de las ramas resistivas e inductivas, por la diferencia de fase existente entre ellas, ya que  $I_R$  está adelantada  $90^\circ$  a  $I_L$ .

En efecto, como el voltaje es el mismo en ambas ramas, se puede afirmar que éste está en fase con  $I_R$ , y adelantado  $90^\circ$  a  $I_L$ .

Por este motivo la corriente total del circuito RL en paralelo, se hallará aplicado el teorema de Pitágoras (en forma similar a la aplicada para calcular el voltaje total en un circuito RL en serie).

$$I_t = \sqrt{(I_R)^2 + (I_L)^2}$$

$$I_t = \sqrt{(0.8)^2 + (0.5)^2}$$

$$I_t = 0.89 \rightarrow I_t = 0.94 \text{ A}$$

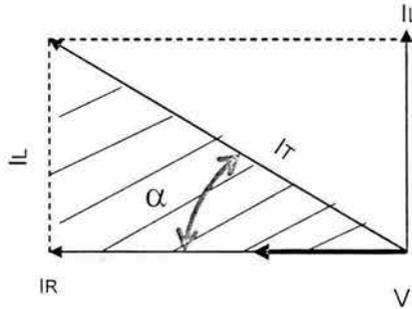


Fig.1.36.

Si se aplica la ley de Ohm tendremos:  $I_t = \frac{V}{Z}$

Para calcular el ángulo de desfase entre  $I_t$  y  $V (= I_R)$  se emplea la siguiente función trigonométrica básica:

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I_t}$$

$$\cos \alpha = \frac{0.8}{0.94}$$

$$\cos \alpha = 0.847998$$

$$\alpha = \cos^{-1}(0.847998) = 32^\circ$$

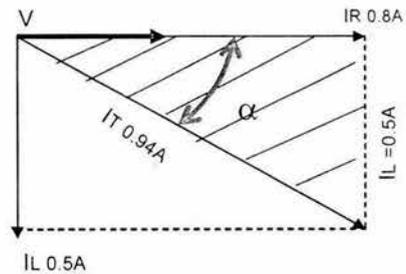


Fig.1.37

Impedancia:

Es la oposición total al flujo de corriente presentada tanto por la rama resistiva, como por la rama inductiva.

Su valor se calcula en forma similar a la realizada en un circuito puramente resistivo con dos resistencias.

$$Z = \frac{(R)(X_L)}{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \frac{(100)(50)}{(100)^2 + (50)^2}$$

$$Z = 44.7\Omega$$

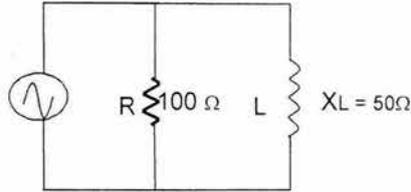


Fig. 1.38

Como puede observarse el valor de  $Z$  siempre será inferior al valor mas bajo del circuito.

En el caso de conocerse el  $V_t$  y la  $I_t$ , se aplica la ley de Ohm:

$$Z = \frac{V}{I_t}$$

El ángulo de desfase entre  $I_t$  y  $V_t$  en función de  $R$ ,  $X_L$  y  $Z$  se halla mediante la siguiente ecuación:

$$\cos \alpha = \frac{Z}{R}$$

Efecto de la frecuencia en circuitos RL en paralelo:

Los efectos que produce el cambio de frecuencia en un circuito RL en paralelo son diferentes a los efectos que se producen en un circuito RL en serie, donde el aumento de la frecuencia hace mas inductivo un circuito.

En efecto, en un circuito RL en paralelo, el aumento en la frecuencia produce un aumento en  $X_L$ , haciendo mas resistivo el circuito por consiguiente menos inductivo, debido a que la corriente en la rama inductiva será menor, mientras que en la rama resistiva se hace mayor.

Al disminuir la frecuencia se produce un fenómeno opuesto al anterior, de tal manera que, a frecuencias muy bajas, el circuito será casi exclusivamente inductivo.

Por este motivo, a medida que aumenta la frecuencia, disminuye el ángulo de desfase.

## 1.7 EL CIRCUITO INDUCTIVO-CAPACITIVO

### FRECUENCIA NATURAL.

La rapidez con que cualquier sistema mecánico o eléctrico, oscila libremente se llama su frecuencia natural  $f_n$ . Un resorte cargado dará dos o tres vibraciones por segundo, pero un sistema eléctrico tendrá una frecuencia mucho mayor –tal vez 100 ó 1000 ciclos por segundo (hertz)- su valor depende de las componentes del sistema; incrementando la carga que cuelga del resorte se reduce la frecuencia natural: por analogía, incrementar la inductancia debe tener el mismo efecto. La frecuencia debe también reducirse con un resorte mas débil, es decir, uno que mas fácilmente se deforme; la analogía eléctrica es la de una capacitancia mayor, es decir, una que tome mas fácilmente la carga. De este modo la frecuencia puede ser disminuida o aumentada, respectivamente, incrementando o disminuyendo la inductancia, la capacitancia o las dos.

La corriente oscilatoria desarrolla una caída alterna de voltaje  $V_L$  a través del inductor con  $90^\circ$  de adelanto y otra caída de voltaje  $V_C$  a través del capacitor con un atraso de  $90^\circ$ , como se representa en el diagrama de fasores de la fig.1.40.

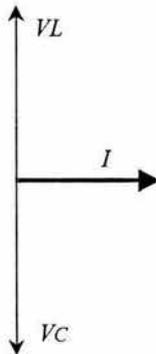


Fig.1.40.

Si no hay un voltaje externo aplicado, las dos caídas de voltaje serán iguales, lo que puede ser considerado como diferentes aspectos del mismo voltaje desarrollado a través de cada componente.

Debido a que las caídas de voltaje son iguales, también las dos reactancias deberán ser iguales a la misma frecuencia de oscilación:

$$2\pi f_n L = \frac{1}{2\pi f_n C}$$

Lo que equivale a:

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Esta ecuación demuestra que la frecuencia natural es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del producto de  $L$  y  $C$ . Es importante hacer notar que la misma frecuencia puede obtenerse con un número indefinido de combinaciones de  $L$  y  $C$ , que tengan el mismo producto.

#### INDUCTANCIA Y CAPACITANCIA EN SERIE.

Un circuito conteniendo inductancia y capacitancia oscilará con su propia frecuencia natural siempre que no sea perturbado después que se ha iniciado la oscilación.

El inductor y el capacitor de la fig.1.41.a están conectados en serie a una fuente que desarrolla un voltaje. La corriente  $I$  que se establece en el circuito deberá, aparte de los fenómenos transitorios, alternar con la misma frecuencia que el voltaje aplicado, que en general, no será la misma que la frecuencia natural del circuito.

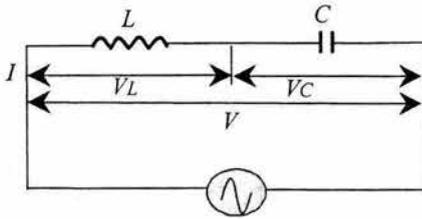


Fig.1.41.a

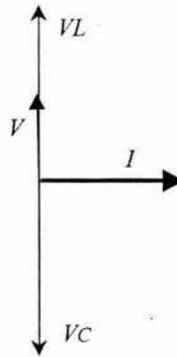


fig.1.41.b

La resultante de las caídas de voltaje  $V_L$  y  $V_C$ , debe ser igual al voltaje aplicado; como aquellas están en antifase, la suma de los favores será igual a su diferencia numérica, como se indica en la fig.1.41.b, estando la resultante en fase con la caída de voltaje mayor.

En la condición representada predomina la reactancia inductiva, es decir donde la frecuencia de la fuente es mayor que la natural; entonces:

$$V = V_L - V_C$$

y la impedancia del circuito, siendo igual a la reactancia neta, valdrá:

$$X = X_L - X_C$$

además, la corriente, como en un circuito puramente inductivo, se atrasa  $90^\circ$  atrás del voltaje aplicado. Por otro lado, debajo de la frecuencia natural, la reactancia es capacitiva, valiendo  $X_C - X_L$ , y estando adelantada la corriente en  $90^\circ$ .

## EFECTO DE LA FRECUENCIA.

Examinemos primero con más detalle lo que sucede en el circuito ideal de la fig.1.41, si cambia la frecuencia mientras el voltaje permanece constante. La manera con la que varían las diversas reactivancias se representa en la figura 1.42.a. La reactivancia inductiva  $X_L$  aumenta al aumentar la frecuencia, mientras la reactivancia capacitiva  $X_C$  disminuye, volviéndose iguales cuando se alcanza la frecuencia natural  $f_n$ . La reactivancia combinada  $X$ , por ser igual a la diferencia de las dos, cae a cero en la frecuencia natural, aumentando más allá de ella.

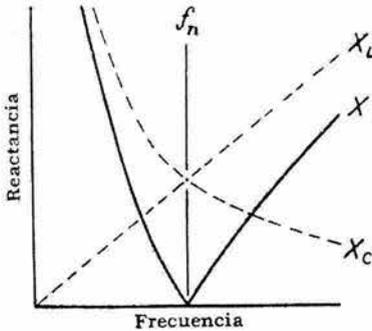


Fig.1.42.a

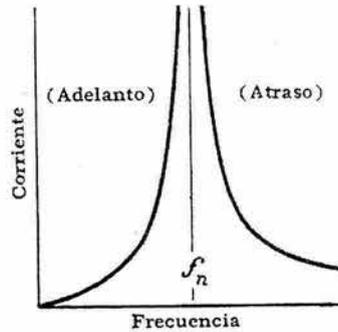


fig. 1.42.b.

## RESONANCIA ELECTRICA.

La corriente como se indica en la fig. 1.42.b. aumenta conforme se aproxima a la frecuencia natural y disminuye arriba de ella. Es de particular interés la condición a que llega el circuito cuando la frecuencia es la natural; en este caso la corriente alcanza un valor muy alto porque, bajo condiciones ideales, la reactivancia combinada vale cero; teniendo en cuenta el gran valor de la corriente, se desarrolla a través del inductor y del capacitor una caída de tensión que excede con mucho al voltaje aplicado.

Esta condición recibe el nombre de resonancia y la frecuencia a que tiene lugar se llama la frecuencia resonante ( $f_r$ ), que, en el presente caso sencillo, es la misma que la frecuencia natural. Este circuito se llama, a veces, especialmente en radiocomunicación, como un circuito "acceptor" (o receptor), debido a la gran corriente que fluye en condiciones resonantes. La resonancia en serie puede ser una fuente de peligro debido a los grandes voltajes desarrollados y, por lo general, se evita en los circuitos de potencia.

En aquellos casos donde la forma de la onda del voltaje aplicado es senoidal y contiene armónicas, puede ocurrir resonancia en cualquiera de ellas y causar distorsión considerable de la onda de corriente.

## RESONANCIA MECANICA.

La resonancia es también común en los sistemas mecánicos presentándose a menudo por fuerzas desbalanceadas en las maquinarias. Esto es particularmente notable donde la máquina se impulsa con velocidades variables como sucede en los vehículos de motor; algunos componentes de la

máquina se ponen en vibración, que aumenta notablemente cuando la velocidad de la máquina coincide con su frecuencia natural.

Aun un edificio completo es capaz de entrar en resonancia pudiendo resultar dañado por temblores de tierra relativamente débiles; en aquellos países que están sujetos a terremotos, es usual diseñar estructuras con una frecuencia natural o muy grande o muy pequeña comparada con las que se encuentran en la naturaleza.

Las condiciones para la resonancia pueden establecerse muy sencillamente en el resorte cargado, colgándolo de la mano y moviéndolo suavemente hacia arriba y hacia abajo con rapidez variable hasta que se produzcan grandes oscilaciones.

#### CIRCUITO RESONANTE EN SERIE.

Estamos ahora en posición de considerar un circuito mas real en la fig. 1.43.a, que contiene resistencia así como inductancia y capacitancia.

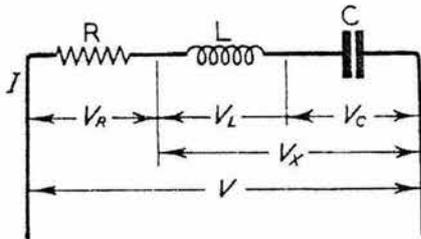


Fig.1.43.a

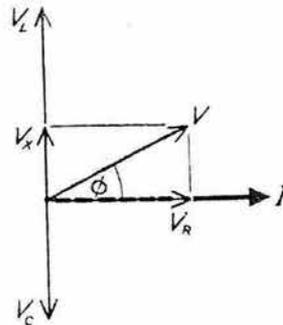


fig.1.43.b

La caída de voltaje de  $V_X$  a través del inductor y del capacitor se obtiene como antes, esto es, por adición de favores o por sustracción numérica. Esta caída de voltaje debe combinarse ahora con la caída de voltaje  $V_R$  a través del resistor, con objeto de obtener el voltaje aplicado  $V$ .  $V_R$  y  $V_X$ , por estar en cuadratura, se combinan con un rectángulo de fasores, como se indica en la fig.1.43.b, de la cual se obtiene:

$$V^2 = V_R^2 + V_X^2$$

Sustituyendo el valor de cada término en esta ecuación:

$$I^2 Z^2 = I^2 R^2 + I^2 X^2$$

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

Esta es la fórmula general para la impedancia de un circuito en serie.

El triángulo de impedancia puede también dibujarse como en la fig. 1.44, pudiendo obtenerse la diferencia de fase, ya sea midiéndola o calculándola.

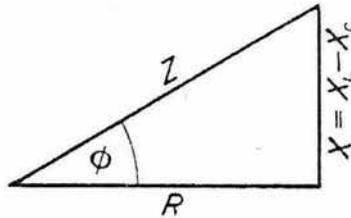


Fig.1.44.

Debe notarse que la frecuencia resonante, donde se cancelan las reactivas y la corriente es máxima, permanece sin ser afectada por la presencia de la resistencia en el circuito; el factor de potencia, también, vale aún  $\cos \phi$  como en la forma sencilla del circuito en serie.

Ejemplo: Si el circuito de la fig.1.45 tiene una resistencia de  $35 \Omega$ , una inductancia de  $0.5$  henrys, y una capacitancia de  $18 \mu\text{F}$ , y se alimenta con  $220 \text{ V}$  investigar su operación a  $60 \text{ Hz}$ .

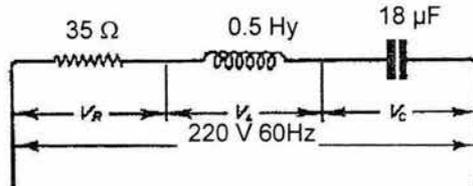


Fig.1.45

Solución:

Para  $X_L$

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi fL \\ &= 2\pi(60)(0.5) \\ &= 188.5 \Omega \end{aligned}$$

Para  $X_C$

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{2\pi fC} \\ &= \frac{1}{2\pi(60)(18\mu)} \\ &= 147.4 \Omega \end{aligned}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \rightarrow \quad Z = \sqrt{(35)^2 + (188.5 - 147.4)^2}$$

$$Z = \sqrt{2914.21} \rightarrow Z = 53.98 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{53.98} = 4.08 \text{ Amp. En atraso}$$

$$V_R = (4.08)(35) = 142.8 \text{ V}$$

$$V_L = (4.08)(188.5) = 769.08 \text{ V}$$

$$V_C = (4.08)(147.4) = 601.4 \text{ V}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{35}{53.98} = 0.6483 \rightarrow \phi = \cos^{-1} 0.6483 = 49.57^\circ$$

#### INDUCTANCIA Y CAPACITANCIA EN PARALELO.

También en este caso empezaremos por una combinación sencilla de inductancia y capacitancia alimentadas por una fuente de corriente alterna, pero ahora conectadas en paralelo, como en la fig.1.46. Si solo el inductor se conectara tomaría una corriente  $I_L$  retrazada  $90^\circ$  con el voltaje aplicado  $V$ ; si el capacitor fuera el conectado al circuito, la corriente  $I_C$  adelantaría  $90^\circ$ . Con los dos en el circuito, la corriente resultante  $I$  es la suma vectorial de las corrientes en los dos ramales; y, puesto que están en antifase, la suma es igual a su diferencia numérica, por lo que su valor será menor que el de la corriente mayor, con la cual se encuentra en fase, pudiendo también ser menor que cualquiera de ellas.

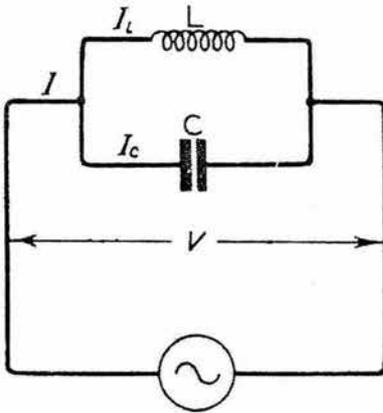


Fig.1.46.a

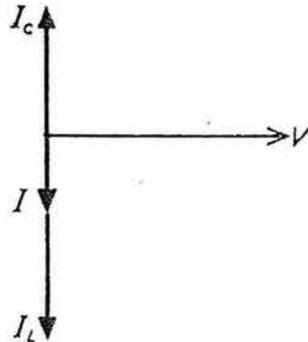


fig.1.46.b

#### RESONANCIA EN PARALELO.

La condición representada en la fig. 1.46.b es la que tiene debajo de la frecuencia resonante donde el inductor tiene una menor reactancia y toma una gran corriente. Conforme la frecuencia aumenta acercándose a la resonancia,  $I_L$  disminuye e  $I_C$  aumenta; entonces, en la frecuencia resonante –la cual también aquí es la misma que la frecuencia natural,- las corrientes en los ramales son iguales, y la corriente total es idénticamente cero (fig.1.47).

Arriba de la frecuencia resonante, la corriente aumenta de nuevo, pero adelantada ahora al voltaje.

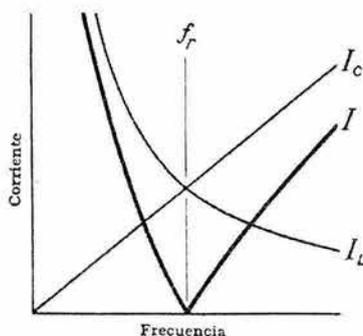


Fig.1.47.

La impedancia es infinitamente grande en la resonancia puesto que no se toma corriente de la fuente; pero se podría objetar, esto significa que la fuente puede quitarse sin afectar la operación lo que, seguramente, es una condición imposible. La explicación estriba en que el circuito en paralelo se encuentra en realidad en un estado de oscilación y, aunque puede considerarse como dos corrientes separadas, es en realidad la misma corriente oscilatoria que, en condiciones ideales, continuaría indefinidamente sin ninguna ayuda externa. Este circuito tiene una gran aplicación en radiocomunicación en donde se le llama el circuito "selector". La sintonización de un receptor de radio consiste esencialmente en cambiar la capacitancia de un capacitor variable en paralelo con un inductor, con objeto de proporcionar una gran impedancia en la frecuencia deseada; así se desarrolla a través del circuito sintonizador una caída de voltaje relativamente grande, pero solo en la frecuencia seleccionada.

#### CIRCUITO RESONANTE EN PARALELO.

Las pérdidas de potencia que tienen lugar en los circuitos prácticos se presentan principalmente en el ramal inductivo, esto es, el debido a la resistencia en el inductor, la cual es equivalente a una resistencia en serie con el inductor. Este circuito puede tratarse de modo semejante al de las combinaciones serie-paralelo.

Ejemplo:

Determinar, en el circuito de la fig. 1.48:

- la corriente y la diferencia de fase en el ramal 1
- la reactancia del ramal 2 que produce resonancia
- la corriente combinada a la frecuencia resonante

con:  $L = 0.064 \text{ Hy}$

$C = ?$

$R = 7 \ \Omega$

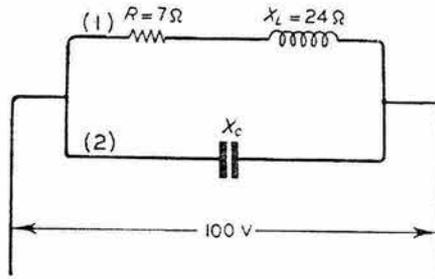


Fig.1.48

Solución:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi(60)(0.064)$$

$$X_L = 24\Omega$$

a)

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \rightarrow Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{7^2 + 24^2}$$

$$\underline{Z_1 = 25\Omega}$$

$$I_1 = \frac{127}{25} \rightarrow I_1 = 5.08 \text{ amp.}$$

$$\cos\phi_1 = \frac{R}{Z} \rightarrow \cos\phi_1 = \frac{7}{25}$$

$$\cos\phi_1 = 0.28 \rightarrow \phi_1 = \cos^{-1} 0.28$$

$$\phi_1 = 73.74^\circ$$

b)

Para calcular  $I_2$

$I_2$  es igual a la componente reactiva de  $I_1$ :

$$I_2 = I_1 \text{sen}\phi_1 \rightarrow I_2 = (5.08)\text{sen}73.74^\circ \rightarrow I_2 = 4.88 \text{ Amp.}$$

$$X_c = \frac{V}{I_2} \quad \rightarrow \quad X_c = \frac{127}{4.88} \quad \rightarrow \quad X_c = 26\Omega$$

c)

Para calcular  $I$ : $I$  es igual a la componente activa de  $I_1$ :

$$I = I_1 \cos \phi_1$$

$$I = (5.08) \cos 73.74^\circ$$

$$I = 1.42 \text{ Amp.}$$

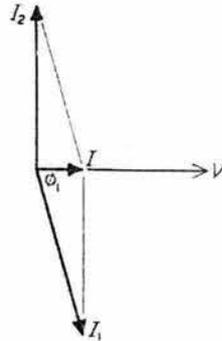


Fig. 1.49.

La resonancia en el ejemplo anterior, se toma como la condición a la cual la corriente combinada está en fase con el voltaje aplicado.

Debe tenerse en cuenta que las reactancias no son iguales en estas circunstancias, de lo que se infiere ahora que la frecuencia resonante no es igual a la frecuencia natural.

## 1.8 POTENCIA

### POTENCIA ELECTRICA EN CIRCUITOS PURAMENTE RESISTIVOS (O EN CIRCUITOS CON C.C).

#### ASPECTOS GENERALES:

Si se aplica un voltaje a un circuito, éste será recorrido por una determinada cantidad de electricidad que se transformará en otra forma de energía (luz, calor, movimiento mecánico, etc.), por lo cual decimos que se realiza un trabajo eléctrico, el cual será proporcional al voltaje y a la cantidad de corriente que recorre el circuito.

Como un mismo trabajo puede realizarse en tiempos diferentes, la rapidez con que éste se realice se llamará potencia y se expresará en unidades de trabajo y de tiempo:

- Joule ( $J$ ): es la unidad de trabajo eléctrico y se define como el trabajo efectuado por un coulombio, con una diferencia de potencial de un voltio.
- La unidad de tiempo que se toma en cuenta es el segundo.

En base a estas dos unidades, potencia eléctrica ( $P$ ) se define como el trabajo eléctrico que se realiza en unidad de tiempo. La unidad es el vatio o watt.

VATIO O WATT (W): Es el trabajo realizado cuando fluye un amperio, con un voltaje de un voltio.

Múltiplos:           Kilowatt (KW) = 1 000 W  
                           Megawatt (MW) = 1 000 000 W = 1 000 KW  
                           Gigawatt (GW) = 1 000 000 000 W = 1 000 MW = 1 000 000 KW

El instrumento que se usa para medir potencia eléctrica es el wattmetro.

#### LEY DE WATT:

Nos indica la relación existente entre la potencia, la corriente y el voltaje. Se enuncia de la siguiente manera:

"La potencia es directamente proporcional a la corriente y al voltaje"

su expresión matemática es:

$$P = VI$$

En los circuitos con C.C., la potencia absorbida esta dada por la anterior ecuación, sin tener en cuenta el tipo de carga que tenga.

En los circuitos con corriente alterna (C.A.), donde la carga sea puramente resistiva, la potencia estará dada por la misma expresión, exactamente como si fuera un circuito con C.C., ya que como  $V$  e  $I$  están en fase y sus valores instantáneos tienen siempre el mismo signo (unas veces positivo y otras negativo), la potencia será siempre positiva e igual al producto del voltaje por la corriente.

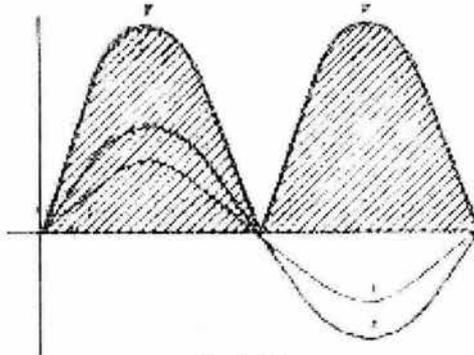


Fig.1.50.

En el presente gráfico podemos ver, en efecto, que, tanto en el primer semiciclo, donde todos los valores son positivos, como en el segundo, en el cual todos los valores son negativos, la potencia es siempre positiva.

De acuerdo con los diferentes sistemas, la ley de watt sufrirá algunas modificaciones. En efecto obtendremos:

- Sistema monofásico bifilar:  $P = V_f I$

- Sistema monofásico trifilar:  $P = V_L I$
- Sistema trifásico:  $P = \sqrt{3} V_L I$

Donde :  $P$  es la potencia en Watts  
 $V_f$  es el voltaje de fase en volts.  
 $V_L$  es el voltaje de línea en volts.  
 $I$  es la corriente en amperes.

#### RELACIONES CON LA LEY DE OHM

Potencia en función de  $V$  y  $R$ :

Según la ley de Ohm tenemos:  $I = \frac{V}{R}$

Sustituyendo este valor de  $I$  en la fórmula de la potencia obtenemos:

$$P = V \left( \frac{V}{R} \right) \rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

Potencia en función de  $I$  y  $R$ :

Según la ley de Ohm tenemos:  $V = IR$

Sustituyendo este valor de  $V$  en la fórmula de potencia obtenemos:

$$P = I(IR) \rightarrow P = I^2 R$$

#### CONCEPTOS:

**ENERGIA ELECTRICA:** Es la cantidad de potencia eléctrica consumida en determinado tiempo.

La unidad que mide la energía eléctrica es el joule o julio.

Joule ( $J$ ): Es la energía consumida cuando pasa un vatio (watt) durante un segundo:

$$J = Wt \text{ (watt X seg.)}$$

**ENERGIA CALORIFICA:** Cuando la corriente fluye a través de una resistencia, la energía eléctrica se transforma en energía calorífica, pudiendo tener efectos útiles o perjudiciales.

**EFFECTO JOULE:** Es la cantidad de calor producido ( $Q$ ) por una resistencia. Es equivalente al producto del voltaje que se aplica a una resistencia en sus extremos, por la corriente que fluye a través de ella ( $I$ ) y por el tiempo ( $t$ ), dado en segundos, que circula la corriente por la misma, todo ello afectado por un coeficiente de proporcionalidad, cuyo valor es 0.24. Se expresa en calorías ( $Cal$ ).

Matemáticamente el efecto joule se expresa así:

$$Q = 0.24(VI)t \quad \text{ó} \quad Q = 0.24(RI^2)t$$

Por su parte, la energía eléctrica, en función de la energía calorífica es igual a:

$$1 \text{ KWh} = 864 \text{ KCal}$$

**POTENCIA DISIPADA O PERDIDA DE POTENCIA:** Es la energía que no se emplea en algo útil, como por ejemplo el calor producido por focos y motores, son casos comunes de potencia disipada en forma de calor.

$$P = I^2 R$$

La pérdida de potencia se puede reducir:

- a) Disminuyendo la intensidad o la resistencia del conductor.
- b) Aumentando el voltaje de alimentación.

**POTENCIA EN CIRCUITOS NO RESISTIVOS:** En los casos en que la carga no es puramente resistiva, por que en ellas se tienen bobinas y/o capacitores, se producirá un desfase entre el voltaje y la corriente, de modo que al aplicar la ley de watt, el producto de V por I no siempre será positivo, sino unas veces positivo y otras negativo, de acuerdo al desfase existente.

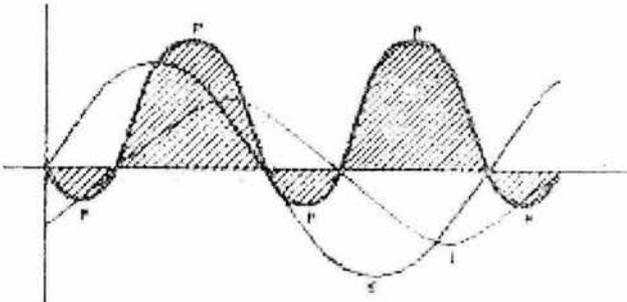


Fig.1.53. Representación de voltaje, corriente y potencia en circuitos no resistivos.

**CLASES DE POTENCIA ELECTRICIA:** Por los aspectos vistos anteriormente, ya no podemos considerar la potencia en forma general (como en los circuitos de C.C. o en los circuitos puramente resistivos), sino que es necesario diferenciar varios tipos de potencias.

**FACTOR DE POTENCIA:** El factor de potencia se define como el coseno del ángulo correspondiente al desfase que existe entre el voltaje total y la corriente total en un circuito con corriente alterna.

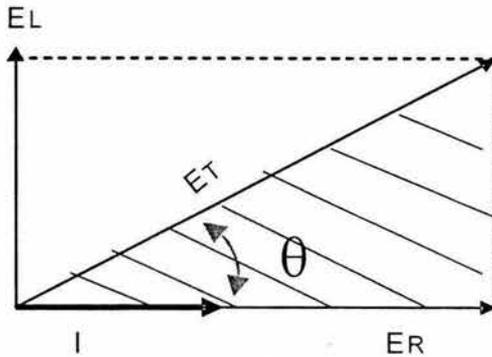


Fig.1.52.

**POTENCIA NOMINAL O APARENTE ( $S$ ):** Es la potencia suministrada por la fuente. Es igual a:

$$S = VI$$

La unidad es el voltampere o voltampere (VA), y tiene como múltiplos:

$$\begin{aligned} \text{Kilovoltampere (KVA)} &= 1\,000\text{ VA} \\ \text{Megavoltampere (MVA)} &= 1\,000\,000\text{ VA} = 1\,000\text{ KVA} \end{aligned}$$

**POTENCIA REAL O EFECTIVA ( $P$ ):** Es la potencia consumida en el circuito. Es igual a:

$$P = VI \cos \phi \quad \rightarrow \quad P = S \cos \phi$$

La unidad es vatio o watt (W), y sus múltiplos ya los hemos visto anteriormente. Existe otra unidad práctica equivalente y que es muy usada en nuestro medio, el H.P. (horse power o caballo de potencia), equivalente a 746 W.

$$1\text{ H.P.} = 746\text{ watts}$$

**POTENCIA REACTIVA ( $Q$ ):** Potencia denominada también desvariada, por no producir potencia a causa de la existencia de inductancias o capacitancias en el circuito, cuya función es proporcionar un campo magnético o cargar los capacitores. Es igual a:

$$Q = VI \sin \phi \quad \rightarrow \quad Q = S \sin \phi$$

La unidad es el voltampere reactivo (VAR), y tiene como múltiplo:

$$\begin{aligned} \text{Kilovar (KVAR)} &= 1\,000\text{ VAR} \\ \text{Megavar (MVAR)} &= 1\,000\,000\text{ VAR} = 1\,000\text{ KVAR} \end{aligned}$$

Estas tres clases de potencias podemos apreciarlas gráficamente en el llamado triángulo de potencias, donde la potencia real está representada por el cateto adyacente, la potencia nominal por la hipotenusa y la potencia reactiva por el cateto opuesto.

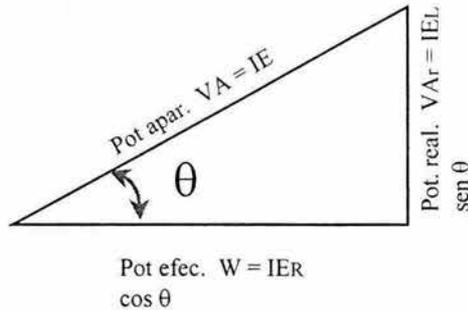


Fig.1.53.

En la realidad contrariamente a lo que sucede en los circuitos puramente resistivos, la potencia efectiva no siempre es igual a la potencia aparente.

En la práctica se tiende a reducir el ángulo de desfase mejorando el factor de potencia, porque si el defasamiento fuera de  $90^\circ$ , el  $\cos \phi$  sería cero, es decir, no se tendría potencia real. El  $\cos \phi$  ideal es 1 y se da solamente en los circuitos puramente resistivos. En esos casos la potencia real y aparente son exactamente iguales.

En los circuitos no resistivos como no es posible obtener este valor, se trata de que el  $\cos \phi$  sea lo más cercano a 1, considerándose un factor de potencia normal de 0.8, pues valores más cercanos a 1 son más bien excepcionales.

#### POTENCIA EN SISTEMAS TRIFASICOS.

#### SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

**SISTEMA POLIFASICO:** Recibe el nombre de sistema polifásico de corriente el conjunto formado por varias corrientes alternas monofásicas, de igual frecuencia y valor eficaz, y que están desfasadas entre sí un ángulo eléctrico igual a  $360^\circ$ , dividido por el número de fases.

Se denomina fase a cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema.

Por excepción recibe el nombre de sistema bifásico aquel formado por dos voltajes alternos monofásicos, desfasados entre sí  $90^\circ$  y no  $180^\circ$ , como se supondría por la definición anterior.

El más utilizado de los sistemas polifásicos es el trifásico (trifilar o tetrafilar), por las ventajas que ofrece: facilidad de transporte, sencillez, menor consumo,

versatilidad de algunas maquinas alimentadas por este sistema (por ejemplo motores asíncronos trifásicos), etc.

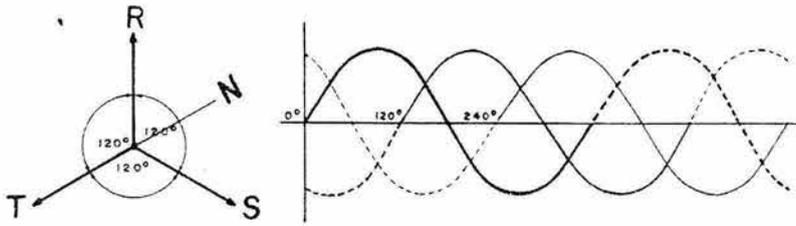


Fig.1.54. Sistema polifásico

La rotación de tres bobinas igualmente espaciadas en el interior de un campo magnético constante, genera tres fuerzas electromotrices inducidas, con voltajes de la misma magnitud, desfasadas entre sí 120°. Estos tres grupos pueden conectarse en estrella o en triángulo.

**CONEXIÓN EN ESTRELLA:** Esta forma de conexión se obtiene uniendo las tres terminales de las bobinas entre sí, formando un punto común llamado punto neutro (de donde se saca el conductor neutro) y las tres salidas quedan libres para entregar los voltajes de las tres fases (R-S-T).

Con esta forma de conexión puede obtenerse un sistema trifásico trifilar o tetrafilar, así como dos tipos de voltajes y/o corrientes: de fase y de línea. Un sistema trifásico trifilar es aquel que consta de tres fases, el sistema trifásico tetrafilar consta de tres fases y el neutro.

- a) Voltaje de fase ( $V_f$ ):  
Es la diferencia de potencial (o voltaje) entre un conductor de línea (fase) y el conductor neutro (RN-SN-TN).
- b) Voltaje de línea o voltaje entre fases ( $V_L$ ):  
Es la diferencia de potencial entre dos conductores de línea (voltaje entre fases = RS = ST = TR).

El valor del voltaje de línea y el voltaje de fase están estrechamente relacionados entre sí.

En efecto:

$$V_{RS} = V_R + V_S \quad \rightarrow \quad V_{RS} = V_L \quad \text{y} \quad V_R = V_S$$

sustituyendo:  $V_L = 2 V_R$  donde  $V_R = V_{RN} \cos 30^\circ$  y  $V_{RN} = V_f$

$$V_L = 2V_f(\cos 30^\circ) \quad \text{y como} \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_L = 2\left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_f\right)$$

$$V_L = \sqrt{3}V_f \quad \text{ó} \quad V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

de modo que el voltaje de línea será  $\sqrt{3}$  veces mayor que el voltaje de fase y a su vez el voltaje de fase, será  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  veces menor que el voltaje de línea.

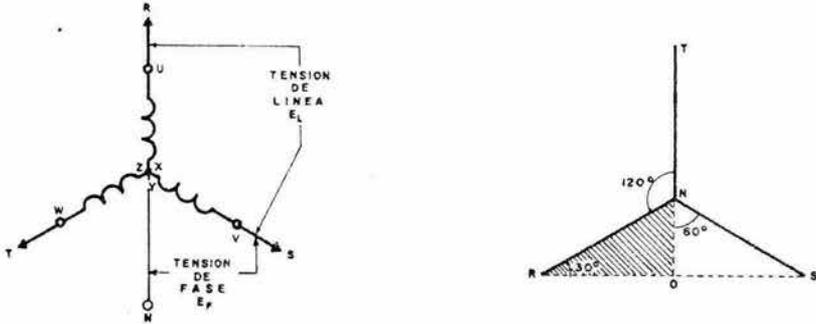


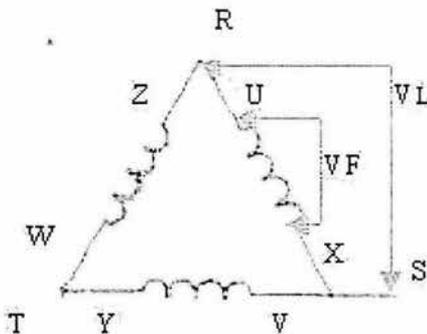
Fig.1.55.

**CONEXIÓN DELTA O TRIANGULO:** Se realiza una conexión en delta cuando se une la terminal de una bobina con el inicio de la siguiente hasta obtener un sistema cerrado.

Las tres fases (A-B-C) se obtienen de los tres puntos de unión. En este caso obtendremos únicamente un sistema trifásico trifilar (sin conductor neutro por carecer del punto común para obtenerlo) con sólo voltaje de línea, ya que el voltaje de fase es igual al voltaje de línea.

En los sistemas trifásicos los voltajes y/o corrientes se dan siempre por sus valores eficaces entre fases o entre fases y neutro, que corresponden a los voltajes de línea y fase respectivamente.

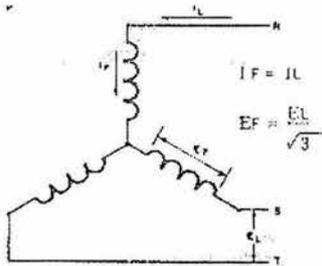
Fig 1.56



En los sistemas trifásicos, existe una diferencia de fase de  $120^\circ$  entre los diferentes voltajes de fase (conductores de alimentación A-B-C).

Como vimos anteriormente existen dos tipos de conexión, estrella y delta en cualquiera de los dos sistemas, la potencia efectiva será igual a la suma aritmética de las potencias efectivas de las tres fases.

De allí que en los sistemas balanceados (cuando las potencias de las tres fases son exactamente iguales) la potencia efectiva total será:



a) En estrella:

$$P_i = 3V_f I_f \cos \phi$$

$$P_i = 3\left(\frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L\right) \cos \phi$$

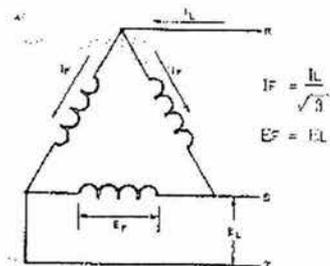
$$P_i = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

De donde se deduce que en los sistemas balanceados tendremos siempre:

$$P = \sqrt{3} VI \cos \phi$$

$$S = \sqrt{3} VI$$

Donde  $V$  e  $I$  son valores de línea.



b) En triángulo:

$$P_i = 3\left(\frac{I_L}{\sqrt{3}} V_L\right) \cos \phi$$

#### POTENCIA EN OTROS SISTEMAS:

**SISTEMA MONOFASICO:** Sistema en el cual se emplea una fase y el neutro (sistema bifilar).

$$S = VI$$

$$P = VI \cos \phi$$

Donde  $V$  e  $I$  son valores de fase.

SISTEMA BIFASICO: en este sistema se emplean dos fases (bifilar) o dos fases y neutro (trifilar), por lo cual se llama también monofásico trifilar.

$$S = \sqrt{2}VI$$

$$P = \sqrt{2}VI \cos \phi$$

donde  $V$  e  $I$  son valores de línea.

## CAPITULO 2

# EL FACTOR DE POTENCIA

### 2.1 DEFINICIÓN

En mecánica la potencia o razón de trabajo realizado se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$P = FV$$

Donde:

P= Potencia en watts (W)

F= Fuerza en newtons (N)

V = Velocidad en metros por segundo (m/s)

En la fórmula anterior, la fuerza y la velocidad están en la misma dirección; como en el ejemplo que se muestra en la figura 2.1, donde para empujar un cuerpo a una velocidad de 1 m/s se requiere aplicar una fuerza de 1000 N. En este caso la potencia es de 1000 W.



*Figura 2.1  
Fuerza aplicada en la dirección  
del movimiento*

Cuando la fuerza, la velocidad y la dirección del movimiento no son colineales como se muestra en la figura 2.2, un factor de corrección debe ser considerado al aplicar la fórmula anterior. Para conservar la misma velocidad y por lo tanto la misma potencia que en el primer arreglo, la fuerza requerida es ahora de 1414 N. El producto directo de esa fuerza por la velocidad resulta ser de 1414 W, que es una fuerza que se designará como aparente ya que no es una potencia real desarrollada. La explicación se desprende de la figura 2.3, en donde se muestra la fuerza y sus dos componentes: OA en la dirección del movimiento y OB que actúa perpendicularmente a éste y que por lo tanto no efectúa ningún trabajo.

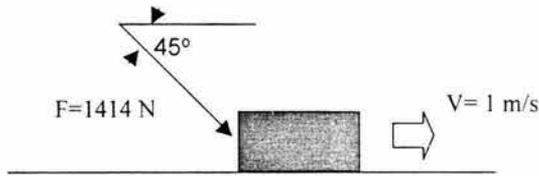


Figura 2.2 Fuerza aplicada con un ángulo con respecto a la dirección del movimiento

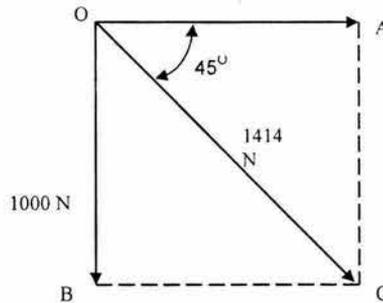


Figura 2.3 Relación vectorial de fuerzas

Para este caso la relación entre la potencia real y la potencia aparente es de  $(1000/1414) = 0.707$ , que también resulta ser el coseno de  $45^\circ$ , el cual es el ángulo que forma la fuerza y la dirección del movimiento. Precisamente el coseno de este ángulo es el factor de corrección y por el que hay que multiplicar el producto de la fuerza por la velocidad para obtener la potencia real.

El factor de potencia ( $\cos \phi$ ) es la relación entre la potencia activa en kW y la potencia aparente en kilovolts-amperes (kVA) y describe la relación entre la potencia de trabajo o real y la potencia total consumida.

Se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima

$$FP = \cos \phi = \frac{\text{Potencia activa (kW)}}{\text{Potencia aparente (kVA)}}$$

$$FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVArh^2}}$$

## 2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TENER UN BAJO F.P.

**Condiciones de voltaje.** Un bajo factor de potencia puede reducir voltajes en la planta cuando los KVAR son exigidos del sistema de distribución. Cuando el factor de potencia decrece, la corriente total de línea se incrementa (mayormente corriente reactiva) causando grandes caídas de voltaje a través de la impedancia de línea. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que fluya multiplicada por la impedancia de la línea. Para mayores corrientes mayor será la caída de voltaje.

**Pérdidas de potencia.** El bajo factor de potencia también puede causar pérdidas de potencia en el sistema de distribución interno de la planta. La corriente en los alimentadores es alta debido a la presencia de la corriente reactiva. Cualquier reducción en esta corriente resulta en menores KW perdidos en la línea.

El hecho de que exista un bajo factor de potencia en una industria produce los siguientes inconvenientes:

### 1) Al suscriptor:

- *Aumento de la intensidad de corriente.*
- *Pérdidas en los conductores y fuertes caída de tensión.*
- *Incrementos de potencia de las plantas, transformadores y reducción de capacidad de conducción de los conductores.*
- *La temperatura de los conductores aumenta y disminuye la vida de su aislamiento.*
- *Aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.*

### 2) A la compañía de electricidad:

- *Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor.*
- *Mayores capacidades en líneas de transporte y transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.*
- *Caídas y baja regulación de voltajes, los cuales pueden afectar la estabilidad de la red eléctrica.*

En caso de que el factor de potencia sea inferior a 1.0, implica que los equipos consuman energía reactiva y por tanto se incrementa la corriente eléctrica que circula en las instalaciones del consumidor y de la compañía suministradora en la medida que el factor de potencia disminuya; los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas,

además, produce alteraciones en la regulación de la tensión, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos.

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a 1.0 tienen las siguientes consecuencias en la medida que este disminuye, además afecta a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión a demás de un incremento de las pérdidas por efecto Joule.

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión  $I^2R$  donde  $I$  es la corriente total y  $R$  es la resistencia eléctrica de los equipos bobinados de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.) Las pérdidas por efecto Joule se manifestarán en:

- *Calentamiento de cables*
- *Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución*
- *Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección*

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar cortos circuito y sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.

El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, debido a que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que éste se rebase.

Aumento de la caída de tensión. Resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

*Los embobinados de los transformadores de distribución*

*Los cables de alimentación, y a los*

*Sistemas de protección y control*

Incremento de la potencia aparente. Con lo que se reduce la capacidad de carga instalada en KVA en los transformadores de distribución.

Incremento en la facturación eléctrica. Ya que un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

## 2.3 TARIFAS ELÉCTRICAS

Son disposiciones específicas que contienen las cuotas y condiciones que rigen para los suministros de energía; así mismo se identifican oficialmente por su número y/o letra(s), según su aplicación.

Una forma para que las empresas de electricidad en el ámbito nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado Bs./KVA, es decir, cobrándole por capacidad suministrada en KVA; o a través de un cargo por demanda facturado en BS./KW pero adicionándole una penalización por bajo factor de potencia (Bs./KVAR).

Las industrias pueden evitar estos cargos tarifarios si ellas mismas suministran en sus propios sitios de consumo la energía reactiva que ellas requieren, la cual puede ser producida localmente a través de condensadores eléctricos estáticos o motores sincrónicos realizando una inversión de relativa poca monta y desde todo punto de vista favorable económica y técnicamente.

Actualmente en México existen 33 tarifas eléctricas, las cuales se pueden clasificar en:

- Domésticas (7)
- Servicio público (3)
- Riego agrícola (2)
- Servicios generales (21)

Dentro de las tarifas de servicios generales se subdividen en: alta (12), media (6) y baja (3) tensión

Las tarifas horarias dan señales económicas claras a los usuarios (principalmente industriales) para hacer un uso más racional de la electricidad

Las tarifas horarias reflejan los costos que para la CFE representa el proveer electricidad en horas pico (que es la hora en la cual CFE tiene que tener el mayor número de plantas en operación)

### Conceptos de facturación eléctrica: Carga y Demanda

Carga instalada: Es la capacidad total en kW conectada a la instalación eléctrica

Demanda: Es el valor en kW medido en un instante

Demanda máxima: Es la demanda medida en kW durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica fue mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en periodo de consumo

Demanda Facturable: Definida por la relación de demandas en los diferentes periodos (tarifas horarias):

Tensión de suministro

Baja tensión: tensión  $\leq$  1000 volts

Media tensión: 1 kV < tensión < 35 kV

Alta tensión (nivel subtransmisión): 35 kV < tensión < 220 kV

Alta tensión (nivel transmisión): tensión  $\geq$  220 kV

Dentro de las tarifas se pueden mencionar:

Tarifa Descripción

- 1 Servicio doméstico: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, DAC
  - 2 Servicio general hasta 25 kW de demanda
  - 3 Servicio general para más de 25 kW de demanda
  - 5, 5A Servicio para alumbrado público
  - 6 Servicio para bombeo de aguas potables o negras, de servicio público
  - 7 Servicio temporal
  - 9 Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión
- O-M Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 100 kW
- H-M Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más
- H-MCTarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o mas, para corta utilización (Baja California)
- H-S, H-T Tarifas horarias para servicio general alta tensión
- H-SL, H-L

HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF, HT-RM Tarifas horarias para servicio de respaldo

I15, I30 Tarifa de uso general para servicio interrumpible

**OM:** Esto incluye el servicio para usuarios que reciban el suministro en voltajes de 1000 a 34500 volts y en los cuales su demanda máxima sea menor a 1000 Kw. Están sujetos al cargo ó bonificación por valores superiores a 0.9. Sin embargo no tienen tarifa horaria.

**HM:** Esta tarifa es para usuarios que reciban el suministro de 1000 a 34500 volts pero cuya demanda sea superior a los 1000Kw y a demás de pagar el cargo por bajo factor de potencia y tener su bonificación serán susceptibles a una tarifa horaria de acuerdo a los periodos de consumo de energía.

**HS:** Son los usuarios que se encuentran en un nivel de voltaje de alimentación superior a los 345000 volts pero menor a los 220000volts y pagan bajo factor de potencia y bonificación por factor de potencia superior a 0.9 y están sujetos también a tarifa horaria.

**130:** Esta es una tarifa interrumpible en la cual los usuarios aceptan un cierto número de interrupciones dentro del año con una duración predeterminada por parte de la CFE con un aviso previo de media hora de antelación, y de esta forma disminuyen sus cargos.

Clasificación

Específicas:

1, 1-A, 1-B, 1-C, 1-D, 1-E, DAC, 5, 5-A, 6, 9 y 9-M

Generales:

2, 3, 7, O-M, H-M, H-MC, H-S, H-T, H-SL, H-TL, HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF, HT-RM, I-15 e I-30

Es importante señalar que desde la tarifa OM hasta la tarifa HT, fueron agregadas posteriormente según el diario Oficial de la Federación del 10 de Noviembre y son para grandes usuarios de energía que obtienen beneficios a cambios de acuerdos establecidos con la CFE. La cantidad de estos usuarios en México es sumamente limitada, también presentan cargos estacionales dependiendo del periodo del año en que los consuman, para beneficiar a la carga por aire acondicionado, como puede verse en la figura 2.4

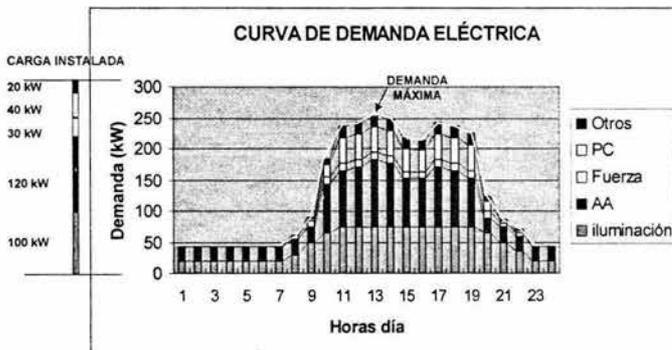


Fig. 2.4 Curva de demanda eléctrica

### Bonificación y penalización del Factor de potencia.

Las compañías suministradoras de energía penalizan a los usuarios que tienen un FP inferior al 90% y los bonifica en caso contrario. En la tabla 2.1 se observan estas condiciones.

Condición	Suministradora	Valores máximos
<b>FP&lt;0.9</b>	<b>Penalización por bajo FP</b> $Penalización (\%) = \frac{3}{5} \times \left[ \frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100$	Penalización 120 %
<b>FP&gt;0.9</b>	<b>Bonificación por alto FP</b> $Bonificación (\%) = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100$	Bonificación 2.5%

Tabla 2.1 Bonificación y recargo para el F.P.

### Factor de carga

Indicador de la forma en que se usa la energía eléctrica en una instalación. Se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima

$$FC = \frac{\text{Consumo de energía (kWh/m)}}{\text{Demanda máxima (kW) x periodo (h/m)}} \times 100 \text{ [\%]}$$

$$FC = \frac{\text{Demanda media (kW)}}{\text{Demanda máxima (kW)}} \times 100 \text{ [\%]}$$

### Principales cargos

Cargo por demanda máxima medida

Cargo por consumo

Bonificación por alto factor de potencia o cargo por bajo factor de potencia, según sea el caso

Derecho de alumbrado público (DAP)

Impuesto (IVA)

**Ejemplo:****Tarifa 3**

Servicio general para más de 25 kW de demanda

Aplicación: Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía eléctrica en baja tensión a cualquier uso, con una demanda de más de 25 kilowatts

En la tabla 2.2 se muestran las cuotas aplicables mensualmente en el 2002 (\$/kW y \$/kw/h):

Mes	Cargo kW	Cargo KWh
Enero	\$ 56.01	\$ 0.473
Febrero	\$ 62.00	\$ 0.635
Marzo	\$ 63.36	\$ 0.474

Tabla 2.2 Cuotas

En la figura 2.5 se muestra un ejemplo de recibo eléctrico.

**LUZ Y FUERZA DEL CENTRO**  
MELCHOR OCAMPO 171 COL. TLAXPANA MEXICO, S.F. C.P. 11278 LFC64020677

NUMERO DE SU CUENTA			No. D.C.			FECHA DE FACTURACION			R.F.C. CLIENTE			TARIFA			CANTIDAD DE CREDITOS PAGOS					
37	15	320	0104	2		040193	2001	02	10	CR	R50212	01	3	4	2001	01	01	2001	01	31
27	2	200	1309	8																
REGISTRUM.	LEC. ANT.	LEC. ACT.	CONSTANTE MEDIDOR		CONCEPTO		FACTOR DE POTENCIA		CARGOS		CREDITOS		CLAVE							
6595	1102	1332	400 000		92,000 kWh				62,663.04											
6595		768	400		308 kW				33,150.08											
DEMANDA GENERALIDA					745 kW															
6595	2821	2907	400 000		34,400 \$/kw/h															
RENTA DE FONDO POR FACTOR DE POTENCIA F.P. MISCER. DE 90%							93666		14,234.19		958.53									
I.V.A.																				

NOMBRE O RAZON SOCIAL Y DIRECCION		IMPORTE POR PAGAR	
GRUPO INDUSTRIAL S.A. DE C.V. LONDRES 58 JURQUEZ CUAUTEMOC		5***109,128.80	
C.P.: 06600		EL PAGO DE ESTE IMPORTE NO LO LIBERA DE ADEUDOS ANTERIORES	

Fig 2.5 Ejemplo de recibo eléctrico

En la tabla 2.3 se muestran los datos del recibo de energía eléctrica:

<b>Tarifa</b>	3
<b>Periodo facturación</b>	01-Ene-01 al 31-Ene-01
<b>Tarifa aplicable</b>	Tarifa 3, Enero 2001
<b>Demanda máxima medida</b>	308 kW
<b>Consumo de energía</b>	92,000 kWh
<b>Factor de potencia</b>	0.9367

Tabla 2.3 Datos de un recibo eléctrico

#### Determinación de la facturación eléctrica

Cálculo de bonificación por factor de potencia mayor a 0.9

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \frac{0.9}{\text{FP}} \right] \times 100$$

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \frac{0.9}{0.9367} \right] \times 100 = 1.0 \%$$

Cuotas aplicables para el mes de enero de 2001

<b>kW máxima</b>	<b>kWh</b>
<b>\$ 107.760</b>	<b>\$ 0.68112</b>

### Cálculo de la facturación (\$)

Se muestra en la tabla 2.4 el cálculo de facturación para este ejemplo.

Cargos	Valor	Cargo	Total (\$)
Consumo de energía	92,000 kWh	\$ 0.68112	62,663.04
<b>Total consumo</b>			<b>62,663.04</b>
Demanda máxima	308 kW	\$ 107.760	33,190.08
<b>Total demanda</b>			<b>33,190.08</b>
<b>Total consumo y demanda</b>			<b>95,853.12</b>
Bonificación por F.P. mayor a 0.90	\$ 95,853.12	-1.0 %	- 958.53
<b>Total energía eléctrica</b>			<b>94,894.59</b>
IVA (15%)	\$ 94,894.59	15 %	14,234.19
<b>Total a facturar</b>			<b>109,128.80</b>

Tabla 2.4

## 2.4 METODOS DE CORRECCIÓN PARA EL BAJO F.P.

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.

### Motores Síncronos

Los motores síncronos pueden también actuar como generadores de KVAR. Su capacidad para generar KVAR es función de su excitación y de la carga conectada; cuando operan en baja excitación no generan los suficientes KVAR para suplir sus propias necesidades y en consecuencia los toman de la red eléctrica.

Cuando operan sobreexcitados (operación normal) suplen sus requerimientos de KVAR y pueden además entregar KVAR a la red; en este caso son utilizados como compensadores de bajo factor de potencia

## El Capacitor

El capacitor elemental, es un componente constituido básicamente por dos placas paralelas, separadas a una distancia mínima por un dieléctrico, ver Figura 2.6

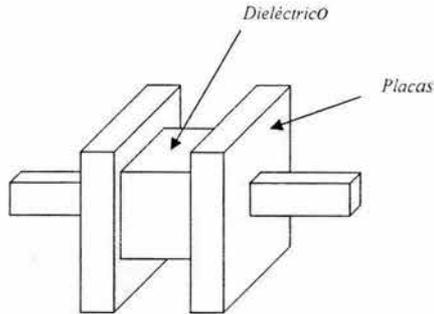


Fig. 2.6 Esquema básico de un capacitor

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 2.7

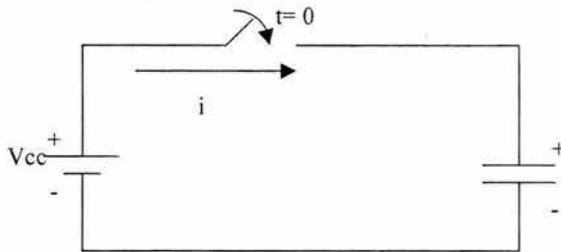


Fig. 2.7 Circuito capacitivo

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, anulándose 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.

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 punto máximo y la corriente es cero empezando a cargarse el capacitor nuevamente como se ve en la figura 2.8

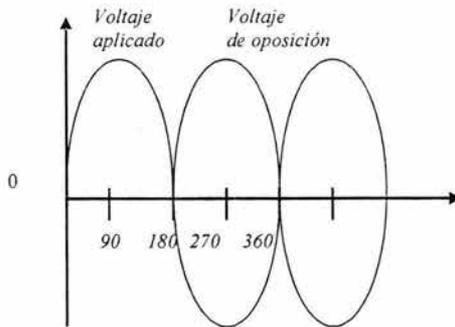


Fig. 2.8 Relación entre voltaje y corriente

En la figura 2.8 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 2.9

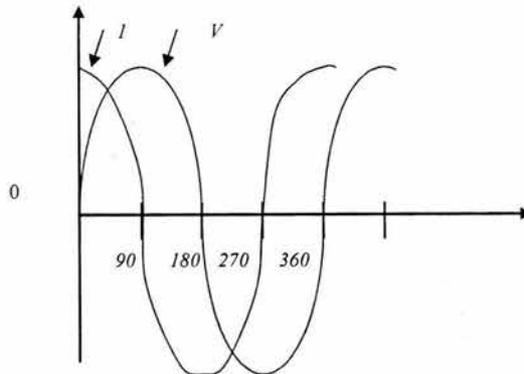


Fig 2.9 Defasamiento entre voltaje y corriente

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 sobretensiones 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 soportar los embates de trabajo y seguir funcionando normalmente.

La tabla 2.5 nos muestra la resistencia dieléctrica de varios materiales y el voltaje que soporta el material.

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

*Tabla 2.5*

De la expresión:

$$Q=C*V$$

Donde:

Q = Carga

C = Capacitancia

V= Voltaje

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  $\mu$ f, si se conecta a una red de 240 v. no dará un valor mayor a 10  $\mu$ f. 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 Ampers

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 disminuída al aumentar la capacitancia o la frecuencia.

## 2.5 TIPOS DE CAPACITORES

Los capacitores de potencia o uso industrial son construidos y diseñados de diferentes formas, las cuales están basadas 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.

*Condensador en aceite:*

Dieléctrico: Papel impregnado en aceite

Armadura: Hoja de aluminio

*Condensador en piraleno:*

Dieléctrico: Papel impregnado en piraleno (aceite aislante sintético)

Armadura: Hoja de aluminio

NOTA: 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.

Las investigaciones realizadas para obtener un líquido aislante, resistente a la oxidación y a la sedimentación, no inflamable y con elevada constante eléctrica a conducido desde hace algún tiempo al desarrollo de aceites sintéticos a base de hidrocarburos clorados llamados en general askareles y conocidos también por sus nombres comerciales: Clopheno, Inerteen, Piranol, Piraleno, etc.

*Condensador de papel metalizado:*

Dieléctrico: Papel impregnado en aceite

Armadura: Capa metálica depositada sobre el papel

*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, estyroxflex, estyropor) y su armadura es de hojas metálicas de aluminio.

*Condensador K.T.:* El dieléctrico esta 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 di eléctrico 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.

*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 autoregenerable, 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.

La figura 2.10 nos muestra la estructura de un condensador de hoja de plástico. (Westinghouse) para una tensión máxima de 500 volts.

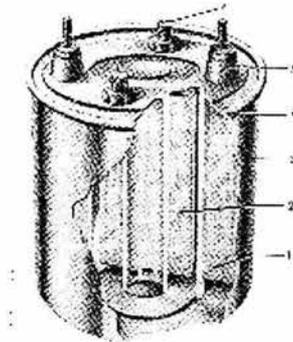


Fig. 2.10 Condensador de hoja de plástico

Donde:

1 y 2.- Bobinas concéntricas, conectadas en paralelo, construidas 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 entranques 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, 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.

El factor de potencia exigido por la empresa eléctrica se puede conseguir en una forma práctica y económica, instalando condensadores eléctricos estáticos o utilizando los motores sincrónicos disponible en su industria.

## **2.6 TIPOS DE CONEXIÓN.**

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

Conexión en derivación (o en paralelo)

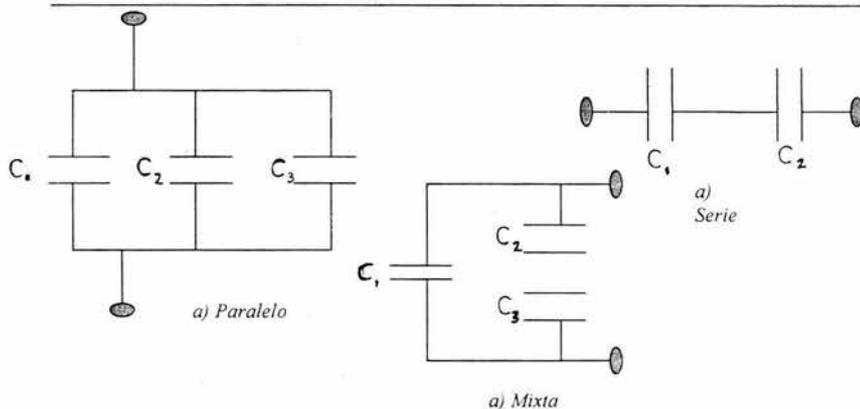
Conexión en serie

Conexión mixta

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

2.- Conexión en serie. En este caso la armadura interior de cada condensador esta 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 conectado a un solo condensador se perforaría el dieléctrico.

3.- Conexión mixta. En este tipo de conexión el arreglo se hace uso de los tipos de conexión antes mencionados. Como se observa en las figuras 11 a), b) y c)



Este tipo de conexión se realiza para formar un grupo, banco o batería de capacitores. Y estos 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:

➤ Conexión estrella o Y

➤ Conexión delta o triángulo

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

## 2.7 TIPOS DE COMPENSACION.

### Compensación individual

La compensación individual se refiere a que cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo. A continuación se describen dos métodos de compensación individual, uno para motores y el otro para transformadores.

### Compensación individual de motores.

Para llevar a cabo la compensación de un motor, lo primero que hay que comprobar es si el motor ha de ser conectado directamente o mediante un conmutador de estrella-triángulo.

Con conexión directa del motor, por ejemplo con un interruptor de seguridad para el motor, puede realizarse la compensación de forma muy sencilla. El condensador puede conectarse directamente a los bornes  $U$ ,  $V$  y  $W$  del motor,

sin requerirse mas accesorios. La potencia reactiva del condensador necesaria para la compensación puede obtenerse a partir de la tabla.

Tabla 2.6

Potencia nominal del Motor kW	Potencia reactiva del Condensador kVAR
4	2
5.5	2
7.5	3
11	3
15	4
18.5	7.5
22	7.5
30	10
>30	aproximadamente 35% de la potencia nominal del motor.

Que valor en kVAR de potencia reactiva del condensador se necesitara para la compensación individual de un motor de corriente trifásica con una potencia nominal de 55 kW?

R.- En la tabla de 2.6 vemos que se necesita un 35% de la potencia nominal del motor aproximadamente:

$$(0.35)(55kVAR) = 19.2kVAR$$

### Conmutación estrella-triángulo para motores de corriente trifásica.

La conexión directa de motores de corriente trifásica no resulta siempre posible, debido a las altas corrientes de arranque (de 6 a 8 veces la corriente nominal del motor). En estos casos se utilizan motores que se adecuan al arranque en estrella-triángulo. Para la compensación individual de motores accionados manualmente con un conmutador en estrella-triángulo normal, hay que tener en cuenta lo siguiente:

Se utilizan únicamente aquellos condensadores en los que las tres capacidades parciales sean accesibles individualmente (seis bornes de conexión). La conexión tendrá que ser del mismo tipo que la reflejada en el esquema eléctrico ofrecido pues en caso contrario pueden producirse intensas corrientes y considerables aumentos de voltaje al conmutar o interrumpir. Durante el arranque del motor en conexión estrella solo actúa un tercio de la potencia reactiva del condensador.

*Nota: Conmutadores estrella-triángulo manuales de tipo usual deberán ser utilizados tras haber instalado los condensadores y con potencias de motor de 20 kW como máximo. En caso contrario, es mejor utilizar conmutadores estrella-triángulo para motores compensados de corriente trifásica.*

### **Conmutadores estrella-triángulo especiales.**

Existen conmutadores especiales para la conexión estrella-triángulo de motores compensados de corriente trifásica. Mediante la utilización de estas se evitan las extracorrientes y sobre-tensiones perjudiciales que puedan producirse al conectar (en el caso de haberse elegido la potencia reactiva correcta para el condensador). Pueden utilizarse condensadores de corriente trifásica normales con conexión en triángulo, la totalidad de la potencia reactiva del condensador también se encuentra disponible para el arranque del motor en conexión en estrella.

### **Constitución general de una batería de condensadores.**

- a) conexión en estrella
- b) conexión en triángulo

En la red interior de una instalación industrial la batería de condensadores puede conectarse antes del transformador reductor, es decir, en la parte de alta tensión de dicho transformador por las ventajas que ofrece su empleo en alta tensión y para compensar también el factor de potencia del propio transformador; para la instalación, de condensadores en el lado de alta tensión es más conveniente la conexión en estrella.

Cuando los condensadores se instalan en el lado de alta tensión estos se conectan en estrella. Hasta 6 kV la instalación se realiza con elementos individuales (con tensiones superiores se conectan varios elementos en serie). La batería de condensadores de alta tensión se monta en una celda propia interior o a la intemperie, según los casos y se conecta a las barras colectoras de la instalación de alta tensión. Como aparatos de maniobra se emplean:

*Para pequeñas potencias, desconectores de gas a presión y cortacircuitos*

- *fusibles.*
- *Para grandes potencias, disyuntores de gas a presión o de pequeño volumen de aceite.*

Como dispositivos de descarga de los condensadores se emplean:

- *Los devanados de alta tensión del propio transformador de la subestación transformadora.*
- *Resistencias de descarga.*
- *Reactancias de descarga.*
- *Transformadores de tensión con conexión en  $V$  dejando abiertos los secundarios.*

El método de compensación individual es el tipo de compensación más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor.

La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El arrancador para el motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor solo.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando.
- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva. No obstante, este método presenta las siguientes desventajas:
- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- Existe sub-utilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Es importante mencionar que para no incurrir en una sobre compensación de la potencia inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

La compensación individual es rentable sobre todo en motores grandes con operación continua y en transformadores. En la mayoría de estos casos, los condensadores se pueden conectar al equipo sin necesidad de aparatos de maniobras ni fusibles, y se maniobran y protegen junto con él, como se muestra en la figura 2.12.

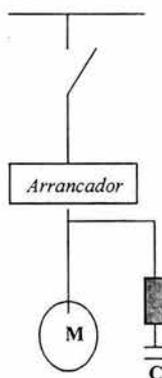


Fig2.12Compensación individual

La compensación individual es el tipo de compensación mas efectivo. El condensador puede colocarse directamente junto a la carga, de esta manera, la mayor parte de la corriente reactiva fluye únicamente a través de los cortos conductores existentes entre el condensador y la carga. Sin embargo la compensación individual puede influir negativamente, bajo ciertas condiciones, en el comportamiento de la carga a compensar.

La potencia reactiva del condensador no deberá ser muy alta, pues en caso contrario puede darse una "sobrecorrección", por ejemplo, un incremento del voltaje con efectos perjudiciales.

Este es el motivo, por el que el condensador debe contrarrestar únicamente la potencia reactiva, que la carga necesita en situación sin carga.

### Compensación individual de transformadores.

Los valores reflejados en la tabla son los recomendados para la compensación individual de la potencia reactiva de los transformadores de alimentación.

A la potencia nominal del transformador se le ha asignado en la tabla la potencia reactiva del condensador, que hay que conectar en le secundario del transformador.

Potencia nominal del transformador kVA	
100	4
160	6
250	15
400	25
630	40
1000	60
1600	100

Tabla 2.10

### Compensación Por Grupos

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos.

La compensación en grupo presenta las siguientes ventajas:

- Se conforman grupos de cargas de diferente potencia pero con un tiempo de operación similar, para que la compensación se realice por medio de un banco de capacitores común con su propio interruptor.

- Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores.
- El banco de capacitores se utilizan únicamente cuando las cargas están en uso.
- Se reducen costos de inversión para la adquisición de bancos de capacitores.
- Es posible descargar de potencia reactiva las diferentes líneas de distribución de energía eléctrica.

Cuando hay un grupo de equipos conectados conjuntamente, se pueden tomar los condensadores en lugares apropiados, por ejemplo, en un tablero de compensación y para evitar que se produzcan sobrecompensaciones, los equipos y los condensadores tienen que estar conectados conjuntamente. En la figura 2.13 se muestra el tipo de conexión. En este caso es conveniente realizar un análisis más detallado para definir los grupos y forma de compensación según las características de operación de la industria.

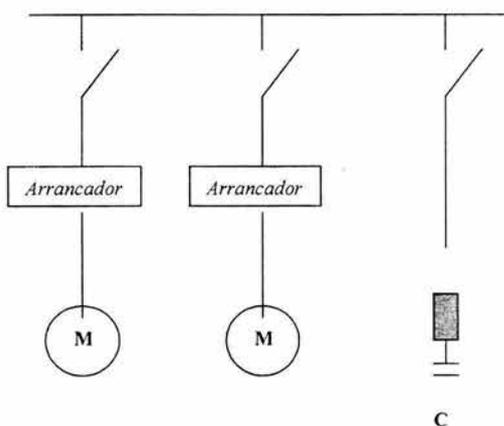


Fig2.13 Compensación en grupo

### Compensación Central Con Sistema De Regulación

Cuando hay un gran número de equipos de potencias diferentes y conexión variable, resulta muy apropiada la compensación central con un sistema de regulación a fin de mantener constante el factor de potencia de la instalación. Mostrado en la figura 2.14

Cuando la compensación se efectúa centralmente se facilitan los trabajos de mantenimiento, al contrario de lo que ocurre en la compensación individual en donde los condensadores están distribuidos por separado, por ejemplo, en las

lámparas fluorescentes. No obstante, hay que tener en cuenta que en la compensación central la potencia reactiva es transmitida desde el tablero de comunicación hasta los equipos a través de sistemas de distribución internos de la planta, sobrecargándolos.

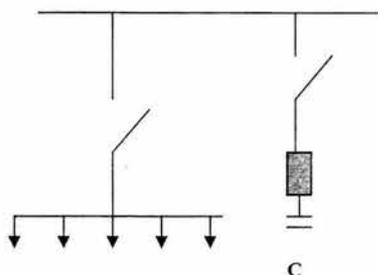


Fig2.14 Compensación central

**Los componentes esenciales de un sistema de compensación central son:**

- *Condensadores.*
- *Un regulador* de la potencia reactiva que mide a través de transformadores de intensidad, el consumo de potencia reactiva en la acometida, y transmite las órdenes de conexión o desconexión a los contactores de maniobra de los condensadores.
- *Fusibles* para las derivaciones de los condensadores.
- *Contactores* para maniobrar los condensadores.
- *Un dispositivo para descargar* los condensadores una vez desconectados de la red.

En el caso de regulación automática, el regulador de potencia reactiva conecta automáticamente los condensadores. Cuando la carga es aproximadamente simétrica, el regulador mide la potencia reactiva en un conductor activo, y si la carga es asimétrica, en los tres conductores activos los reguladores de potencia reactiva se conectan a través de transformadores de intensidad con relación al sentido de flujo de la energía, dichos transformadores deben estar situados por delante del sistema de regulación.

Si no se realiza la conexión correctamente, los condensadores se conectan ya a una carga inductiva reducida, puestos que la compensación no es efectiva para los transformadores de intensidad. Al desconectarse los equipos, queda fuera de servicio el sistema de regulación, ya que no fluye corriente a través del transformador de intensidad. Los conductores permanecen conectados y la

energía sobrante fluye a la red. En tal caso se establece una sobrecompensación.

Cuando hay varias acometidas, hay que considerar la corriente reactiva de cada una de ellas y mediante un transformador totalizador se suman las intensidades correspondientes y se transmiten al sistema de regulación si son iguales las relaciones de transformación de los transformadores de intensidad, se puede utilizar un transformador intermedio, en lugar de totalizador.

El sistema de compensación central se dispone generalmente en las proximidades de la instalación de maniobra principal de baja tensión. El sistema de compensación se extiende a toda la instalación incluyendo los aparatos de alumbrado.

Para mantener constante el factor de potencia independientemente de las radiaciones del consumo de potencia reactiva, los condensadores se conectan o desconectan automáticamente por etapas. La elección del número y la magnitud de estas depende de las condiciones de servicio. La experiencia ha demostrado que conviene dividir la potencia del condensador en cinco etapas. Para una potencia total de 50KVAR se conectan, por ejemplo, tres condensadores de 10, 20 y 20 KVAR respectivamente. Los reguladores han de ser insensibles dentro de un margen determinado, para impedir que oscile el sistema de regulación.

### **Bancos de condensadores Fijos.**

En plantas industriales, la forma más práctica y económica para la corrección del bajo factor de potencia es la utilización de condensadores. La corriente del condensador es usada para suplir en su totalidad o en parte, las corrientes magnetizantes requeridas por las cargas. Los condensadores mejoran el factor de potencia debido a que sus efectos son exactamente opuestos a los de las cargas reactivas ya definidas, eliminando así el efecto de ellas.

No se debe efectuar una compensación excesiva ya que, en tal caso, resulta una potencia reactiva capacitiva con problemas similares a la inductiva. Además, en caso de sobrecompensación se puede establecer un aumento de la tensión de los equipos con respecto a la de la red.

Para determinar la potencia de los condensadores a utilizar en sistemas de compensación central o por grupos, se suma el consumo de potencia reactiva de todos los equipos teniendo en cuenta un factor de simultaneidad adecuado.

Al instalar bancos de condensadores fijos, o bancos que van a quedar permanentemente conectados a la línea deben instalarse cuchillas desconectoras que permitan desconectar los condensadores durante las operaciones de mantenimiento sin que sea necesario paralizar el resto de la instalación. La figura 2.15 muestra un banco de capacitores fijos.

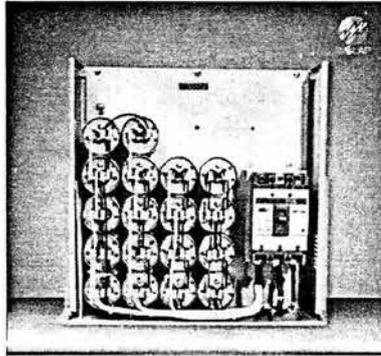


Fig. 2.15 Banco de capacitores fijo con pastilla.

### Bancos de condensadores automáticos.

Al instalar bancos desconectables, es decir, bancos que entran y salen de operación con cierta frecuencia operado manual o automáticamente, deben conectarse cuchillas desconectoras que permitan desconectar tanto condensadores y equipos de conexión y desconexión, a fin de facilitar el mantenimiento de ambos equipos. La figura 2.16 muestra un banco de capacitores automático. Como se puede observar este modelo difiere en tamaño y funciones del fijo.



Fig. 2.16 Banco de capacitores automáticos

## 2.8 INSTALACION Y OPERACIÓN DE CONDENSADORES

Midiendo la energía activa y reactiva en instalaciones ya existentes se puede calcular la potencia necesaria del condensador para obtener el factor de potencia deseado. También se pueden conectar durante cierto tiempo registradores de la potencia activa y reactiva para obtener información sobre el consumo de energía reactiva. Si se desea alcanzar un valor determinado del

factor de potencia en una instalación cuyo factor de potencia existente se desconoce, se determina este con ayuda de un contador de energía activa, un amperímetro y un voltímetro. Existen diferentes métodos para realizar estas mediciones de los cuales se hablará en el capítulo 4.

### Localización de condensadores y motores sincrónicos.

En sistemas de 240 a 600 voltios y siempre que sea posible, los condensadores deben ser localizados en o cerca de las cargas a fin de obtener el mínimo costo y los máximos beneficios. La localización más efectiva es lo más cerca de la carga.

En el caso de motores sincrónicos, no es fácil lograr esta flexibilidad; usualmente los motores sincrónicos son de gran potencia y no son económicos para la operación a 240 o 480 voltios, que es el voltaje común en las plantas industriales. Sin embargo siguen vigentes los principios ya mencionados, esto es corrección a la carga cuyo factor de potencia se desea mejorar.

Los condensadores deben instalarse respetando las distancias mínimas entre condensador y condensador que recomiendan los fabricantes y en una disposición tal que sean fácilmente desconectables y reemplazables, a fin de facilitar la buena y continua operación de los mismos. Estas notas se refieren a la instalación de condensadores destinados a la corrección del factor de potencia en sistemas eléctricos cuyos voltajes nominales estén comprendidos entre 220 y 600 voltios.

### Protección

Los condensadores deben instalarse con dispositivos de protección contra sobrecorrientes que provengan tanto de fallas de un condensador, como cualquier cortocircuito de la instalación. La capacitancia interruptiva de estos dispositivos debe ser la adecuada para la magnitud de sobrecorrientes que deban relevar. La siguiente figura 2.16 muestra un capacitor con interruptor sensible a presión.

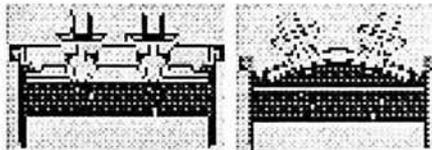


Fig. 2.16 Capacitor con interruptor sensible a presión

Cuando los condensadores se instalan entre un motor eléctrico y su dispositivo de protección, no es necesario instalar un dispositivo especial para los condensadores.

### Protección con fusibles.

Pueden usarse fusibles de potencia tipo estándar tanto para la protección general de la instalación como para la protección individual de los condensadores. La protección general debe efectuarse con tantos fusibles como líneas energizadas existan. Las protecciones individuales de los condensadores monofásicos pueden efectuarse con un solo fusible por condensador y la de los condensadores trifásicos con dos fusibles por condensador. Si los condensadores llevan instalados fusibles internos, pueden instalarse la protección individual como es el caso de la figura 2.17. La corriente nominal de los fusibles no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal capacitiva que soporten.

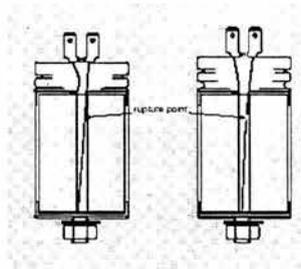


Fig. 2.17 Capacitor con fusible interno

### Protección con interruptores

Pueden usarse interruptores magnéticos o termomagnéticos. O cualquier otro tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar siempre que se tomen en cuenta los márgenes de corriente especificados por el fabricante de los equipos al ser operados con cargas capacitivas puras. La corriente nominal del interruptor en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

Los condensadores deben instalarse con un dispositivo de desconexión capaz de interrumpir la corriente de cada uno de los conductores energizados, con la excepción del caso en que los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de conexión y desconexión. En este caso, el dispositivo de conexión y desconexión del motor pueden servir para operar el motor y los condensadores juntos.

No es necesario que el dispositivo de desconexión interrumpa al mismo tiempo la corriente de todos los conductores de energizados.

Como dispositivo de conexión y desconexión pueden usarse cuchillas, contactores magnéticos o termomagnéticos, o cualquier tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar, siempre que se tome en cuenta las especificaciones del fabricante en estos equipos al ser operados para cargas capacitivas puras. La corriente nominal del dispositivo de conexión y desconexión en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

El dispositivo de conexión y desconexión debe ser capaz de soportar en posición de contactores cerrados, la corriente de cortocircuito del sistema en el punto donde se encuentren instalados los condensadores, aún cuando no este planeado o no sea capaz de interrumpir dichas corrientes de cortocircuito.

#### **Precauciones con condensadores impregnados con askareles.**

Los condensadores impregnados con askareles deben llevar una placa especial en donde se indique que el impregnante es un elemento contaminante del medio ambiente y que no debe ser arrojado a los caños del drenaje.

#### **Puesta a tierra de los tanques.**

Los tanques de condensadores a sí como la cubierta o gabinetes que sirvan de protección de sus partes vivas, deben instalarse conectados a tierra.

#### **Dispositivo de descarga.**

Los condensadores deben contar con un dispositivo de descarga que asegure que el voltaje entre bornes de baja a 50 volts., o menos durante el primer minuto después de su desconexión. Este dispositivo puede ser interno o externo a los tanques de los condensadores y pueden estar conectado permanentemente, o bien conectarse automáticamente al salir de la operación los condensadores. El accionamiento de los dispositivos de descarga no deben efectuarse manualmente.

Los devanados de motores o transformadores, conectados en paralelo con los condensadores, pueden considerarse como dispositivos de descarga eficaces, siempre que no exista un equipo de desconexión o fusibles internos entre dichos devanados y los condensadores.

#### **Ventilación**

Los condensadores deben instalarse de forma que la ventilación por convección no quede entorpecida por ningún obstáculo. Cuando los condensadores se instalen dentro de un gabinete, puede ser conveniente hacerlo funcionar con ventilación forzada. En cualquier caso, las temperaturas ambiente del local o del interior del gabinete donde se encuentren funcionando los condensadores, no deben sobrepasar los límites recomendados por las normas del fabricante del mismo.

No es recomendable instalar los condensadores cerca de superficies radiadoras de calor cuya temperatura sea superior a la temperatura ambiente.

#### **Frecuencia y voltaje de operación.**

Los condensadores pueden ser operados a frecuencias y voltajes inferiores a sus valores nominales. Esto implica una disminución de la potencia reactiva proporcionada, que es directamente proporcional a la frecuencia y al cuadrado del voltaje.

Sin embargo, los condensadores, no deben colocarse en frecuencias o voltajes superiores a sus valores nominales. La fluctuaciones de voltaje no deben exceder los límites superiores permitidos especificados por los fabricantes de los condensadores. En condensadores tipo intemperie este límite será 10% de sobrevoltaje, con respecto al voltaje nominal de los condensadores.

#### **Capacidad de conducción de corriente de la instalación.**

La corriente nominal de los cables o barras conductoras, equipos de conexión y desconexión, cuchillas, etc. Debe ser, como mínimo, el 135% de la corriente nominal capacitiva que soportan. Con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal de los condensadores.

#### **Voltaje nominal del equipo accesorio**

El voltajes nominal de los contactores, interruptores, cuchillas desconectadoras, fusibles, etc. ; no debe ser inferior al voltaje de línea a la que estén conectados a los condensadores.

#### **Operación rápida de conexión y desconexión**

No es recomendable volver a conectar en línea un condensador que se encuentre todavía cargado. Estas implicaciones especiales, tales como la corrección del factor de potencia de motores para grúas y elevadores, bancos de condensadores de secciones desconectables que entran y salen rápidamente de operación, por medio de un control automático, que es posible que haya que volver a conectar condensadores que acaban de salir de operación. En estos casos es recomendable instalar dispositivos especiales de descarga rápida, que sean capaces de descargar los condensadores en pocos segundos antes de que vuelvan a entrar en operación, o bien, usar equipo de conexión y desconexión provisto de un aditamento capaz de limitar las sobrecorrientes y sobrevoltajes transitorios asociados con la conexión de los condensadores.

### **Control.**

Cuando se instalen condensadores que entren y salgan de operación automáticamente, debe tenerse especial cuidado en la selección según las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen.

### **Instalación en condiciones anormales de operación.**

Se considera como condiciones anormales de operación:

*Exposición a choques mecánicos o vibraciones.*

*Exposición a superficies radiadoras de calor, que se encuentran a temperaturas superiores a la temperatura ambiente.*

*Montaje que dificulte la ventilación de los condensadores.*

*Operación a temperaturas ambientes más altas que la temperatura ambiente permisible según la norma de fabricación de los condensadores.*

*Operación a altitudes mayores de los 1800 metros sobre el nivel del mar.*

*Operaciones de redes con forma de onda de voltaje distorsionada.*

En estos casos, se considera recomendable que el fabricante de los condensadores sea puesto en antecedentes de las condiciones en que se pretende operar.

### **Instalación en zonas peligrosas.**

Se consideran zonas peligrosas:

*Atmósferas con humo o vapores corrosivos.*

*Atmósferas con polvo o vapores conductores, inflamables o explosivos.*

En estos casos deben tomarse medidas de seguridad reglamentarias y poner antecedentes al fabricante de los condensadores. Los condensadores pueden ser instalados al interior, o a la intemperie, si han sido fabricado por soportar este tipo de operaciones.

Instalación al interior. Las partes vivas de los condensadores quedan protegidos por medio de cubiertas o gabinetes que impidan el contacto directo con personas o otros equipos.

Instalaciones a la intemperie. En caso de no usarse cubiertas de protección o gabinetes, los condensadores deben instalarse protegidos por medio de una cerca o montados sobre una estructura elevada que deje las partes vivas a la altura reglamentaria correspondiente, según el voltaje. Los condensadores tipo intemperie deben contar con un acabado, clase aislado y nivel básico de impulso para este uso. Se considera recomendable 1,2 KV. de su aislamiento y 30 KV. de nivel básico de impulso.

### **Datos de placa de características**

Los condensadores deben ir provistos de placas de características que indiquen:

*Nombre del fabricante.*

*Voltaje nominal del condensador (voltaje aplicable entre bornes)*

*Potencia reactiva nominal, o bien corriente nominal por fase.*

*Frecuencia.*

*Numero de fases.*

*Tipo de conexión cuando los condensadores sean trifásicos.*

*Numero de catalogo o especificación del fabricante.*

*Numero de serie del condensador*

*Tipo de impregnaste y numero de litros cuando este sea combustible.*

*Indicación de si el condensador cuenta o no con un dispositivo de descarga interno.*

### **Información básica requerida para calcular un banco de condensadores de potencia.**

- Datos de suministro: Voltaje entre fases, Frecuencia, Numero de fases.
- Localización de equipos de medición: Alta y baja tensión
- Voltajes de distribución
- Capacidades de los principales transformadores de potencia
- Datos de la tarifa eléctrica, método de la determinación de costos.
- Datos de carga, tantos como sean posibles: Demanda máxima en KW o KVA
- Factor de potencia a la demanda máxima
- Demanda promedio en KW o KVA
- Factor de potencia de la demanda promedio
- Potencia total en HP o KW de los motores instalados
- Lista completa de motores de 20 HP y mayores, dando potencia en HP, KW, velocidades, tipos y servicios.
- Para grandes instalaciones, diagrama unifilar, indicando los principales tableros y alimentadores de distribución, así como la potencia en HP o KW conectado a cada uno.
- Temperatura media y máxima durante las 24 horas del día más caluroso del año.
- Altura sobre el nivel del mar.

## **CAPITULO 3**

# **EQUIPOS QUE ALTERAN EL FACTOR DE POTENCIA**

### **3.1 EQUIPOS RELACIONADOS CON UN BAJO FACTOR DE POTENCIA**

La presencia de equipo que produce cargas inductivas tales como motores de inducción, transformadores, lamparas, 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.

En la tabla 3.1 se indican valores típicos de factor de potencia, expresado en porcentaje para diferentes equipos industriales, donde los valores corresponden a factores de potencia en atraso, con excepción de los capacitores donde el factor de potencia es en adelanto, y de los motores y condensadores síncronos, que pueden presentar las dos características.

Tabla 3.1

<i>Equipo</i>	<i>Factor de potencia en %</i>
Motores de inducción	
De fase partida	55 a 75
De fase partida integrales	75 a 85
Polifásicos jaula de ardilla de alta velocidad	75 a 90
Soldadoras de tipo transformador	50 a 60
Soldadoras de tipo motor generador	50 a 70
Hornos eléctricos de arco	80 a 90
Hornos eléctricos de inducción	60 a 70
Compresoras de aire	50 a 80
Soldadoras de arco	35 a 60
Alumbrado con lamparas de carga	70 a 80
Alumbrado fluorescente	75 a 80
Lamparas incandescentes	100
Hornos y aparatos de calefacción basándose en resistencias eléctricas	100
Motores síncronos	Variable
Condensadores síncronos	Variable
Capacitores (en adelanto)	85 a 95

### 3.2 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.

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 se debe 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.

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 3.1 se muestra el estator de un motor de inducción.

Físicamente el estator está formado por la cubierta de acero sólido 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.

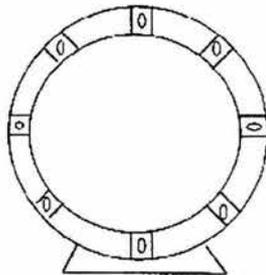


Figura 3.1 Estator de un motor de inducción

El estator incluye bloques espaciadores que constituyen conductos de aire radial de extremo abierto en la estructura a través de los cuales 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 3.2 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.

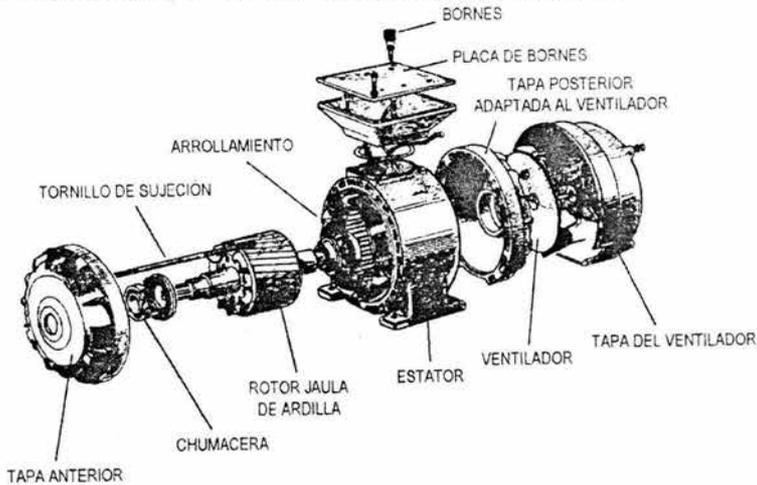


Fig. 4.2 Motor jaula de ardilla

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

Otro tipo de rotor es el llamado rotor devanado como se puede apreciar en la figura 3.3. Este rotor cuenta con un arrollamiento trifásico que usualmente se conecta en Y.

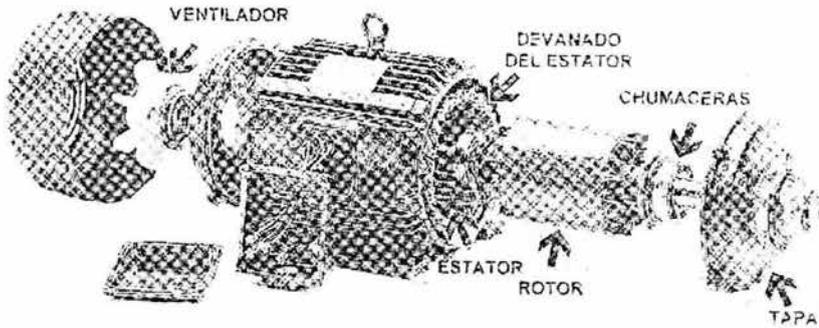


Fig. 3.3 Motor de rotor devanado

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 se muestra en la figura. Y aunque 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.

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 3.2

**Tabla 3.2**

Potencia del motor (Kw)	Velocidad del motor en r.p.m.				
	3000	1500	1000	750	600
Hasta 0.25	0.79	0.72	0.65	0.64	--
0,37 a 0.8	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	0.88	0.85	0.81	0.80	--
2 a 3,5	0.89	0.86	0.82	0.82	--
7,5 a 11	0.89	0.87	0.85	0.84	0.84
15 a 22	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85
30 a 50	0.90	0.88	0.88	0.87	0.86
50 a 100	0.90	0.90	0.88	0.89	0.88
	0.91	0.90	0.89	0.90	0.89

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 20% del valor unitario.

En la figura 3.4 se expresa gráficamente la variación de potencia de un motor de inducción en función de la carga.

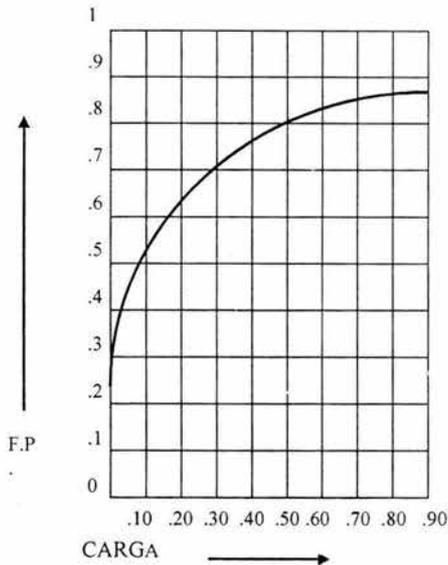


Fig. 3.4 Potencia vs Carga en un motor de inducción

Como se puede apreciar en la gráfica, el factor de potencia es máximo a plena carga. La tabla 3.3 indica los factores de potencia de los motores de inducción a diferentes cargas.

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 3.3

Carga en % de la plena Carga	Factor de potencia en % del factor de potencia a plena carga
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 brinde al equipo eléctrico de una instalación industrial debe ser realizado de manera consciente, 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 también los entrehierros de los motores procediendo a ajustarlos si fuese necesario, así como reparar los motores dañados y reemplazar los defectuosos.

En este caso hay que tener en cuenta que si al desconectar el motor no se separan los condensadores de los arrollamientos, pueden resultar en los bornes del motor una tensión debido a la autoexcitación que se mantendrá hasta que el motor se pare. Esto se evita eligiendo los valores recomendados para la compensación individual de motores.

#### **Arranque mediante un interruptor normal estrella-delta de accionamiento manual.**

Con esta conexión los condensadores permanecen conectados a la red durante la conmutación de estrella a delta. Además toda la potencia del condensador es efectiva aún en la conexión estrella.

#### **Arranque mediante un interruptor estrella-delta por contactores.**

En este caso, el condensador está conectado a la red a través de un contactor el cual impide la autoexcitación, y las conexiones en oposición de fase. Durante el arranque del motor (conexión estrella) es ya efectiva la potencia total del condensador. Para descargar este después de la desconexión hay que prever un dispositivo de descarga. Para los condensadores con potencia de hasta 50KVAR aproximadamente se utilizan resistencias óhmicas de descarga, y para los condensadores con potencias superiores, bobinas de reactancia.

#### **Corrección de factor de potencia para motores de inducción.**

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose condensadores entre el motor y su equipo de arrastre y parada, la potencia reactiva de los condensadores no debe exceder a la necesaria corrección del factor de potencia del motor por unidad, en condiciones de marcha en vacío.

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose los condensadores entre el motor y su dispositivo de protección térmica, deben recalibrarse los elementos teniendo en cuenta la nueva corriente que toma el motor con el factor de potencia corregido.

### 3.3 LAMPARAS

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.

#### LÁMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE.

Las 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 3.5 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 se desaprovecha para irradiar luz, 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 Lámparas de filamento
- 9.- Orificio exhaustor

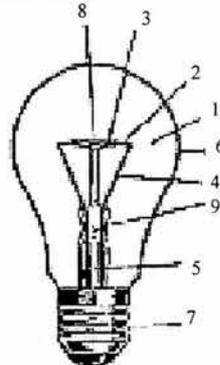


Fig. 3.5 Esquema básico de una lámpara de

Existe una muy amplia variedad de tipos de focos incandescentes, 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.

## 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 3.6 nos muestra el aspecto físico de la lámpara fluorescente de tubo.

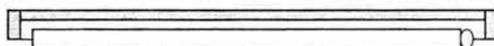


Fig. 3.6 Lámpara fluorescente de tubo

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

- Lamparas de cátodo caliente
- Lamparas 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.

### 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 3.7 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.

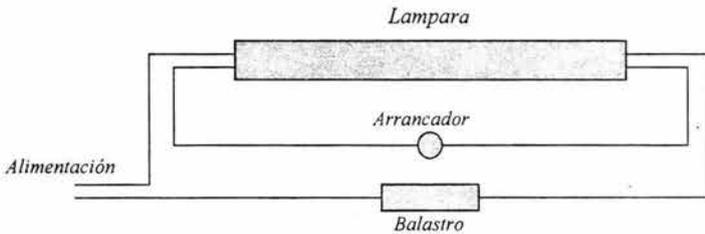


Fig. 3.7  
Circuito simple de una lámpara fluorescente

Las lámparas de encendido instantáneo son de dos tipos:

- 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.
- 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 3.8a y 3.8b nos muestra los diferentes modos de conexión para lámparas fluorescentes. Por lo que es conveniente realizar la elección correcta del equipo eléctrico a utilizar, al llevar a cabo un proyecto de iluminación.

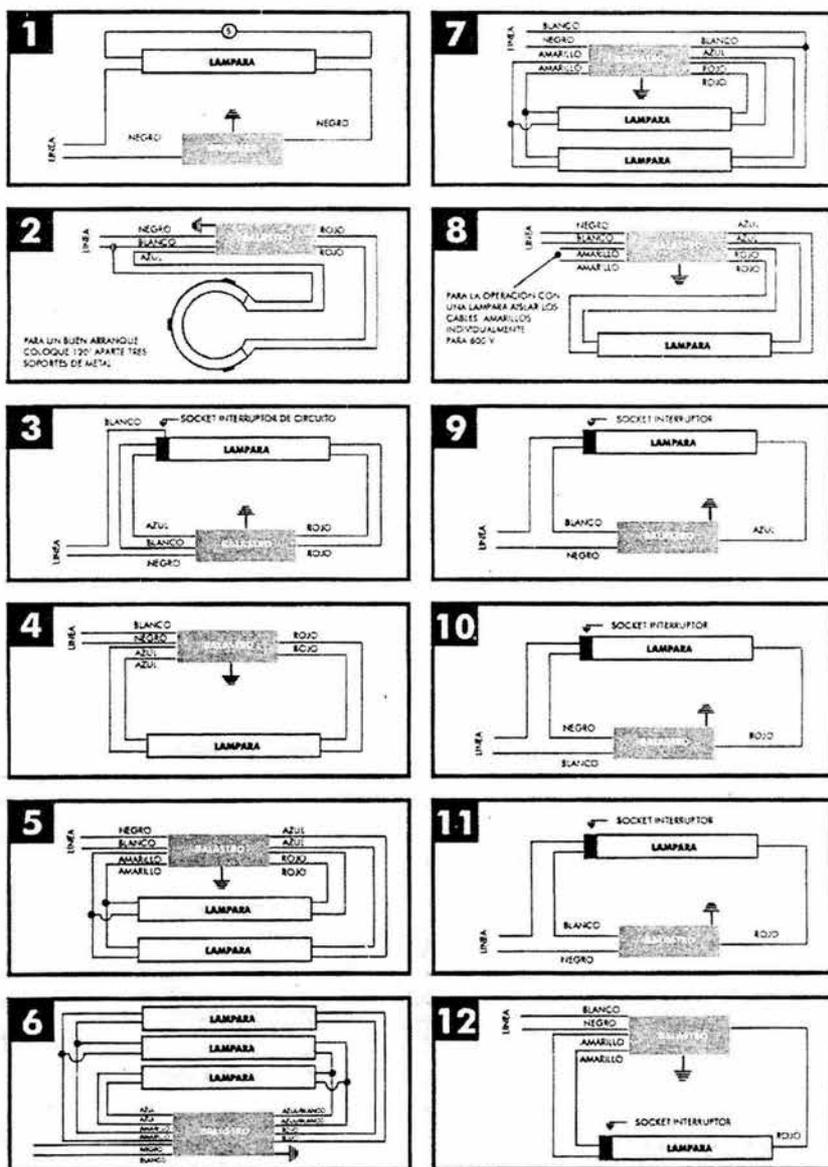
DIAGRAMAS DE CONEXION PARA BALASTROS **LUMICON** 60 Hz.

Fig 3.8 a)

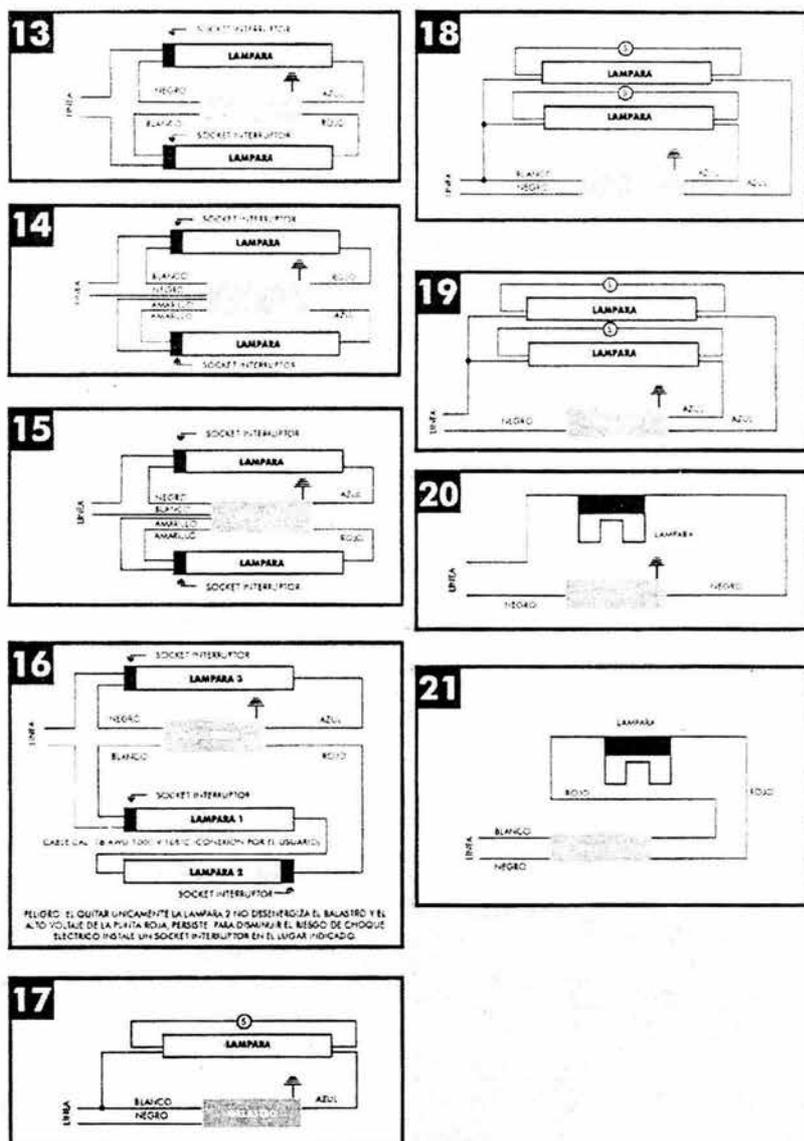


Fig 3.8 b)

En una instalación con lámparas compensadas individualmente pueden fallar los condensadores, sin que ello se perciba. Generalmente estas fallas no se notan hasta que los interruptores de medida indican un incremento de la potencia reactiva.

La tarea de encontrar los condensadores defectuosos resulta complicada y costosa, por lo que en las instalaciones de iluminación de gran envergadura conviene utilizar una compensación central o por grupos.

### **3.4 TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

El transformador, es definido como una máquina estática que convierte energía eléctrica alterna de 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.

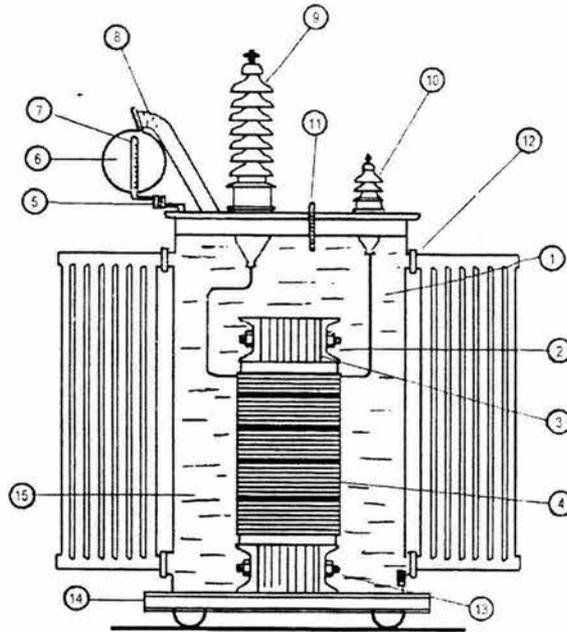
Por lo mismo, la potencia de corriente alterna permite que sea generada en una central, que sea elevado luego su nivel de voltaje para la transmisión a largas distancias con pérdidas muy pequeñas y por último, que se pueda disminuir su

voltaje para la utilización final. Como las pérdidas de transmisión en las líneas de un sistema de potencia son proporcionales al cuadrado de la

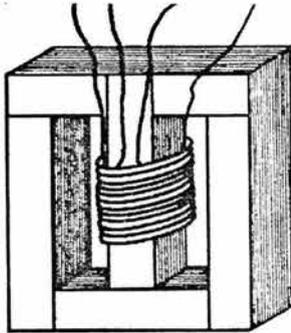
corriente de la línea (pérdidas =  $P$ ), el incrementar el voltaje de transmisión y reducir la corriente correspondiente en un 10% mediante transformadores, reduce las pérdidas en un 100%. Sin el transformador simplemente sería imposible transmitir energía eléctrica a grandes distancias. En la figura 3.9 se muestran las partes esenciales de un transformador.

Fig. 3.9 Partes esenciales de un transformador

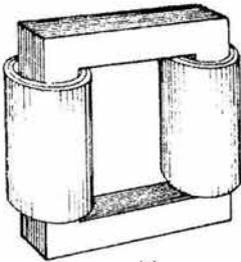
### PARTES ESENCIALES DEL TRANSFORMADOR



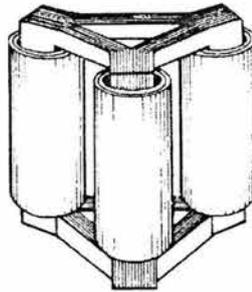
1. Tanque.
2. Tubos radiadores.
3. Núcleo (circuito magnético).
4. Devanados.
5. Relé de protección Buchholz.
6. Tanque conservador (8 a 10% del volumen del tanque).
7. Indicador del aceite.
8. Tubo de escape en caso de explosión.
9. Boquillas o aisladores de potencia (alta).
10. Boquillas o aisladores de potencia (baja).
11. Termómetro.
12. Conexión de los tubos radiadores al tanque.
13. Tornillos opresores para dar rigidez al núcleo.
14. Base de rolar.
15. Refrigerante.



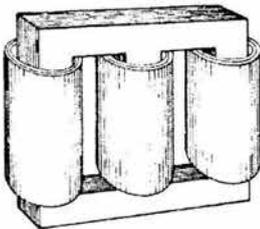
TRANSFORMADOR DE TIPO ACORAZADO



(a)



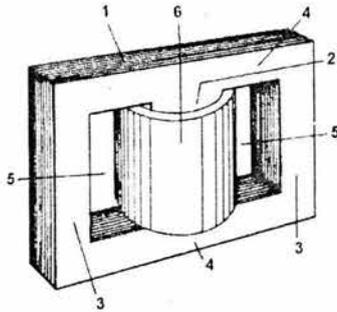
(b)



(c)

#### TIPOS DE NÚCLEOS DE COLUMNAS

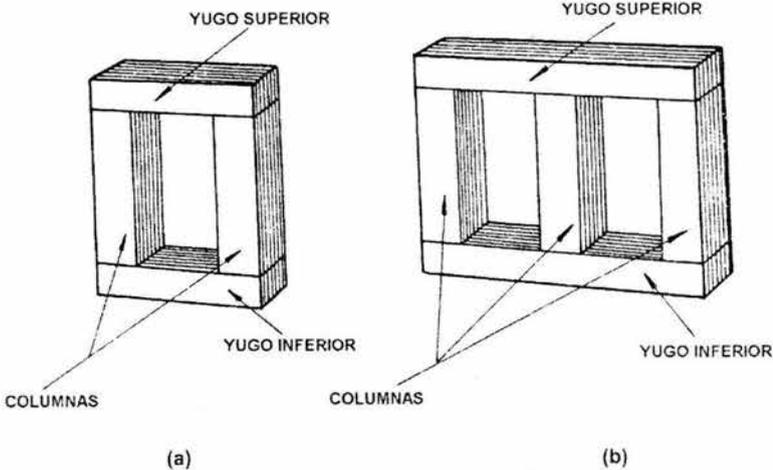
- a. Para transformador monofásico.
- b. Para transformador trifásico (núcleo simétrico).
- c. Para transformador trifásico (núcleo asimétrico).



NÚCLEO ACORAZADO

**NÚCLEO ACORAZADO**

1. Núcleo.
2. Columna central.
3. Piernas laterales
4. Yugos superior e inferior.
5. Ventana.
6. Devanado.



**DENOMINACIÓN DE LAS PARTES FUNDAMENTALES DE UN NÚCLEO MONOFÁSICO (a) Y TRIFÁSICO (b)**

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 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 dárselos 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 (110v y 220v) es llamado transformador de distribución.

Todos estos dispositivos, son en esencia los mismos; la única diferencia entre ellos es su utilización específica.

En la tabla 3.4 se muestra la clasificación de algunos de los diferentes tipos de transformadores:

**Tabla 3.4**

<i>Tipos de transformadores</i>	
<i>Por el número de fases</i>	<i>Monofásico Trifásico</i>
<i>Por la forma del núcleo</i>	<i>Acorazado Concéntrico</i>
<i>Por su medio de refrigeración</i>	<i>Aceite OA, OA/FA* Seco AA, AA/FA**</i>
<i>Por su capacidad</i>	<i>Distribución 500 KVA y 69 KV</i>
<i>Por el tipo de servicio</i>	<i>Interior, exterior, especial</i>

- 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".

### **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 comentes 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°C T ambiente) = T 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 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. 3.9 nos muestra la gráfica de histéresis para el transformador, la de voltaje en el primario y el flujo total, así como la comente de magnetización.

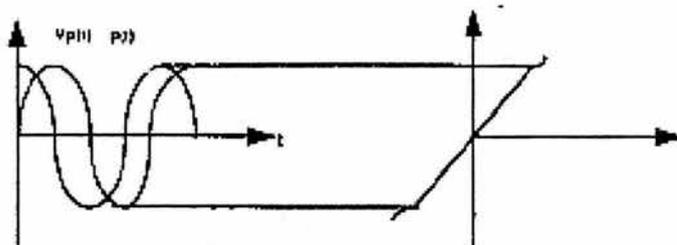


figura 3.9 Gráfica de histéresis

La componente fundamental de la corriente de magnetización retrasa en 90° 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. 3.10

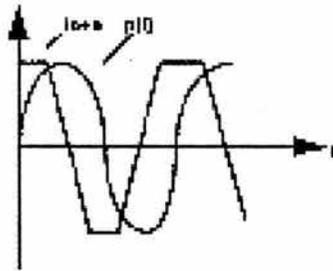


Fig. 3.10

De donde:

- 1) No es lineal debido a la ausencia de 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.

Según las normas de distribución, para compensar la potencia reactiva de transformadores (sin tener en cuenta la red) hay que prever en el lado de baja tensión condensadores de las siguientes potencias.

Las sobrecompensaciones (lo cual equivale a una potencia capacitiva) originan aumentos de tensión, que se pueden calcular en forma aproximada de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_k \cdot Q_c}{KVA_N}$$

Siendo:

U= el aumento de tensión en % de la tensión nominal del transformador.

U<sub>k</sub>= la tensión de cortocircuito del transformador, en %

Q<sub>c</sub>= la potencia nominal del condensador en KVAR

KVA<sub>N</sub>= la potencia nominal del transformador, en KVA.

Para una tensión de cortocircuito del transformador U<sub>k</sub>=6% y para una compensación del transformador del 100% de potencia capacitiva, resulta un aumento de la tensión del 6%. Estos aumentos de tensión son generalmente reducidos y en algunos casos no se consideran.

### Compensación de transformadores

Cuando se corrige el factor de potencia de un transformador con un condensador instalado en el secundario del mismo, y existe la posibilidad de que los condensadores y el transformador trabajen en vacío, la potencia reactiva de los condensadores expresada en KVAR no debe exceder del 10% de la potencia nominal del transformador, expresada en KVA.

### 3.5 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.

### Tipos de soldadoras

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

**Tabla 3.5**

<i>Tipos de soldaduras</i>	
<i>Soldadura por fusión</i>	<i>Por gas, Termita, De arco eléctrico</i>
<i>Soldadora por presión</i>	<i>Por fuego, por resistencia</i>
<i>Soldadora fuerte</i>	
<i>Soldadora por arco</i>	

*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 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.

*Soldadura 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.

*Soldadura 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.

*Soldadura 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.

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

En este tipo de soldadura el calor necesario lo produce un arco voltaico establecido entre la pieza que se solda 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.

Características generales de la soldadura por arco

La figura 3.11 nos muestra los materiales utilizados en este tipo de soldadura.

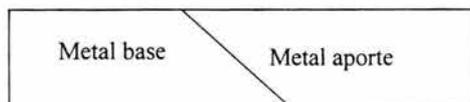


Fig. 3.11 Materiales usados con soldadora de arco

Donde:

Material base: Son las piezas por unir

Material de aporte: Es el material con que se solda

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.

Circuito básico de la soldadora por arco

La figura. 3.12 nos muestra el diagrama básico de la soldadora por arco.

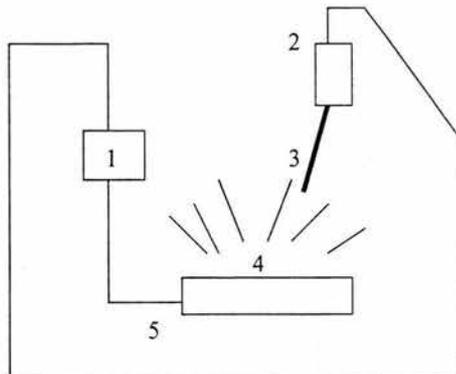


Fig. 3.12 Soldadora por arco

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 hacia el 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.

Máquinas de soldar (generadores 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 esta 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 3.6 se pueden apreciar los voltajes típicos para soldar diferentes metales:

Tabla 3.6 Voltajes típicos

Tipo De Metal	Espesor del material (in)	$\phi$ del material en (in)	AMP	Volts de arco
Acero inoxidable	1/4	0.036	130 – 163	180 – 24
	1/8	0.045	220 – 295	22 – 30
Alineación	1/8	0.094	110 – 125	13 – 16
	1/4	0.063	240 – 290	24 – 30
Aluminio	1/8	3/64	110	20
	1/4	1/16	200	25 - 28
Acero carbón	al 1/4	0.045	350	29
	1/8	1/16	475	32

La potencia de las máquinas viene dada por el valor de la corriente de salida cuya variación es de 20 hasta 1 200 amperes 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 amperes con una duración de carga del 60%, indica que la máquina puede ser operada sin problemas a 300 amperes. Durante 6 min. de cada 10, si la duración de carga se reduce, la corriente puede ser aumentada al máximo indicada por el fabricante.

### 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.

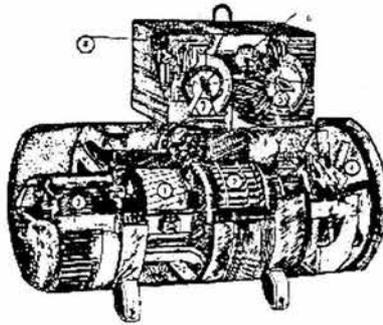
Los generadores de corriente continua se usan mucho en obras de construcción y reparación naval, oleoductos, gasoductos y en aplicaciones especiales, cuando por exigencias del trabajo se necesita laborar en lugares reducidos o demasiado calurosos y en donde la humedad puede poner en

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, gasoductos, 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 3.13 se puede apreciar un tipo de máquina de generación de corriente continua.



*Fig. 3.13 Generador de Corriente Continua y Equipo de Control.*

Donde:

- 1) Motor eléctrico bifásico de accionamiento
- 2) Generador de corriente continua
- 3) Excitador
- 3) 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 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 comente lo acciona y lo hace girar. Con él girarán tanto el generador de comente continua como el excitador, que están situados 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.

### 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 3.14a y 3.14b.

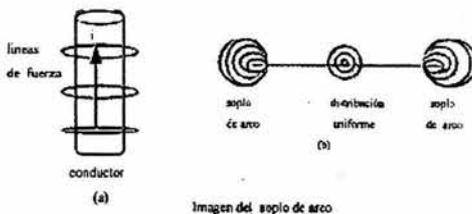


Fig. 3.14a y 3.14b

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 soplandolo 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: 3.15a y 3.15b.

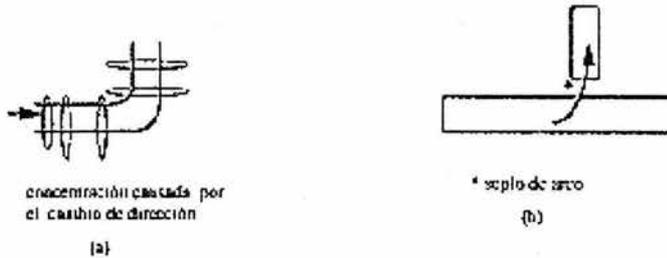


Fig. 3.15a y 3.15b

## TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

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

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 3.16.

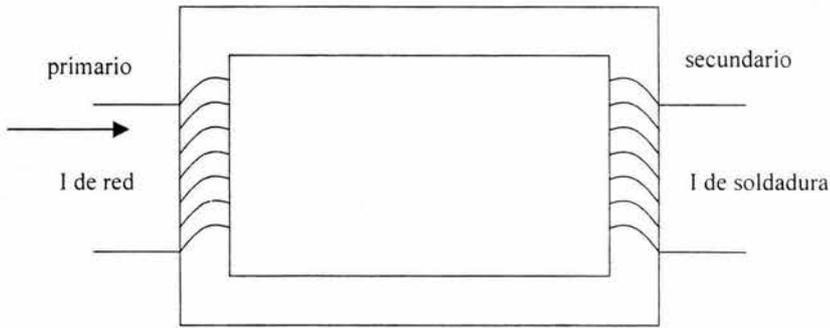


Fig. 3.16 Transformador básico

Por lo común se utilizan transformadores con bobina móvil. Con arrollamiento concéntrico y combinado como se ve en la figura 3.17

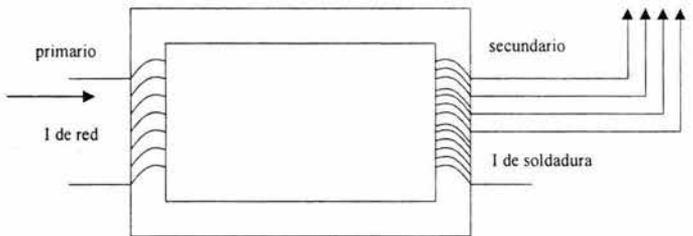


Fig. 3.17 Transformador de CA con derivaciones en el secundario

### 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

## CAPITULO 4

# MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA ELÉCTRICO

### 4.1 MEDICION CON DATOS DEL RECIBO

Cuando se van a realizar estudios del factor de potencia, es imprescindible contar con suficiente cantidad de datos, o en su defecto tomarlos en las instalaciones. Si el estudio es solo para propósitos de disminución tarifara, es suficiente con la información de la factura para determinar los KVAR requeridos.

Basándonos en la factura tenemos la siguiente información que se toma como mero ejemplo:

$$KW=497$$

$$KWH=73.968$$

$$KVARH=107.088$$

A partir de los valores de los KWH y los KVARH se determina el factor de potencia:

$$Tg=\theta 1 \frac{KVARH}{KWH} = \frac{107.088}{73.968} = 1.45$$

Correspondiente a este valor de  $tg\theta 1$  hay un valor de  $\cos\theta 1 = 0.57$  y se desea tener un  $\cos\theta 2$  de 0.9 que equivale a  $tg\theta 2 = 0.4843$ .

$$KVAR \text{ originales } (KW)(tg\theta 1) = (497)(1.45) = 720.6$$

$$KVAR \text{ mejorado } (KW)(tg\theta 2) = (497)(0.4843) = 240.7$$

Luego los KVAR necesarios para mejorar el factor de potencia son:

$$\text{KVAR} = (\text{KW})(\text{tg}\theta_1 - \text{tg}\theta_2) = (497)(1.47 - 0.4843) = 480$$

En las tablas de F.P. se indican los valores de  $(\text{tg}\theta_1 - \text{tg}\theta_2)$  para un amplio rango de condiciones de operación. En el presente ejemplo resulta, para un valor existente de  $\cos\theta_1 = 0.57$  y uno deseado de  $\cos\theta_2 = 0.9$ , un factor  $F = 0.958$

En tal caso, la potencia del condensador necesaria es:

$$\text{KVAR} = (\text{KW})(F) = (497)(0.958) = 476$$

Se eligen los condensadores en los rangos existentes normalizados hasta completar la magnitud exacta inmediata superior, en nuestro caso 500 KVAR. En la tabla número 1 se presenta una lista de los tamaños de condensadores más comunes existentes en el mercado.

#### Bancos fijos de Capacitores con elementos

CODIGO	POTENCIA NOMINAL (KVAR)	TENSION NOMINAL (V)	CORRIENTE NOMINAL (A)
ETAC0043	5.0	230	12.5
ETAC0044	10.0	230	25.0
ETAC0045	17.5	230	37.5
ETAC0046	25.0	230	50.0
ETAC0047	30.0	230	60.0
ETAC0048	37.5	230	75.0
ETAC0049	50.0	230	100.0
ETAC0050	75.0	400	150.0
ETAC0051	100.0	400	200.0
ETAC0052	150.0	400	300.0
ETAC0053	200.0	400	400.0
ETAC0054	250.0	400	500.0
ETAC0055	300.0	400	600.0
ETAC0056	375.0	400	750.0
ETAC0057	500.0	400	1000.0

#### Bancos Automáticos de Capacitores

CODIGO	POTENCIA NOMINAL (KVAR)	TENSION NOMINAL (V)	CORRIENTE NOMINAL (A)
ETAC0005	50	230	126
ETAC0010	75	230	189
ETAC0016	100	230	252
ETAC0020	125	230	315
ETAC0024	150	230	378
ETAC0028	175	230	441
ETAC0034	250	230	628
ETAC0036	300	230	756
ETAC0042	350	230	884
ETAC0048	400	230	1012
ETAC0050	450	400	1140
ETAC0054	500	400	1268
ETAC0056	550	400	1396
ETAC0060	600	400	1524
ETAC0064	650	400	1652
ETAC0068	700	400	1780
ETAC0072	750	400	1908
ETAC0074	800	400	2036
ETAC0076	850	400	2164
ETAC0080	900	400	2292
ETAC0082	950	400	2420
ETAC0084	1000	400	2548
ETAC0085	1100	400	2812

*Tabla. 1 Valores de condensadores más comerciales*

Es oportuno destacar que en relación a los voltajes y tamaños de los condensadores, las diferentes fábricas producen equipos para los voltajes normalizados más utilizados por las empresas de electricidad, aunque también los fabrican para voltajes y tamaños especiales bajo especificación del cliente.

Sin embargo, los tamaños existentes en el mercado son muy numerosos y generalmente se fabrican tanto condensadores monofásicos como trifásico en incrementos de 5KVAR hasta 50KVAR, de 10KVAR hasta 100KVAR y en saldos de 50KVAR hasta 300KVAR. Tamaños mayores requieren pedidos especiales.

En todo caso es importante destacar que la frecuencia de operación de los condensadores debe ser 60Hz.

Aún contando con la información de la factura, es deseable realizar mediciones preferentemente de KW, KVAR y voltaje tanto en circuitos alimentadores principales como en las cargas (en intervalos regulares de tiempo durante los períodos de operación de la planta), lo que nos permitiría diferenciar entre una compensación a nivel de planta una compensación para cargas individuales o una combinación de éstas.

Las mediciones de voltaje son muy importantes si se desea utilizar un control automático de regulación de condensadores.

#### **4.2 MEDICION DE POTENCIA TRIFASICA CON DOS WATTMETROS**

Este método es apropiado para medir factor de potencia KVAR, KW, KVA en cargas conectadas en delta o en estrella que estén balanceados.

Todos los wattmetros monofásicos están contruidos de acuerdo a su principio de operación, con dos bobinas; una bobina que es de corriente (B. C) que se conecta en serie y una bobina de potencia (B. P) que se conecta en paralelo, la lectura que nos da un sistema monofásico es:

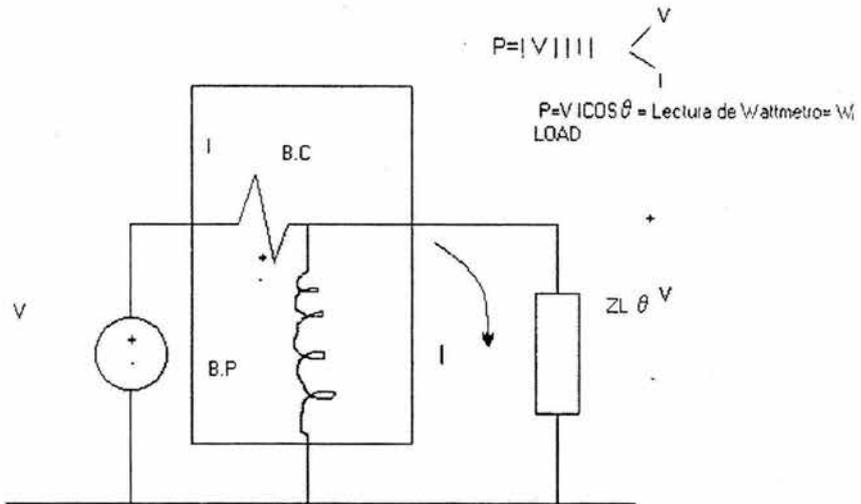


Fig. 4.1 Conexión de un wattmetro

Donde  $V$  es el voltaje aplicado en las terminales de la carga.  $I$  es la corriente que pasa la carga y  $\phi$  es el ángulo de defasamiento entre  $V$  e  $I$  que es el mismo ángulo de la impedancia de carga  $Z = R \pm jX_{LC}$ .

Puede observar en la figura 4.1 la conexión de un wattmetro donde la B.P. esta en paralelo con la carga y mide el voltaje de fase y que la B.C. esta en serie con la carga y mide la corriente de fase.

Ahora bien; cuando conectamos uno o más wattmetros monofásicos en una carga trifásica, las corrientes que medirán las B.C. serán de línea o de fase y los voltajes que medirán las B.P serán de línea o de fase según sea la conexión de la carga (delta o estrella) como se muestra en la figura 4.2.

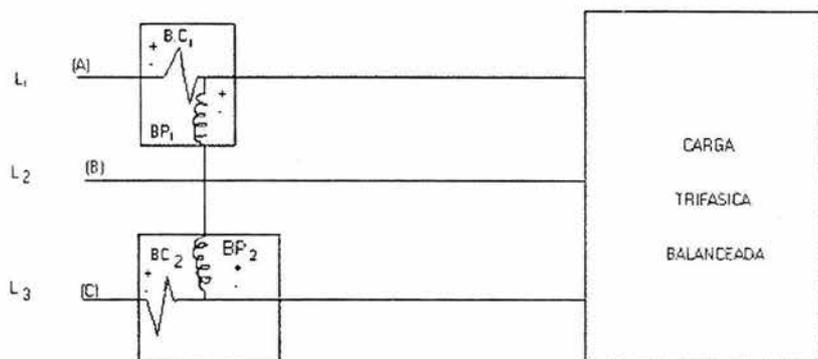


Fig 4.2 Conexión trifásica de wattmetros

$$W_1 = |V_{AB}| |I_A| \cos \phi$$

$$W_2 = |V_{CB}| |I_C| \cos \phi$$

Si la carga es estrella (los resultados que obtendremos en delta serían los mismos). La corriente que mide la B. C es de fase, que es igual a la de línea. La B.P esta midiendo el voltaje de línea, que es igual a raíz de tres veces mayor que el de fase y con 30° de defasamiento.

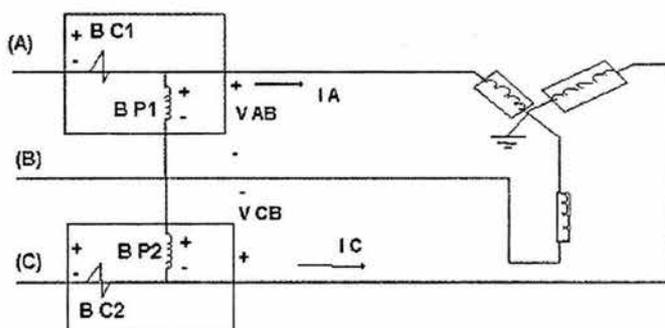


Fig. 4.3 Conexión. estrella

Como se ve en la figura 4.3 la lectura de wattmetro 1 y 2 será:

$$W_1 = |V_{AB}| |I_A| \cos \angle \begin{matrix} V_{AB} \\ I_A \end{matrix}$$

$$W_2 = |V_{CB}| |I_C| \cos \angle \begin{matrix} V_{CB} \\ I_C \end{matrix}$$

Nuestro problema ahora es saber como es el ángulo formado entre el voltaje VAB y la corriente IA para el wattmetro 1 y cual será el ángulo formado entre VCB y IC para el wattmetro 2.

Un diagrama fasorial servirá de ayuda para encontrar cuánto valen esos ángulos; supondremos un sistema de secuencia (+), como el de la figura 4.4.

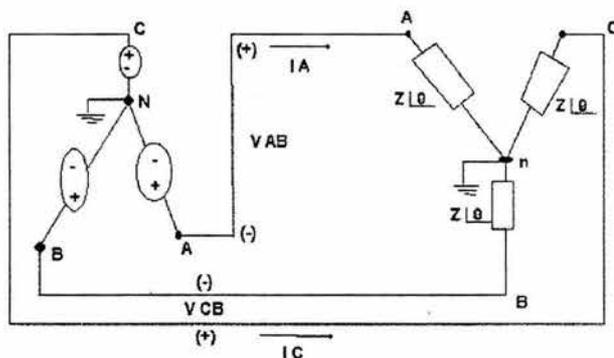


Fig. 4.4 Sistema de secuencia (+)

$$\begin{aligned} V_{AN} = V_A = V_f \angle -30^\circ, \quad V_{AB} = V_L \angle 0^\circ \\ V_{BN} = V_B = V_f \angle -150^\circ, \quad V_{BC} = V_L \angle -120^\circ \therefore V_{CB} = V_L \angle 60^\circ \\ V_{CN} = V_C = V_f \angle 90^\circ, \quad V_{CA} = V_L \angle 120^\circ \end{aligned}$$

Si suponemos que  $\phi = 30^\circ$  con el fin de poder verlo en un diagrama y calcular  $I_A$  y  $I_C$ :

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z} = \frac{V_{AN}}{Z \angle \theta} = \frac{V_A}{Z \angle \theta} = \frac{V_f \angle -30}{Z \angle 30^\circ} = I_A \angle -60^\circ$$

$$I_C = \frac{V_{CN}}{Z} = \frac{V_{CN}}{Z \angle \theta} = \frac{V_C}{Z \angle \theta} = \frac{V \angle 90^\circ}{Z \angle 30^\circ} = I_C \angle 60^\circ$$

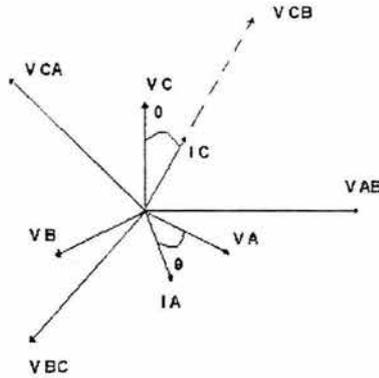


Fig. 4.5 Gráfica vectorial

**Gráfica de valores**

Ahora sí, en esta gráfica vectorial 4.5 podemos ver cual es el ángulo tomado entre IA y VAB, que es lo que mide el wattmetro uno, y podemos observar cual es el ángulo entre IC y VCB que es lo que mide el wattmetro dos:

Estos mismos ángulos serían los mismos para un análisis de una carga conectado en delta. Concluyendo, lo que leen los wattmetros es :

$$\text{Cos} \begin{matrix} \nearrow V_{AB} \\ \searrow I_A \end{matrix} = \cos(\theta + 30^\circ)$$

$$\text{Cos} \begin{matrix} \nearrow V_{CB} \\ \searrow I_C \end{matrix} = \cos(\theta - 30^\circ)$$

$$W_1 = \phi V_{AB} \phi I_A \phi \cos(+30\phi) = V_L I_L \cos(\phi + 30\phi)$$

$$W_2 = \phi VCB\phi \phi IC\phi \cos(\phi - 30\phi) = VL IL \cos(\phi - 30\phi)$$

Medición de potencia trifásica (Pt)

Si sumamos los dos Wattmetros  $W_1 + W_2$

$$\begin{aligned} W_1 + W_2 &= V_L I_L \cos(\phi + 30^\circ) + V_L I_L \cos(\phi - 30^\circ) \\ &= V_L I_L \cos 30^\circ \cos \phi - V_L I_L \sin 30^\circ \sin \phi + V_L I_L \cos 30^\circ \cos \phi + V_L I_L \sin 30^\circ \sin \phi \\ \phi &= W_1 + W_2 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad \text{esto es lo que conocemos como potencia trifásica.} \end{aligned}$$

$$P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

Medición de potencia reactiva trifásica (Qr)

Si restamos los dos Wattmetros:

$$\begin{aligned} W_2 - W_1 &= V_L I_L \cos(\phi - 30^\circ) - V_L I_L \cos(\phi + 30^\circ) \\ &= V_L I_L \cos 30^\circ \cos \phi + V_L I_L \sin 30^\circ \sin \phi - V_L I_L \cos 30^\circ \cos \phi + V_L I_L \sin 30^\circ \sin \phi \end{aligned}$$

$$W_2 - W_1 = V_L I_L \sin \phi$$

Ahora bien si multiplicamos por  $\sqrt{3} (W_2 - W_1)$  nos dará la potencia reactiva trifásica:

$$Q_T = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi = \sqrt{3} (W_2 - W_1)$$

Medición de la potencia aparente-trifásica (Sr)

Si queremos conocer la potencia aparente con la lectura de los wattmetros:

$$S = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(W_1 + W_2)^2 + 3(W_2 - W_1)^2}$$

Medición del ángulo en un ángulo  $\phi$  en un sistema trifásico:

$$\begin{aligned} \phi &= \tan^{-1} \frac{Q_T}{P_T} = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(W_2 - W_1)}{W_1 + W_2} \\ f.p. &= \cos \phi = \cos(\tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(W_2 - W_1)}{W_1 + W_2}) \end{aligned}$$

### Medición del factor de potencias

Esta tabla nos ayudará a ser expertos para poder pronosticar el comportamiento del factor de potencia con solo ver las lecturas de los wattmetros:

$\phi$	fip	$W_1$	$W_2$	$W_T$
0	1	$W_1=W_2$	$W_2=W_1$	$2W_1=2W_2$
30°	0.866	$W_1=1/2W_2$	$W_2=2W_1$	$W_T=W_1+W_2$
60°	0.5	$W_1=0$	$W_2=W_T$	$W_T=W_2$
90°	0	$-W_1=W_2$	$W_2=-W_1$	$W_T=0$

Nota 1. Si ahora  $q$  es carga capacitiva el wattmetro 2 se comporta como se comporta el wattmetro 1 y viceversa.

Nota 2. También es importante notar que si se cambia la secuencia de fase, el orden de los wattmetros cambia.

Nota 3. Es importante tener una referencia desde el principio para saber qué tipo de carga es la que está usando. Por ejemplo si la primer carga es un motor, es lógico suponer que el tipo de carga es atrasado o inductivo y éstas serán las referencias.

### 4.3 MEDICION DE POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA CON AMPERIMETRO

Este método es muy práctico por que en ocasiones no se cuenta con un wattmetro a la mano o bien no se puede adquirir por el costo tan elevado, pues bien aquí se muestra un método práctico que solo necesita una resistencia (puede ser una como las que usan las parrillas), un amperímetro o un volmetro y aplicar unas formulas matemáticas (ley de los senos y cosenos)

#### Procedimiento:

a) conectar en paralelo la resistencia con la carga a la que se desea medir el f.p. (puede ser un motor por ejemplo).

b) anotar los valores RMS de la corriente que entrega la fuente, la corriente que pasa por la resistencia y la corriente que pasa por la carga.

c) ahora se resuelve el problema como un análisis vectorial y aplicando las leyes de Kirchoff suponiendo que el ángulo del voltaje es cero y por último se calcula el ángulo  $\phi$ . Véanse las figuras 4.6 a) y b)

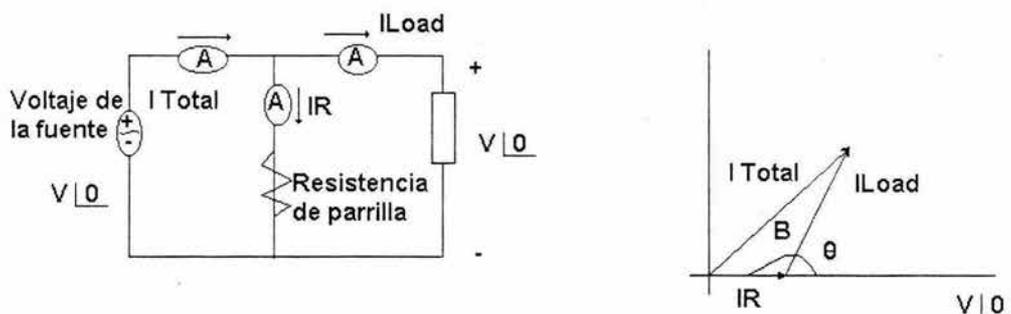


Fig. 4.6 a) Circuito de medición con amperímetro

b) Análisis vectorial

Como ya se conocen las magnitudes  $I_L$ ,  $I_T$ ,  $I_R$  se calcula el ángulo  $b$

$$\cos \phi = \frac{I_R^2 + I_L^2 - I_T^2}{2I_R I_L}$$

por lo tanto,  $q = 180 - b$

F.P =  $\cos (180 - b)$

Watts =  $P VI \cos (180 - b)$

#### 4.4 MEDICION DE POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA CON VOLTMETRO

Este método es similar al visto anteriormente pero ahora con un volmetro y un circuito en serie y suponiendo que la corriente tiene un ángulo de cero. Véase la figura 4.7.

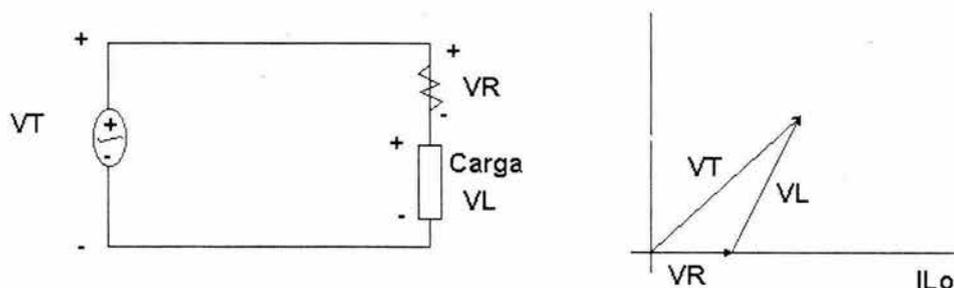


Fig 4.7 Representación de medición con un Voltmetro

$$\cos \phi = \frac{V_R^2 + V_L^2 - V_T^2}{2V_R V_L}$$

$$f.p = \cos (180-b)$$

$$\text{Watts} = P = VI \cos (180 - b)$$

#### 4.5 EJEMPLOS DE CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

Si se tiene una instalación eléctrica en la cual la empresa distribuidora de energía ha detectado un bajo factor de potencia ( $\cos \phi$ ) el cual deberá ser mejorado a la brevedad, ya no es problema, porque conociendo los datos del  $\cos \phi$  medido y el  $\cos \phi 1$  ideal para la instalación y realizando la medición de corriente de las instalaciones se debe hacer lo siguiente para poder corregirlo:

.-Calcular S (Potencia Total o Aparente), esto se realiza de la siguiente forma:

$$S = V * I = VA$$

donde V es la tensión aplicada a la instalación e I la corriente medida.

.-Calcular P (Potencia Real o Efectiva), esto se realiza de la siguiente forma:

$$P = S * \cos \phi = W$$

donde S es la Potencia Total y  $\cos \phi$  el coseno medido a la instalación

.-Obtener los valores de los ángulos de desfase de la instalación actual y posterior, esto se realiza a partir de los cosenos en una tabla de funciones

trigonométricas o bien utilizando una calculadora científica y luego obtener los valores de las tangentes de los dos ángulos  $\text{tg}\varphi$  y  $\text{tg}\varphi_1$ .

-Calcular Potencia Reactiva del condensador a utilizar, para esto se utiliza la siguiente formula:

$$Q_c = P * (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_1) = \text{VAr}$$

o también se puede calcular la capacidad del condensador a utilizar lo cual se logra a través de la siguiente formula:

$$C = \frac{P}{\omega * V^2} * (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_1) = \text{F}$$

en donde  $\omega$  corresponde a la velocidad angular en corriente alterna ( $2 * \pi * f$ ) y F es la unidad de capacidad eléctrica en Faradios.

Ejemplo:

$$V = 220 \text{ V}$$

$$I = 15 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = 0.7$$

$$\cos\varphi_1 = 0.95$$

$$\angle\varphi = 45.57^\circ$$

$$\angle\varphi_1 = 18.19^\circ$$

$$\text{tg}\varphi = 1.02$$

$$\text{tg}\varphi_1 = 0.32$$

$$S = 220 * 15 = 3300 \text{ VA}$$

$$P = 3300 * 0.7 = 2310 \text{ W}$$

$$Q_c = 2310 * (1.02 - 0.32) = 1617 \text{ VAr}$$

$$C = \frac{2310}{2 * 3.14 * 50 * 48400} * (1.02 - 0.32) = 0.0001057 \text{ F} \text{ o } 105.7 \mu\text{F}$$

En la actualidad existen dispositivos muy completos que facilitan en gran medida la obtención de datos en una empresa para facilitar la corrección del factor de potencia.

En este caso se mencionará uno cuyas características se muestran en la figura 4.8.

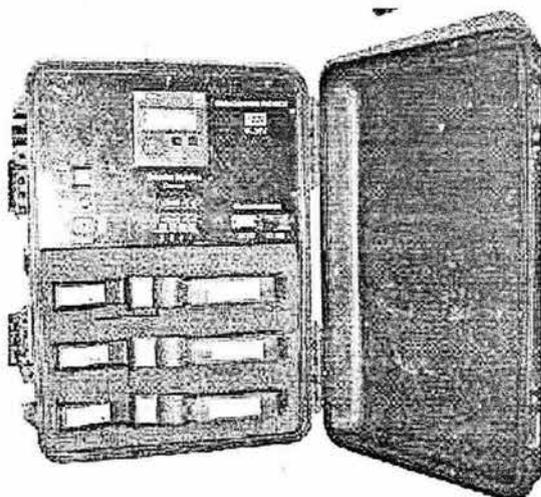


Fig 4.8 Factorímetro de la marca Power Measurement

Lo único que se debe de hacer es conectar las terminales correspondientes de corriente y voltaje en donde se desea medir por ejemplo en la acometida, o en la línea de compresores o donde se crea que existe el mayor riesgo de consumirse energías reactivas y listo. El sistema interno de este dispositivo calculara el factor de potencia y lo mostrará en la pantalla.

En el siguiente ejemplo se muestra el desarrollo de las mediciones obtenidas a una empresa que tenia problemas con el factor de potencia, cabe mencionar que esta empresa ya contaba con un banco de capacitores fijo pero posteriormente al instalar más maquinas se aumento la carga y por consecuencia su factor de potencia bajo.

Posteriormente se sugerirán varias alternativas para corregirlo en la mayor medida posible. El resultado de las mediciones se muestra en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Potencia (perfiles de demanda) y Factor de Potencia

Punto de medición: Acometida

Periodo: Desde 07/02/2002 (3:50 p.m.) Hasta 08/02/2002 (1:10 p.m.)

FECHA	HORA	kW tot	kWh tot	kVAR tot	kVARh tot	FP
7/02/02	03:50 p.m.	159,463	10,042	81,3863	5,54518	-89,0699

7/02/02	03:55 p.m.	137,742	22,067	77,4878	12,1124	-87,1554
7/02/02	04:00 p.m.	120,679	32,7994	74,7709	18,4668	-85,006
7/02/02	04:05 p.m.	126,248	43,555	77,5754	24,9046	-85,2008
7/02/02	04:10 p.m.	105,58	53,0269	56,1267	30,442	-88,2987
7/02/02	04:15 p.m.	154,646	63,1059	76,8316	35,8075	-89,5563
7/02/02	04:20 p.m.	121,695	73,892	72,3583	42,0325	-85,9539
7/02/02	04:25 p.m.	123,728	85,1019	71,8192	48,1669	-86,4859
7/02/02	04:30 p.m.	155,369	95,407	80,3462	53,7515	-88,8257
7/02/02	04:35 p.m.	134,977	106,406	73,8321	60,0067	-87,7326
7/02/02	04:40 p.m.	116,715	117,108	72,7959	66,1582	-84,8491
7/02/02	04:45 p.m.	118,338	127,849	72,8616	72,3506	-85,1535
7/02/02	04:50 p.m.	140,85	138,431	75,193	78,5259	-88,2163
7/02/02	04:55 p.m.	106,929	148,589	54,8342	83,932	-88,9821
7/02/02	05:00 p.m.	163,906	160,093	80,7943	90,257	-89,6949
7/02/02	05:05 p.m.	134,175	171,612	76,0802	96,6956	-86,9889
7/02/02	05:10 p.m.	135,791	182,734	74,8463	103,01	-87,5777
7/02/02	05:15 p.m.	118,921	192,24	62,3504	108,438	-88,5653
7/02/02	05:20 p.m.	120,702	204,037	73,6581	114,91	-85,361
7/02/02	05:25 p.m.	133,804	215,261	76,2606	121,262	-86,8799
7/02/02	05:30 p.m.	159,4	227,244	80,5445	127,807	-89,2528
7/02/02	05:35 p.m.	161,849	238,858	83,7104	134,378	-88,8228
7/02/02	05:40 p.m.	156,372	250,628	82,4359	140,98	-88,4603
7/02/02	05:45 p.m.	107,081	260,145	57,6216	146,125	-88,0599
7/02/02	05:50 p.m.	109,347	269,196	59,2029	150,975	-87,9381
7/02/02	05:55 p.m.	159,824	280,308	85,6708	157,356	-88,1363
7/02/02	06:00 p.m.	123,92	291,374	78,6191	164,034	-84,4399
7/02/02	06:05 p.m.	108,016	300,603	61,1456	169,328	-87,0241
7/02/02	06:10 p.m.	108,171	309,728	61,2907	174,461	-87,0045
7/02/02	06:15 p.m.	108,019	318,752	58,4586	179,452	-87,9469
7/02/02	06:20 p.m.	138,3	330,586	79,9986	186,072	-86,5615
7/02/02	06:25 p.m.	114,922	340,149	58,0958	191,199	-89,2447
7/02/02	06:30 p.m.	110,877	349,542	57,8932	196,074	-88,6439
7/02/02	06:35 p.m.	124,783	360,052	78,7899	201,71	-84,5551
7/02/02	06:40 p.m.	126,618	370,676	76,7702	208,2	-85,5103
7/02/02	06:45 p.m.	110,64	381,669	46,0311	213,811	-92,3281
7/02/02	06:50 p.m.	134,481	392,663	62,3412	218,853	-90,7257
7/02/02	06:55 p.m.	128,019	404,612	61,3075	224,222	-90,1912
7/02/02	07:00 p.m.	120,451	415,82	57,975	229,392	-90,106
7/02/02	07:05 p.m.	144,173	426,88	61,8575	234,526	-91,8986
7/02/02	07:10 p.m.	111,69	436,183	39,4492	238,032	-94,2913
7/02/02	07:15 p.m.	120,589	447,308	47,9781	242,471	-92,9159
7/02/02	07:20 p.m.	119,843	457,109	47,1364	246,436	-93,0605
7/02/02	07:25 p.m.	119,396	467,085	46,2398	250,302	-93,251
7/02/02	07:30 p.m.	145,258	477,261	50,366	253,603	-94,4816
7/02/02	07:35 p.m.	123,833	488,319	46,1346	257,65	-93,708

7/02/02	07:40 p.m.	153,279	498,92	52,77	261,592	-94,5534
7/02/02	07:45 p.m.	114,126	509,292	43,0824	265,424	-93,5558
7/02/02	07:50 p.m.	125,455	518,133	50,7488	268,909	-92,7025
7/02/02	07:55 p.m.	97,933	527,779	45,9329	273,036	-90,5364
7/02/02	08:00 p.m.	94,9423	537,721	47,2622	277,307	-89,5214
7/02/02	08:05 p.m.	100,479	547,588	47,6196	281,597	-90,3653
7/02/02	08:10 p.m.	155,951	557,116	59,8694	285,781	-93,357
7/02/02	08:15 p.m.	148,953	566,898	61,126	290,183	-92,5132
7/02/02	08:20 p.m.	135,461	578,08	58,4883	295,038	-91,8078
7/02/02	08:25 p.m.	148,685	587,709	61,768	298,863	-92,3483
7/02/02	08:30 p.m.	124,118	598,918	58,1168	303,875	-90,5638
7/02/02	08:35 p.m.	151,198	610,329	64,3117	309,055	-92,0216
7/02/02	08:40 p.m.	121,491	621,435	57,9919	314,136	-90,2459
7/02/02	08:45 p.m.	158,931	633,005	66,8817	319,107	-92,1711
7/02/02	08:50 p.m.	163,349	644,505	68,8124	324,366	-92,1567
7/02/02	08:55 p.m.	161,77	656,088	68,208	329,583	-92,1443
7/02/02	09:00 p.m.	119,765	667,093	59,1425	334,653	-89,6632
7/02/02	09:05 p.m.	136,235	678,605	61,2295	339,733	-91,2112
7/02/02	09:10 p.m.	119,572	688,833	60,0307	344,773	-89,3694
7/02/02	09:15 p.m.	124,188	700,61	62,111	350,077	-89,4378
7/02/02	09:20 p.m.	121,929	710,801	62,9045	355,265	-88,87
7/02/02	09:25 p.m.	112,344	720,433	47,4692	359,794	-92,1147
7/02/02	09:30 p.m.	109,381	729,667	49,5	363,808	-91,1051
7/02/02	09:35 p.m.	135,739	741,325	67,531	369,229	-89,5319
7/02/02	09:40 p.m.	157,603	752,914	74,6133	374,995	-90,3828
7/02/02	09:45 p.m.	112,147	765,173	51,7985	380,8	-90,7841
7/02/02	09:50 p.m.	125,053	776,204	71,3523	386,556	-86,8562
7/02/02	09:55 p.m.	130,043	787,345	72,577	392,575	-87,3212
7/02/02	10:00 p.m.	159,288	797,973	77,2226	398,576	-89,9832
7/02/02	10:05 p.m.	123,859	808,862	62,1507	404,461	-89,3788
7/02/02	10:10 p.m.	130,042	820,924	74,7163	410,85	-86,7073
7/02/02	10:15 p.m.	129,937	833,126	68,2343	417,091	-88,5349
7/02/02	10:20 p.m.	160,626	844,983	77,8346	423,115	-89,9913
7/02/02	10:25 p.m.	164,336	856,871	78,6752	429,243	-90,1964
7/02/02	10:30 p.m.	169,151	868,92	80,5283	435,401	-90,2901
7/02/02	10:35 p.m.	120,17	880,668	74,8565	441,832	-84,879
7/02/02	10:40 p.m.	131,547	892,916	78,3015	448,453	-85,9293
7/02/02	10:45 p.m.	128,068	904,911	78,2755	455,138	-85,3247
7/02/02	10:50 p.m.	144,656	917,158	79,6803	461,895	-87,591
7/02/02	10:55 p.m.	127,389	928,139	78,8672	468,146	-85,0243
7/02/02	11:00 p.m.	126,448	938,525	77,8159	474,693	-85,1653
7/02/02	11:05 p.m.	96,2213	948,368	67,2598	480,805	-81,9612
7/02/02	11:10 p.m.	111,659	957,397	59,085	486,051	-88,3881
7/02/02	11:15 p.m.	120,256	966,239	53,9572	490,829	-91,237
7/02/02	11:20 p.m.	97,9672	974,762	38,6138	494,679	-93,0341

7/02/02	11:25 p.m.	30,1571	978,007	-31,6903	496,89	68,9365
7/02/02	11:30 p.m.	29,2942	980,496	-36,3204	499,671	62,7799
7/02/02	11:35 p.m.	28,8129	982,908	-37,7089	502,793	60,714
7/02/02	11:40 p.m.	28,7715	985,298	-38,0786	505,956	60,2847
7/02/02	11:45 p.m.	28,7563	987,697	-38,6526	509,165	59,6898
7/02/02	11:50 p.m.	28,877	990,105	-38,5189	512,383	59,9837
7/02/02	11:55 p.m.	28,7187	992,51	-39,1139	515,617	59,1836
8/02/02	12:00 a.m.	28,1135	994,867	-37,7887	518,792	59,6898
8/02/02	12:05 a.m.	27,9671	997,208	-36,9237	521,903	60,3784
8/02/02	12:10 a.m.	27,983	999,541	-37,0052	524,979	60,3156
8/02/02	12:15 a.m.	28,2824	1.001,89	-37,43	528,078	60,2861
8/02/02	12:20 a.m.	28,0795	1.004,24	-37,028	531,172	60,424
8/02/02	12:25 a.m.	28,3383	1.006,60	-37,7896	534,301	59,9948
8/02/02	12:30 a.m.	28,2602	1.008,96	-37,9855	537,433	59,6901
8/02/02	12:35 a.m.	28,241	1.011,32	-37,8785	540,584	59,7724
8/02/02	12:40 a.m.	28,0829	1.013,67	-37,4595	543,736	59,984
8/02/02	12:45 a.m.	28,1647	1.016,02	-37,6997	546,869	59,8502
8/02/02	12:50 a.m.	28,3218	1.018,38	-38,0957	550,022	59,6625
8/02/02	12:55 a.m.	28,288	1.020,74	-37,6493	553,187	60,0694
8/02/02	01:00 a.m.	28,0649	1.023,09	-37,3424	556,298	60,0796
8/02/02	01:05 a.m.	28,2825	1.025,45	-37,9597	559,453	59,7465
8/02/02	01:10 a.m.	28,1576	1.027,80	-37,6641	562,607	59,8768
8/02/02	01:15 a.m.	28,1426	1.030,16	-37,595	565,756	59,9269
8/02/02	01:20 a.m.	28,2309	1.032,51	-37,3317	568,88	60,3169
8/02/02	01:25 a.m.	28,4453	1.034,87	-37,6927	572,001	60,238
8/02/02	01:30 a.m.	28,2884	1.037,23	-37,9182	575,168	59,7966
8/02/02	01:35 a.m.	28,3991	1.039,60	-38,3557	578,354	59,5058
8/02/02	01:40 a.m.	28,1642	1.041,96	-37,6451	581,512	59,9051
8/02/02	01:45 a.m.	28,212	1.044,32	-37,7757	584,671	59,8373
8/02/02	01:50 a.m.	28,5372	1.046,69	-38,2699	587,843	59,7783
8/02/02	01:55 a.m.	28,5822	1.049,08	-38,4629	591,045	59,6455
8/02/02	02:00 a.m.	28,3611	1.051,45	-38,1809	594,219	59,6299
8/02/02	02:05 a.m.	28,2178	1.053,81	-38,1896	597,393	59,4264
8/02/02	02:10 a.m.	28,2482	1.056,16	-38,2153	600,57	59,442
8/02/02	02:15 a.m.	28,4111	1.058,52	-39,1134	603,787	58,7698
8/02/02	02:20 a.m.	28,1951	1.060,89	-38,0945	607,017	59,4913
8/02/02	02:25 a.m.	28,4531	1.063,26	-38,4221	610,205	59,5123
8/02/02	02:30 a.m.	28,4345	1.065,63	-38,338	613,407	59,5714
8/02/02	02:35 a.m.	28,3777	1.068	-38,2504	616,6	59,5825
8/02/02	02:40 a.m.	28,8253	1.070,39	-38,4249	619,788	60,0088
8/02/02	02:45 a.m.	28,3834	1.072,77	-37,8091	622,969	60,036
8/02/02	02:50 a.m.	28,6372	1.075,15	-38,5589	626,153	59,6235
8/02/02	02:55 a.m.	28,4227	1.077,54	-38,3301	629,367	59,5634
8/02/02	03:00 a.m.	28,4245	1.079,92	-38,4104	632,584	59,4854
8/02/02	03:05 a.m.	28,3089	1.082,28	-38,3772	635,775	59,3619

8/02/02	03:10 a.m.	28,3147	1.084,65	-38,4572	638,979	59,2898
8/02/02	03:15 a.m.	29,1055	1.087,01	-38,6168	642,194	60,1889
8/02/02	03:20 a.m.	28,5557	1.089,39	-38,0318	645,378	60,0429
8/02/02	03:25 a.m.	28,9916	1.091,76	-37,994	648,56	60,6623
8/02/02	03:30 a.m.	28,4365	1.094,14	-37,9927	651,739	59,9218
8/02/02	03:35 a.m.	28,4792	1.096,51	-38,1358	654,901	59,835
8/02/02	03:40 a.m.	28,9244	1.098,88	-37,5544	658,049	61,0193
8/02/02	03:45 a.m.	28,4753	1.101,25	-38,1166	661,208	59,849
8/02/02	03:50 a.m.	28,2955	1.103,62	-38,0345	664,377	59,6885
8/02/02	03:55 a.m.	28,2493	1.105,98	-38,2551	667,566	59,4035
8/02/02	04:00 a.m.	28,4284	1.108,35	-38,0493	670,777	59,8536
8/02/02	04:05 a.m.	28,4629	1.110,71	-38,972	673,964	58,9792
8/02/02	04:10 a.m.	28,5485	1.113,09	-38,8214	677,202	59,2436
8/02/02	04:15 a.m.	28,1721	1.115,45	-37,9479	680,396	59,6082
8/02/02	04:20 a.m.	28,2746	1.117,80	-38,3488	683,556	59,3438
8/02/02	04:25 a.m.	28,1196	1.120,16	-37,7823	686,734	59,7045
8/02/02	04:30 a.m.	28,0837	1.122,51	-37,6543	689,879	59,7859
8/02/02	04:35 a.m.	28,3062	1.124,86	-37,98	693,03	59,7582
8/02/02	04:40 a.m.	28,4624	1.127,22	-38,1624	696,215	59,7855
8/02/02	04:45 a.m.	28,227	1.129,58	-38,5973	699,423	59,0307
8/02/02	04:50 a.m.	27,8974	1.131,92	-37,5523	702,588	59,6344
8/02/02	04:55 a.m.	28,1944	1.134,26	-38,4171	705,746	59,1662
8/02/02	05:00 a.m.	28,1702	1.136,62	-37,8911	708,93	59,6631
8/02/02	05:05 a.m.	28,7921	1.138,98	-38,0547	712,108	60,3362
8/02/02	05:10 a.m.	28,1369	1.141,32	-37,5722	715,21	59,9423
8/02/02	05:15 a.m.	28,2847	1.143,68	-37,8711	718,369	59,8392
8/02/02	05:20 a.m.	31,0255	1.146,08	-39,5176	721,556	61,7525
8/02/02	05:25 a.m.	33,8059	1.148,88	-38,0681	724,726	66,4008
8/02/02	05:30 a.m.	33,3755	1.151,68	-37,3165	727,859	66,665
8/02/02	05:35 a.m.	33,6183	1.154,48	-38,0382	731,012	66,2232
8/02/02	05:40 a.m.	33,15	1.157,28	-37,2362	734,171	66,4938
8/02/02	05:45 a.m.	33,5128	1.160,06	-38,1325	737,289	66,0141
8/02/02	05:50 a.m.	34,8865	1.162,87	-36,1489	740,38	69,4431
8/02/02	05:55 a.m.	34,8336	1.165,75	-33,4207	743,272	72,1589
8/02/02	06:00 a.m.	36,5354	1.168,75	-29,8433	745,913	77,4469
8/02/02	06:05 a.m.	38,4933	1.171,91	-22,5222	748,105	86,3117
8/02/02	06:10 a.m.	41,0863	1.175,26	-13,879	749,663	94,7406
8/02/02	06:15 a.m.	155,589	1.181,67	61,3948	752,007	-93,02
8/02/02	06:20 a.m.	156,262	1.189,84	71,8514	756,114	-90,8555
8/02/02	06:25 a.m.	162,741	1.200,20	86,4555	762,336	-88,3117
8/02/02	06:30 a.m.	140,497	1.211,79	83,4239	769,189	-85,9845
8/02/02	06:35 a.m.	119,982	1.223,90	79,5277	776,212	-83,3524
8/02/02	06:40 a.m.	128,306	1.235,12	58,0466	782,3	-91,1098
8/02/02	06:45 a.m.	136,064	1.246,32	81,6571	788,712	-85,744
8/02/02	06:50 a.m.	136,796	1.258,02	79,0241	795,471	-86,5903

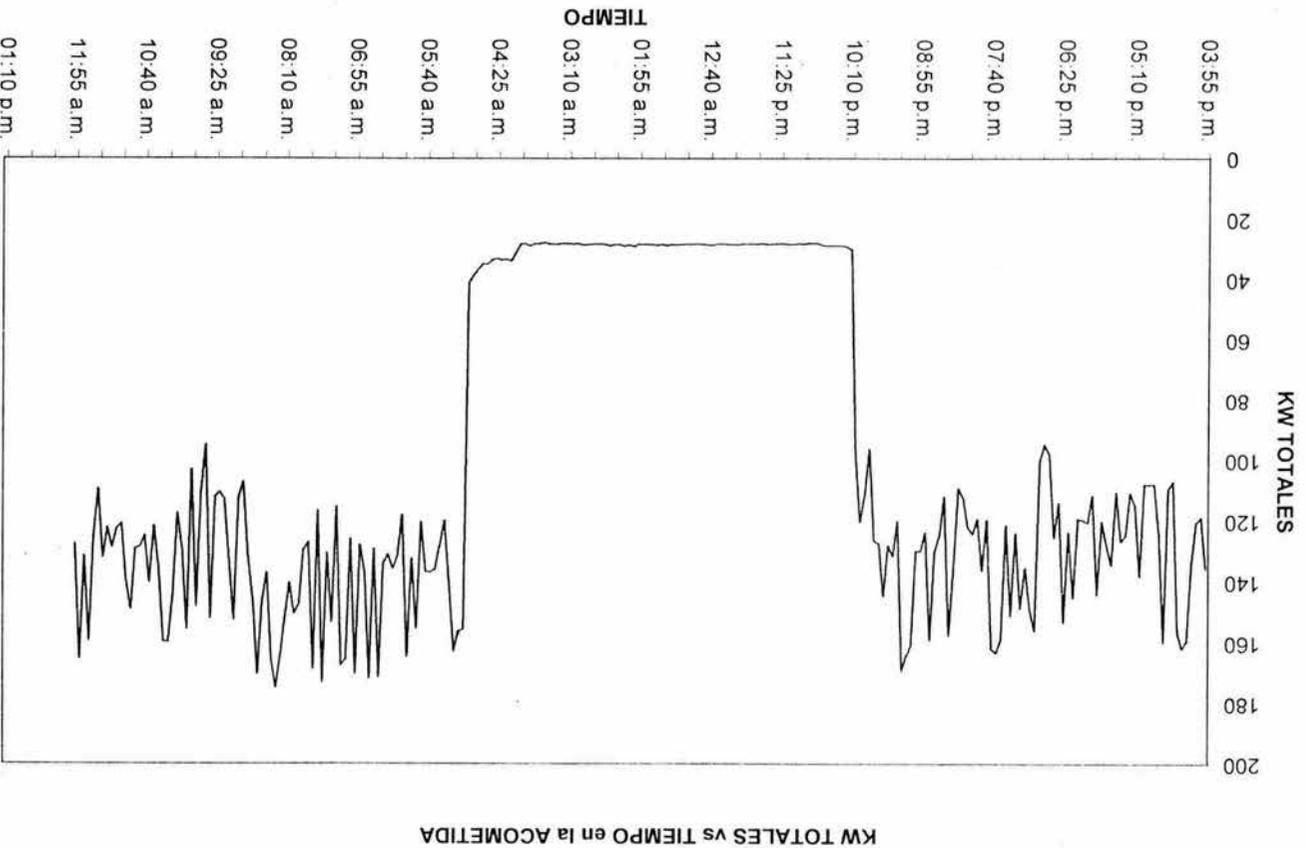
8/02/02	06:55 a.m.	136,771	1.269,30	77,7642	801,988	-86,9311
8/02/02	07:00 a.m.	120,51	1.279,81	59,2141	807,544	-89,7506
8/02/02	07:05 a.m.	155,19	1.292,42	77,6014	814,036	-89,4412
8/02/02	07:10 a.m.	132,477	1.303,67	79,0803	820,331	-85,8651
8/02/02	07:15 a.m.	164,559	1.315,28	86,3841	827,085	-88,5419
8/02/02	07:20 a.m.	118,056	1.326,40	63,7111	833,11	-88,0027
8/02/02	07:25 a.m.	131,457	1.338,46	80,017	839,864	-85,4199
8/02/02	07:30 a.m.	135,575	1.350,70	79,6047	846,705	-86,2337
8/02/02	07:35 a.m.	131,217	1.363,09	77,8989	853,441	-85,9887
8/02/02	07:40 a.m.	133,767	1.374,99	77,0519	860,074	-86,6525
8/02/02	07:45 a.m.	171,287	1.387,23	82,6274	866,302	-90,0681
8/02/02	07:50 a.m.	129,261	1.400,20	77,6698	873,014	-85,7161
8/02/02	07:55 a.m.	171,73	1.412,64	83,5465	879,683	-89,923
8/02/02	08:00 a.m.	136,45	1.423,91	75,6475	886,111	-87,4587
8/02/02	08:05 a.m.	127,974	1.435,15	76,2733	892,061	-85,9003
8/02/02	08:10 a.m.	170,234	1.447,78	84,4923	898,746	-89,5738
8/02/02	08:15 a.m.	125,9	1.458,92	77,7122	905,192	-85,0948
8/02/02	08:20 a.m.	165,271	1.469,56	81,407	911,56	-89,7079
8/02/02	08:25 a.m.	167,413	1.481,98	84,3424	918,162	-89,3066
8/02/02	08:30 a.m.	115,409	1.494,10	59,5573	924,476	-88,8647
8/02/02	08:35 a.m.	153,225	1.504,40	79,9177	929,812	-88,6646
8/02/02	08:40 a.m.	130,632	1.516,19	78,2869	936,37	-85,776
8/02/02	08:45 a.m.	173,016	1.528,06	85,7668	942,978	-89,5957
8/02/02	08:50 a.m.	116,618	1.539,84	60,4735	949,426	-88,774
8/02/02	08:55 a.m.	168,46	1.552,30	84,0479	956,2	-89,4814
8/02/02	09:00 a.m.	127,093	1.564,35	77,2103	962,907	-85,4648
8/02/02	09:05 a.m.	129,325	1.575,05	78,3391	969,451	-85,5314
8/02/02	09:10 a.m.	147,319	1.587,53	80,9915	976,268	-87,6302
8/02/02	09:15 a.m.	150,491	1.598,18	81,7485	981,974	-87,8722
8/02/02	09:20 a.m.	140,412	1.610,60	78,943	988,803	-87,1678
8/02/02	09:25 a.m.	151,819	1.623,51	81,4582	995,62	-88,1174
8/02/02	09:30 a.m.	164,395	1.635,22	82,7255	1.002,30	-89,3277
8/02/02	09:35 a.m.	174,613	1.647,98	84,6397	1.009,08	-89,9857
8/02/02	09:40 a.m.	165,869	1.659,03	83,0736	1.015,39	-89,4127
8/02/02	09:45 a.m.	137,086	1.671,52	76,3493	1.021,95	-87,3641
8/02/02	09:50 a.m.	145,934	1.683,93	78,0472	1.028,53	-88,1812
8/02/02	09:55 a.m.	170,198	1.696,72	85,0763	1.035,20	-89,4475
8/02/02	10:00 a.m.	145,446	1.708,70	81,2664	1.041,83	-87,2974
8/02/02	10:05 a.m.	131,734	1.719,95	73,8415	1.048,16	-87,2308
8/02/02	10:10 a.m.	107,319	1.730,64	69,5294	1.054,20	-83,9258
8/02/02	10:15 a.m.	112,359	1.742,48	64,0217	1.060,31	-86,8854
8/02/02	10:20 a.m.	152,329	1.752,34	73,1628	1.065,85	-90,1419
8/02/02	10:25 a.m.	132,681	1.762,05	69,0001	1.071,44	-88,7201
8/02/02	10:30 a.m.	112,809	1.772,41	66,8013	1.077,20	-86,0454
8/02/02	10:35 a.m.	110,499	1.782,87	66,6428	1.082,95	-85,6316

8/02/02	10:40 a.m.	112,036	1.793,37	68,6586	1.088,82	-85,263
8/02/02	10:45 a.m.	151,932	1.804,06	69,6762	1.094,68	-90,8972
8/02/02	10:50 a.m.	94,8394	1.814,87	55,1393	1.099,88	-86,4507
8/02/02	10:55 a.m.	110,156	1.825,87	57,0515	1.104,97	-88,7972
8/02/02	11:00 a.m.	147,912	1.836,73	67,7063	1.109,97	-90,9267
8/02/02	11:05 a.m.	103,06	1.845,85	40,8587	1.113,70	-92,9608
8/02/02	11:10 a.m.	155,554	1.856,11	64,5365	1.118,20	-92,3661
8/02/02	11:15 a.m.	128,758	1.867,27	58,9487	1.123,48	-90,9239
8/02/02	11:20 a.m.	117,487	1.877,16	57,8203	1.128,35	-89,7229
8/02/02	11:25 a.m.	144,591	1.886,78	60,3832	1.132,38	-92,2766
8/02/02	11:30 a.m.	159,66	1.896,98	65,2312	1.137,17	-92,5718
8/02/02	11:35 a.m.	159,617	1.909,24	64,9875	1.142,42	-92,6176
8/02/02	11:40 a.m.	135,167	1.921,56	61,7684	1.147,75	-90,9531
8/02/02	11:45 a.m.	121,742	1.931,96	64,5799	1.152,58	-88,3402
8/02/02	11:50 a.m.	140,22	1.943,32	74,5472	1.158,56	-88,2971
8/02/02	11:55 a.m.	124,799	1.955,16	74,8257	1.164,94	-85,7657
8/02/02	12:00 p.m.	128,445	1.966,27	73,7081	1.171,27	-86,7337
8/02/02	12:05 p.m.	129,162	1.977,08	74,3904	1.176,98	-86,6552
8/02/02	12:10 p.m.	149,005	1.990,05	78,3335	1.183,69	-88,5139
8/02/02	12:15 p.m.	139,958	2.001,90	75,1375	1.190,17	-88,1061
8/02/02	12:20 p.m.	120,885	2.013,43	74,2723	1.196,51	-85,203
8/02/02	12:25 p.m.	122,481	2.024,83	75,1968	1.202,61	-85,2205
8/02/02	12:30 p.m.	128,785	2.036,35	75,88	1.209,09	-86,1571
8/02/02	12:35 p.m.	122,294	2.047,29	74,4008	1.215,35	-85,432
8/02/02	12:40 p.m.	132,041	2.058,97	76,2794	1.221,80	-86,5896
8/02/02	12:45 p.m.	109,559	2.069,66	59,0763	1.227,83	-88,0193
8/02/02	12:50 p.m.	124,65	2.081,13	74,4296	1.234,07	-85,8586
8/02/02	12:55 p.m.	159,405	2.092,63	79,6291	1.240,44	-89,4592
8/02/02	01:00 p.m.	131,513	2.105,12	75,6674	1.246,98	-86,6772
8/02/02	01:05 p.m.	165,301	2.117,53	82,0321	1.253,54	-89,5764
8/02/02	01:10 p.m.	127,575	2.130,06	74,146	1.260,09	-86,4582
Prom.		120.589		61.2295		-86.6772

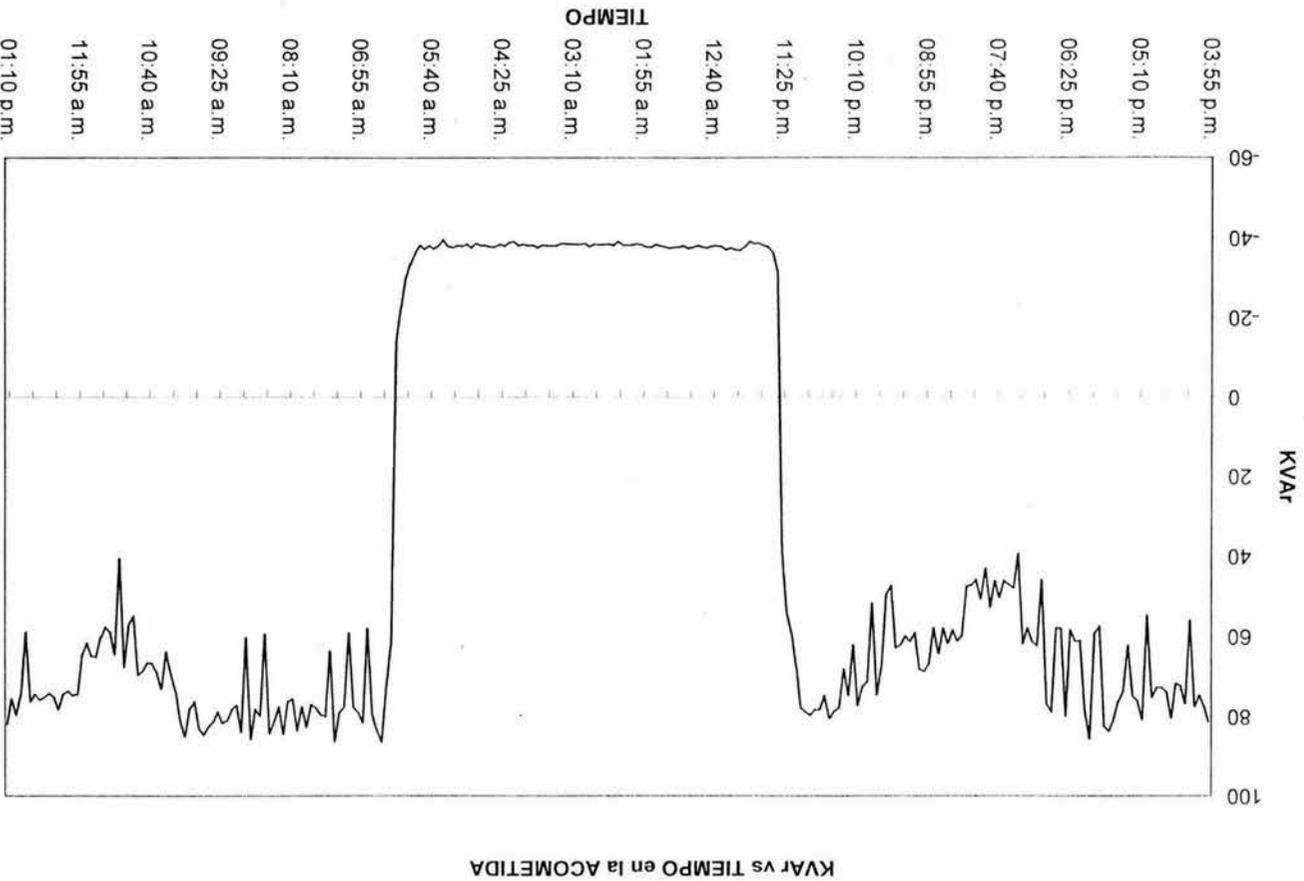
En este caso utilizando formulas de estadística para obtener el F.P. promedio tiene que es de -86.6772

Ahora observemos gráficamente estos valores en las figuras 4.9

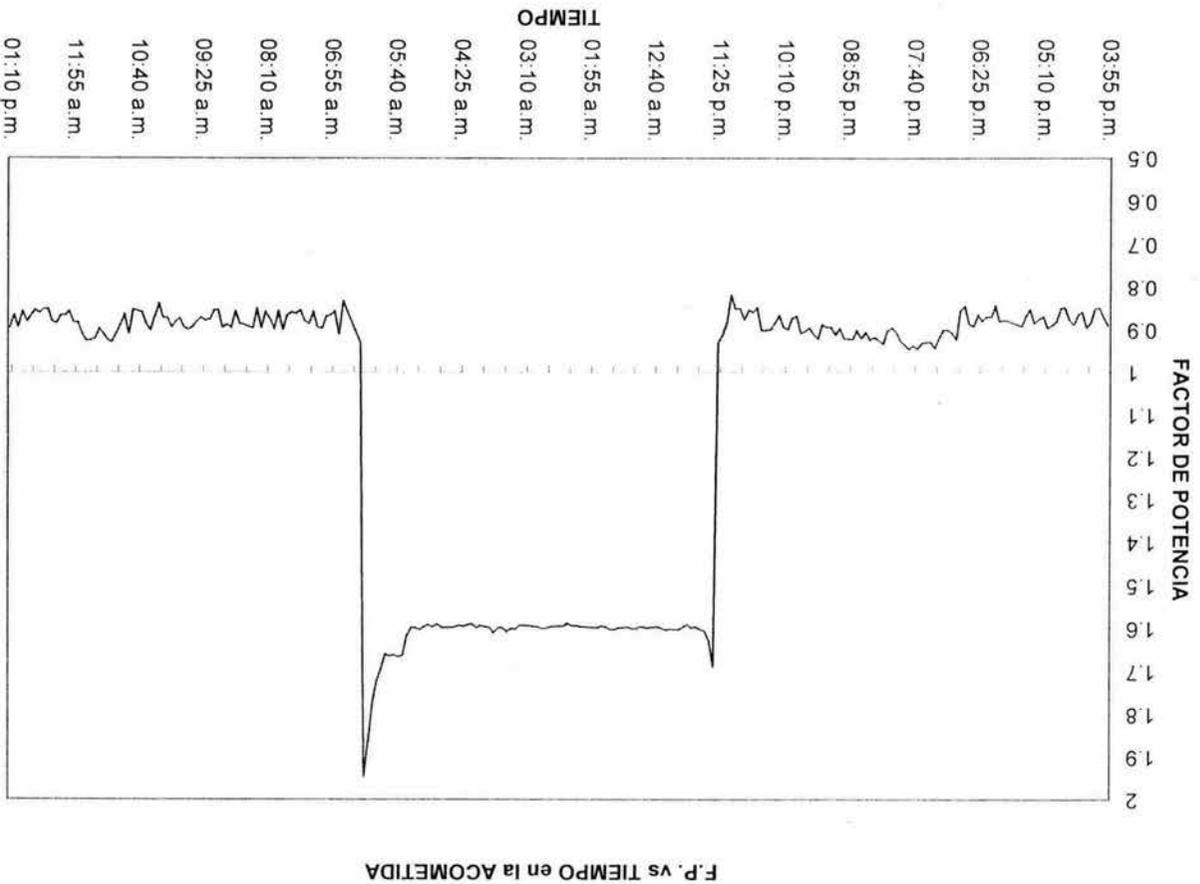
a) KW vs TIEMPO b) KVA<sub>r</sub> vs TIEMPO c) F.P. vs TIEMPO

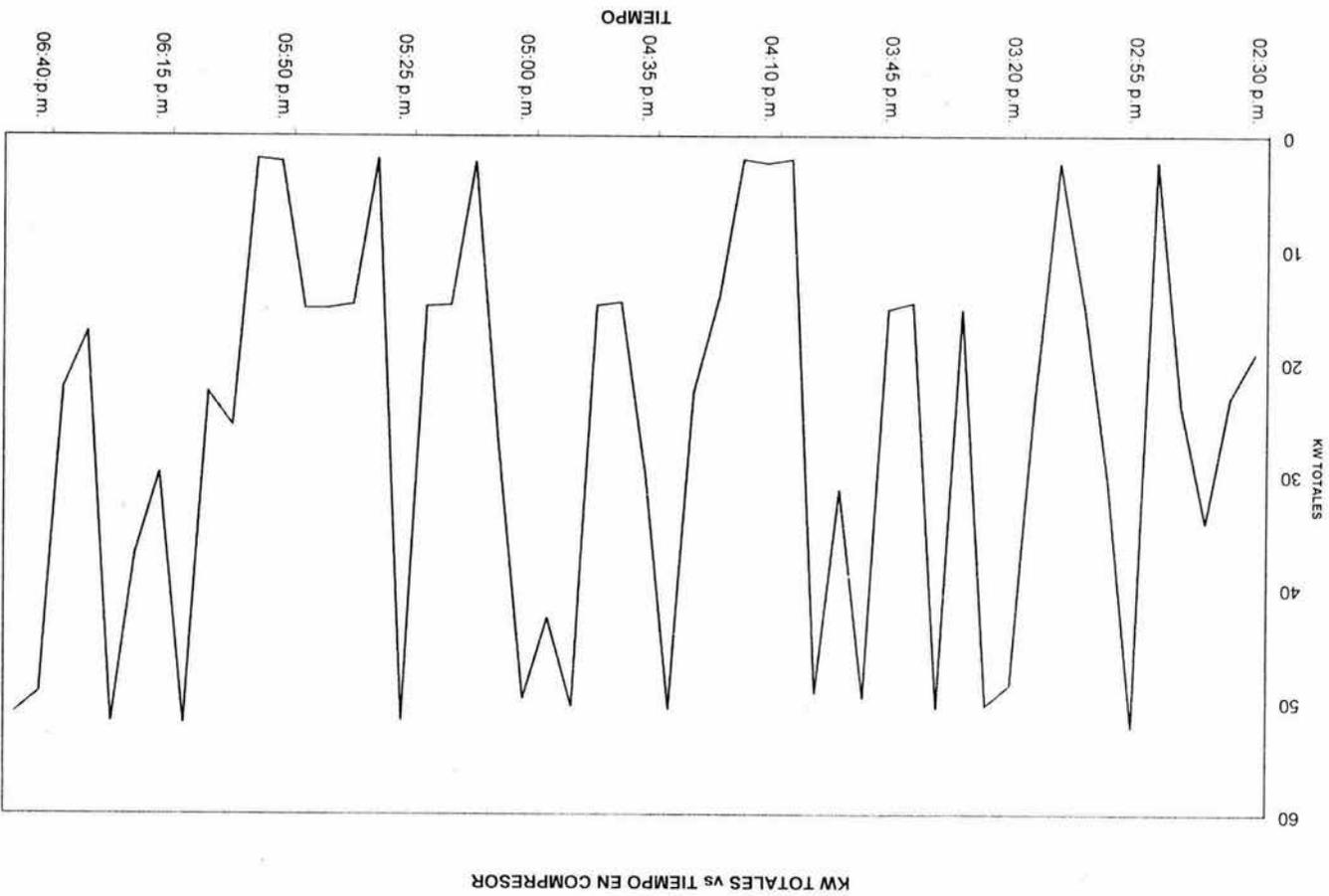


KW TOTALES vs TIEMPO en la ACOMETIDA

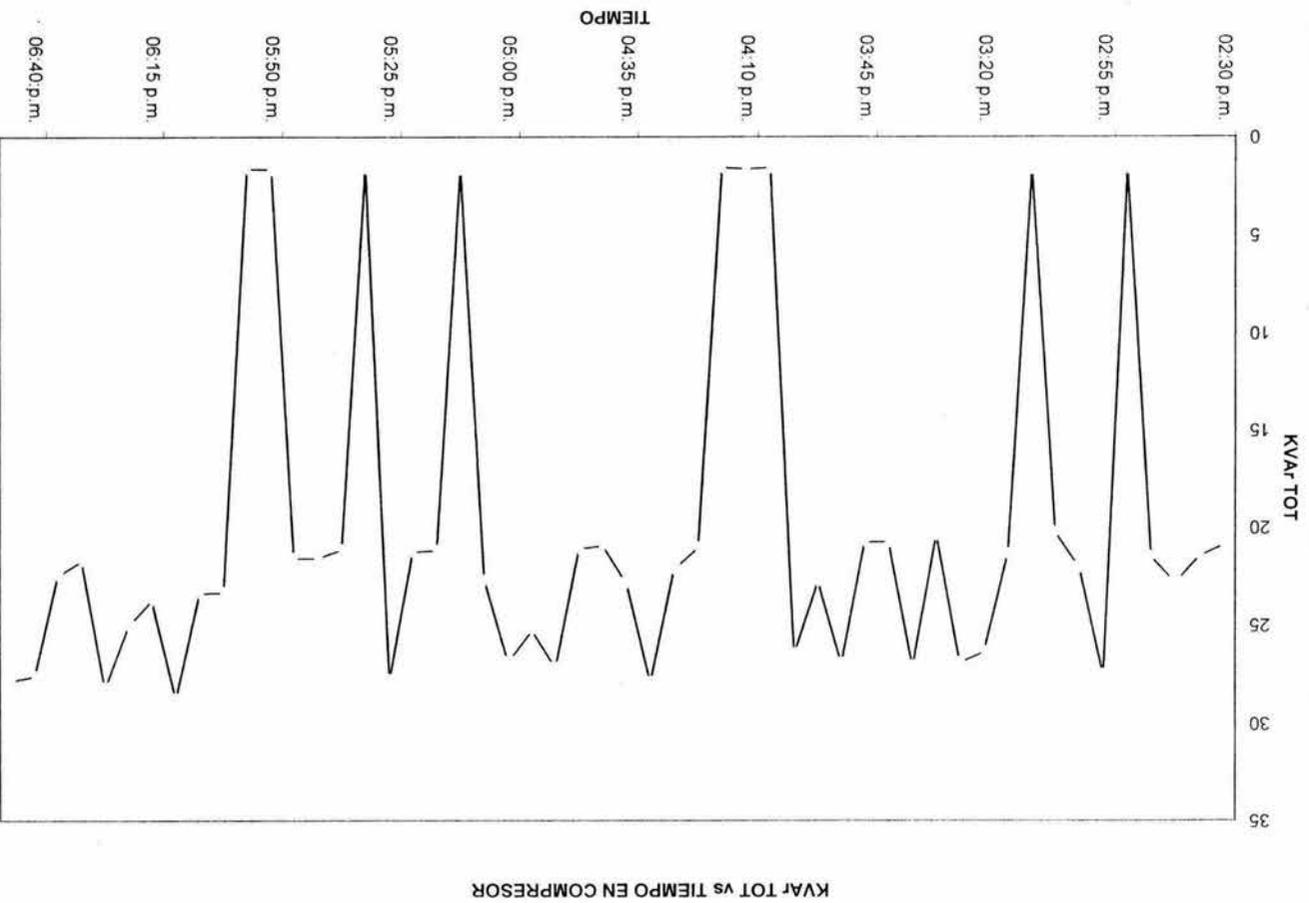


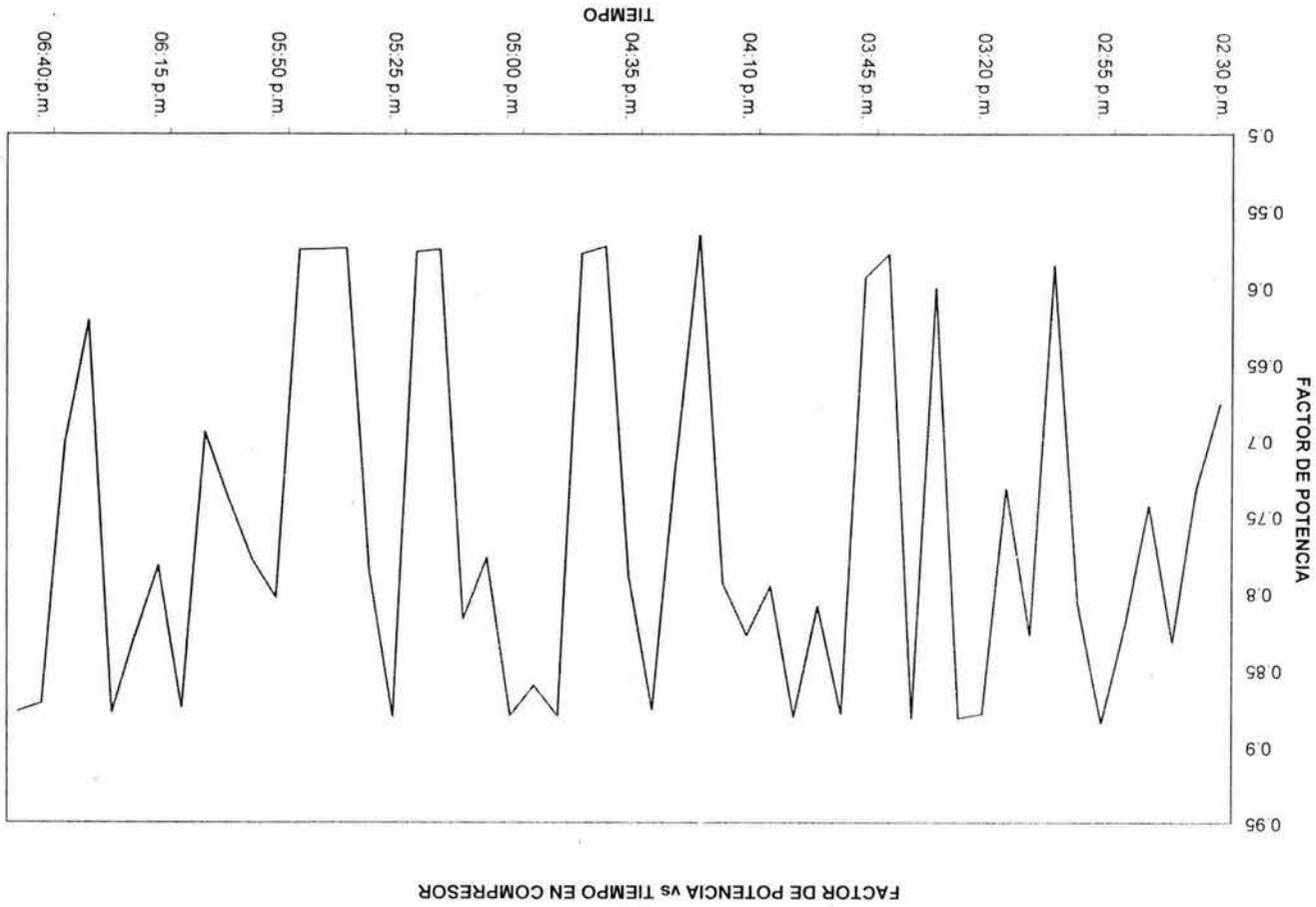
KVar vs TIEMPO en la ACOMETIDA





KW TOTALES VS TIEMPO EN COMPRESOR





FACTOR DE POTENCIA VS TIEMPO EN COMPRESOR

Con el valor obtenido y el valor del factor de potencia deseado que en este caso será de 0.99 ubicaremos en la tabla 4.2 la constante K. Cuyo resultado es: 0.424.

Tabla 4.2 Constantes para la obtención del Factor de Potencia

TABLA PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA FACTOR DE POTENCIA DESEADO																	
	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	
0.99	0.142																
0.98	0.203	0.061															
0.97	0.251	0.108	0.048														
0.96	0.292	0.149	0.089	0.041													
0.95	0.329	0.186	0.125	0.078	0.037												
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034											
0.93	0.395	0.253	0.192	0.145	0.104	0.067	0.031										
0.92	0.425	0.284	0.223	0.175	0.134	0.093	0.053	0.031									
0.91	0.452	0.313	0.253	0.205	0.164	0.127	0.093	0.060	0.030								
0.90	0.464	0.342	0.281	0.234	0.193	0.156	0.121	0.089	0.058	0.029							
0.89	0.512	0.370	0.309	0.262	0.221	0.184	0.149	0.117	0.086	0.057	0.028						
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.177	0.145	0.114	0.084	0.055	0.027					
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.204	0.172	0.141	0.111	0.082	0.054	0.027				
0.86	0.593	0.451	0.390	0.343	0.302	0.265	0.230	0.199	0.167	0.138	0.109	0.081	0.054	0.027			
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.257	0.225	0.194	0.164	0.135	0.107	0.080	0.053	0.026		
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.283	0.251	0.220	0.190	0.162	0.134	0.106	0.079	0.053	0.026	
0.83	0.672	0.530	0.469	0.421	0.380	0.343	0.309	0.277	0.246	0.216	0.188	0.160	0.132	0.105	0.079	0.052	
0.82	0.698	0.556	0.495	0.447	0.406	0.369	0.335	0.303	0.272	0.242	0.214	0.186	0.158	0.131	0.105	0.076	
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.361	0.329	0.298	0.268	0.240	0.212	0.184	0.157	0.131	0.104	
0.80	0.750	0.606	0.547	0.499	0.458	0.421	0.387	0.355	0.324	0.294	0.266	0.238	0.210	0.183	0.157	0.130	
0.79	0.776	0.634	0.573	0.525	0.484	0.447	0.413	0.381	0.350	0.320	0.292	0.264	0.236	0.209	0.183	0.155	
0.78	0.802	0.660	0.599	0.552	0.511	0.474	0.439	0.407	0.376	0.347	0.318	0.290	0.263	0.236	0.209	0.183	
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.466	0.433	0.403	0.373	0.344	0.316	0.289	0.262	0.235	0.209	
0.76	0.855	0.713	0.652	0.605	0.563	0.525	0.492	0.460	0.429	0.400	0.371	0.343	0.315	0.288	0.262	0.235	
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.519	0.487	0.456	0.426	0.398	0.370	0.342	0.315	0.289	0.262	
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.546	0.514	0.483	0.453	0.425	0.397	0.369	0.342	0.316	0.289	
0.73	0.936	0.794	0.733	0.686	0.645	0.606	0.573	0.541	0.510	0.481	0.452	0.424	0.396	0.370	0.343	0.316	
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.601	0.569	0.538	0.508	0.480	0.452	0.424	0.397	0.370	0.344	
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.629	0.597	0.566	0.536	0.508	0.480	0.452	0.425	0.398	0.372	
0.70	1.020	0.878	0.817	0.770	0.729	0.692	0.657	0.625	0.594	0.565	0.536	0.508	0.480	0.453	0.427	0.400	
0.69	1.048	0.907	0.846	0.798	0.757	0.720	0.685	0.654	0.623	0.593	0.565	0.537	0.509	0.482	0.456	0.429	
0.68	1.078	0.936	0.875	0.828	0.787	0.750	0.715	0.683	0.652	0.623	0.594	0.566	0.539	0.512	0.485	0.458	
0.67	1.108	0.966	0.905	0.857	0.816	0.779	0.745	0.713	0.682	0.652	0.624	0.596	0.568	0.541	0.515	0.488	
0.66	1.139	0.996	0.935	0.888	0.847	0.810	0.775	0.743	0.712	0.683	0.654	0.626	0.599	0.572	0.545	0.519	
0.65	1.169	1.027	0.966	0.919	0.877	0.840	0.805	0.774	0.743	0.714	0.685	0.657	0.629	0.602	0.576	0.549	

Este valor se multiplicará por la potencia para obtener el valor de los KVARs necesarios.

$$\begin{aligned} \text{Potencia reactiva (KVAR)} &= (P)(K) \\ &= (120.589)(0.424) \\ &= 51.129\text{KVAR} \end{aligned}$$

Por último solo nos resta buscar en listas de capacitores comerciales, el número de capacitores con determinadas potencias para que en conjunto, puedan suministrar los 51.129KVAR requeridos.

En la tabla 4.3 se muestran las lecturas de las mediciones realizadas en un punto donde se considera que hay más consumo de energía esta se realizaron en el tablero del compresor.

Tabla 4.3 Potencia (perfiles de demanda) y Factor de Potencia

Punto de medición: Compresor

Periodo: Desde 08/02/2002 (2:30 p.m.) Hasta 08/02/2002 (6:45 p.m.)

FECHA	HORA	kW tot	kWh tot	kVAR tot	kVARh tot	FP
8/02/02	02:30 p.m.	19,2162	2,17427	20,9188	1,7042	-67,6502
8/02/02	02:35 p.m.	23,0905	4,84385	21,5103	3,63671	-73,17
8/02/02	02:40 p.m.	34,2799	8,12409	22,8542	5,6554	-83,204
8/02/02	02:45 p.m.	23,9566	11,2291	21,5369	7,63863	-74,3665
8/02/02	02:50 p.m.	2,37315	12,1214	1,64674	8,25609	-82,1578
8/02/02	02:55 p.m.	52,2421	15,812	27,5316	10,3464	-88,4669
8/02/02	03:00 p.m.	30,1573	18,4194	22,0896	12,2704	-80,6734
8/02/02	03:05 p.m.	14,6596	20,9494	20,2937	14,1763	-58,557
8/02/02	03:10 p.m.	2,45298	21,4195	1,66344	14,7346	-82,7645
8/02/02	03:15 p.m.	22,9963	23,6509	21,3887	16,316	-73,2239
8/02/02	03:20 p.m.	48,5338	26,5089	26,3733	18,2911	-87,8653
8/02/02	03:25 p.m.	50,335	29,3546	26,9358	20,2712	-88,1694
8/02/02	03:30 p.m.	15,3473	31,7372	20,4266	21,9775	-60,0685
8/02/02	03:35 p.m.	50,5415	33,7885	27,1036	23,829	-88,1278
8/02/02	03:40 p.m.	14,7379	35,7606	20,779	25,6678	-57,8524
8/02/02	03:45 p.m.	15,3047	37,0202	20,7633	27,3893	-59,3335
8/02/02	03:50 p.m.	49,6517	39,6619	26,9621	29,3484	-87,8792
8/02/02	03:55 p.m.	31,3631	43,1768	22,7949	31,4391	-80,8915
8/02/02	04:00 p.m.	49,2063	46,7664	26,4831	33,5387	-88,0565
8/02/02	04:05 p.m.	2,08154	49,5563	1,58383	35,1818	-79,582
8/02/02	04:10 p.m.	2,45635	49,7463	1,66722	35,3182	-82,7411
8/02/02	04:15 p.m.	2,08515	49,9374	1,59526	35,4551	-79,4223
8/02/02	04:20 p.m.	14,478	51,8554	21,0763	37,0318	-56,6209
8/02/02	04:25 p.m.	22,6468	54,8294	22,1858	39,0633	-71,4341
8/02/02	04:30 p.m.	50,6466	57,8229	27,9224	40,9598	-87,5728
8/02/02	04:35 p.m.	29,5035	60,3178	22,8753	42,9357	-79,0284
8/02/02	04:40 p.m.	14,6785	63,0202	20,9756	44,9133	-57,3346
8/02/02	04:45 p.m.	14,9625	65,4014	21,1202	46,8379	-57,8077
8/02/02	04:50 p.m.	50,3788	67,8043	27,1925	48,6577	-87,9993
8/02/02	04:55 p.m.	42,7016	69,566	25,2968	50,4842	-86,036
8/02/02	05:00 p.m.	49,703	72,7874	26,8874	52,5433	-87,9552
8/02/02	05:05 p.m.	28,0699	75,9968	22,726	54,5973	-77,7208
8/02/02	05:10 p.m.	2,37405	77,6911	1,67591	55,9326	-81,6951
8/02/02	05:15 p.m.	14,9137	79,1505	21,2206	57,2053	-57,4995
8/02/02	05:20 p.m.	15,0329	80,9739	21,2901	59,0559	-57,6801

8/02/02	05:25 p.m.	51,6469	83,2668	27,808	60,9979	-88,0484
8/02/02	05:30 p.m.	2,08579	86,0239	1,63447	62,693	-78,7118
8/02/02	05:35 p.m.	14,8612	87,6846	21,1845	63,9359	-57,4293
8/02/02	05:40 p.m.	15,1903	89,4621	21,6087	65,7939	-57,5093
8/02/02	05:45 p.m.	15,2075	91,3203	21,6188	67,6703	-57,5348
8/02/02	05:50 p.m.	2,29296	92,3528	1,70042	69,1053	-80,3234
8/02/02	05:55 p.m.	2,04502	92,5431	1,64955	69,2471	-77,835
8/02/02	06:00 p.m.	25,5904	94,7365	23,3564	70,8948	-73,8612
8/02/02	06:05 p.m.	22,6514	97,7803	23,4152	73,024	-69,5288
8/02/02	06:10 p.m.	51,8944	100,986	28,7645	75,1949	-87,4627
8/02/02	06:15 p.m.	29,9025	104,511	23,7733	77,4082	-78,2764
8/02/02	06:20 p.m.	36,9507	107,743	25,047	79,5499	-82,7753
8/02/02	06:25 p.m.	51,7519	108,711	28,2092	80,3249	-87,8032
8/02/02	06:30 p.m.	17,2791	110,774	21,7544	82,2601	-62,1961
8/02/02	06:35 p.m.	22,1315	113,178	22,5052	84,2478	-70,1162
8/02/02	06:40 p.m.	49,1948	115,224	27,6268	86,1834	-87,1918
8/02/02	06:45 p.m.	50,9233	118,284	27,8748	88,1725	-87,7182
Prom.		22.82385		21.922		-79.22535

Se puede notar que el F.P. tomado en la línea de los compresores es más bajo aún en este caso de -0.79225 y lo redondearemos a 0.79.

Para elevar el factor de potencia a 0.99, en la tabla 4.3 realizaremos la misma operación que en el caso de las mediciones tomadas en la acometida.

TABLA PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA  
FACTOR DE POTENCIA DESEADO

	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85
0.99	0.142															
0.98	0.203	0.061														
0.97	0.251	0.108	0.048													
0.96	0.292	0.149	0.089	0.041												
0.95	0.329	0.186	0.126	0.078	0.037											
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034										
0.93	0.395	0.253	0.192	0.145	0.104	0.067	0.032									
0.92	0.426	0.284	0.223	0.175	0.134	0.097	0.063	0.031								
0.91	0.456	0.313	0.253	0.206	0.164	0.127	0.093	0.059	0.030	0.634						
0.90	0.484	0.342	0.281	0.234	0.193	0.156	0.121	0.089	0.058	0.029	0.028					
0.89	0.512	0.370	0.309	0.262	0.221	0.184	0.149	0.117	0.085	0.057	0.028	0.027				
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.174	0.145	0.114	0.084	0.056	0.027	0.027			
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.204	0.172	0.141	0.111	0.082	0.054	0.027	0.027		
0.86	0.583	0.451	0.390	0.343	0.302	0.265	0.230	0.198	0.167	0.138	0.109	0.081	0.054	0.027	0.027	
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.257	0.225	0.194	0.164	0.135	0.107	0.080	0.053	0.026	0.026
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.283	0.251	0.220	0.190	0.162	0.134	0.106	0.079	0.053	0.026
0.83	0.672	0.530	0.469	0.421	0.380	0.343	0.309	0.277	0.246	0.216	0.188	0.160	0.132	0.105	0.079	0.052
0.82	0.698	0.556	0.495	0.447	0.406	0.369	0.335	0.303	0.272	0.242	0.214	0.186	0.158	0.131	0.105	0.078
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.361	0.329	0.298	0.268	0.240	0.212	0.184	0.157	0.131	0.104
0.80	0.750	0.606	0.547	0.499	0.458	0.421	0.387	0.355	0.324	0.294	0.266	0.238	0.210	0.183	0.157	0.130
0.79	0.776	0.634	0.575	0.525	0.484	0.447	0.413	0.381	0.350	0.320	0.292	0.264	0.236	0.209	0.183	0.156
0.78	0.802	0.660	0.601	0.552	0.511	0.474	0.439	0.407	0.376	0.347	0.318	0.290	0.262	0.235	0.209	0.183
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.465	0.433	0.403	0.373	0.344	0.316	0.289	0.262	0.235	0.209
0.76	0.855	0.713	0.652	0.605	0.563	0.525	0.492	0.460	0.429	0.400	0.371	0.343	0.315	0.288	0.262	0.235
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.519	0.487	0.456	0.426	0.398	0.370	0.342	0.315	0.289	0.262
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.545	0.514	0.483	0.453	0.425	0.397	0.369	0.342	0.316	0.289
0.73	0.936	0.794	0.733	0.686	0.645	0.608	0.573	0.541	0.510	0.481	0.452	0.424	0.396	0.370	0.343	0.316
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.601	0.569	0.538	0.508	0.480	0.452	0.424	0.397	0.370	0.344
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.629	0.597	0.566	0.536	0.508	0.480	0.452	0.425	0.398	0.372
0.70	1.020	0.878	0.817	0.770	0.729	0.692	0.657	0.625	0.594	0.565	0.536	0.508	0.480	0.453	0.427	0.400
0.69	1.049	0.907	0.846	0.798	0.757	0.720	0.685	0.654	0.623	0.593	0.565	0.537	0.509	0.482	0.456	0.429
0.68	1.078	0.936	0.875	0.828	0.787	0.750	0.715	0.683	0.652	0.623	0.594	0.566	0.539	0.512	0.485	0.459
0.67	1.108	0.966	0.905	0.857	0.816	0.779	0.745	0.713	0.682	0.652	0.624	0.596	0.568	0.541	0.515	0.488
0.66	1.138	0.996	0.935	0.898	0.847	0.810	0.775	0.743	0.712	0.683	0.654	0.626	0.598	0.572	0.545	0.519
0.65	1.169	1.027	0.966	0.919	0.877	0.840	0.805	0.774	0.743	0.714	0.685	0.657	0.629	0.602	0.576	0.549

Tabla 4.3

Este valor se multiplicará por la potencia para obtener el valor de los KVARs necesarios.

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia reactiva (KVAR)} &= (P)(K) \\
 &= (22.82385)(0.634) \\
 &= 14.47032\text{KVAR}
 \end{aligned}$$

Observando las lecturas de las dos tomas de medición se considero optima la conexión de un banco de capacitores automático en la acometida ya que de esta forma se resolverá el problema de tener conectado todo el tiempo el banco de capacitores fijo con el que contaba esta empresa.

Para este caso en particular se cotizó un banco de capacitores automático de 60 KVAR con seis pasos de 10 KVAR marca ELECTRONICON para baja tensión modelo ETA C0008 cuyo precio al 25 de Agosto del 2004 es de \$30,647.50 M.N. Más adelante en este capítulo se detallará el estudio costo beneficio para la inversión de este tipo de banco de capacitores automático.

#### 4.6 CALCULO DE JUSTIFICACION ECONOMICA

De lo visto en el capítulo 2, de un modo más específico encontramos las siguientes tarifas y la forma de trabajar de CFE para el cobro de consumo mensual:

Las tarifas se cobran según la región de que se trate en nuestro caso es la región central que tiene las siguientes tarifas:

	Cargo por kW de demanda facturable	Cargo por kWh de energía de punta	Cargo por kWh De energía intermedia	Cargo por kWh de energía de base
CENTRAL	\$ 107.95	\$ 2.0396	\$ 0.6525	\$ 0.5450

#### PERIODOS DE PUNTA, INTERMEDIO Y BASE

##### REGION CENTRAL

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00-6:00	6:00-20:00 22:-24:00	20:00-22:00
Sábado	0:00-7:00	7:00-24:00	
Domingo y días festivos	00:00-19:00	19:00-24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril:

	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	00:00-6:00	6:00-18:00 22:00-24:00	18:00-22:00
Sábado	00:00-8:00	8:00-19:00 21:00-24:00	19.00-21:00
Domingo y días festivos	00:00-18:00	18:00-24:00	

## DEMANDA FACTURABLE

La demanda facturable se define como se establece a continuación:

$$DF = DP + FRI \times \max(DI-DO,0) + FRB \times \max(DB-DPI,0)$$

Donde:

DP es la demanda máxima medida en el periodo de punta

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

DB es la demanda máxima medida en el periodo base

DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria:

	FRI	FRB
CENTRAL	0.300	0.150

En las fórmulas que definen las demandas facturables, el símbolo "max" significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinan mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente.

Cualquier fracción de Kilowatt de demanda facturable se tomara como Kilowatt completo.

Para la empresa YAZBEK se tienen los siguientes datos:

	kWh en base	kWh intermedio	kWh en punta
Lunes a viernes	173.883	1903.085	260.252
Sábado	284.943	1030.04	
Domingo	595	110.8	

Si tomamos en cuenta que hay aproximadamente 4 semanas en un mes tendremos los siguientes valores:

kWh en base	kWh intermedio	kWh en punta
6998	42626	1302

En base a las tarifas que se vieron anteriormente tenemos los siguientes resultados:

Demanda Maxima según las tablas (175 kW)(107.95)=	18 891.25
Consumo en base (6 998 kWh)(0.545)=	3 813.91
Consumo intermedio (42 626 kWh)(0.6525)=	27 813.47
Consumo en punta (1 302 kWh)(2.0396)=	1 304.04

---

SUBTOTAL	\$ 51 822.67
Para un factor de potencia de registrado de: FP = 86.67	+
Tenemos una penalización del 2.3%	\$ 1 191.92

---

TOTAL	\$ 53 014.59
+ 15 % de IVA	\$ 7 952.19

---

TOTAL a pagar	\$ 60 966.78
---------------	--------------

Calculando el valor de la potencia aparente (S):

El valor de  $P = 120.589$  kW se obtuvo de calcular la media de todas las mediciones de los kW.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{120.589}{0.8667} = 139.136 \text{ kVA}$$

Para Q tenemos:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \rightarrow Q^2 = S^2 - P^2$$

$$Q = \sqrt{(139.136)^2 - (120.589)^2} = 69.4 \text{ kVAR}$$

Con un FP = 0.99

$$S = \frac{120.589}{0.99} = 121.8 \text{ kVA}$$

$$Q = (121.8)^2 - (120.589)^2 = 17.133 \text{ kVAR}$$

Valor del capacitor  $69.4 - 17.133 \text{ [kVAR]} = 52.267 \text{ kVAR}$

Suponiendo el mismo consumo en kWh de \$ 51 822.67

Ahora tomando en cuenta la bonificación del 2.272 %

Tenemos un total de:

	51 822.67
	-1 177.41
	<hr style="width: 100px; margin: 0 auto;"/>
SUBTOTAL:	50 645.26
+ 15 % de IVA	7 596.79
	<hr style="width: 100px; margin: 0 auto;"/>
TOTAL	\$ 58 242.05

Hay un ahorro mensual de \$ 2 724.73 .

Con un precio de \$30 647.50 M.N. del capacitor automático de 60 kVAR podemos deducir que la recuperación de lo invertido sería en:

$$= \frac{30647.50}{2724.73} = 11.24$$

con los datos anteriores, del ahorro mensual, y suponiendo que el consumo es aproximadamente el mismo tanto en horario de invierno como de verano, la recuperación sería en un año.

Hay que tomar en cuenta que la vida media del banco de capacitores es de 10 años por lo que después del año inicial en el que se recuperaría la inversión, en seguida se tendría un ahorro mensual de aproximadamente 2 700.00 pesos, por lo que sí es recomendable la instalación del banco de capacitores.

## CONCLUSIONES

Como se pudo analizar de una manera detallada y una vez que el estudio costo beneficio fue terminado podemos mencionar que el Factor de Potencia no es un tema del que se deba hablar a la ligera, es necesario entender los conocimientos básicos que nos guiarán en cualquier estudio posterior a realizar en cualquier industria con respecto a la manera en que esta consume la energía eléctrica.

La instalación de capacitores como método correctivo del Factor de Potencia es el mejor que se pudo usar debido al elevado costo que implicaría la corrección con Maquinas Síncronas, así mismo es importante mencionar que el tiempo para la recuperación de la inversión es a corto plazo y que los beneficios son de gran ayuda para el buen funcionamiento de cualquier industria que consuma energía reactiva.

Se debe de atender a la brevedad cualquier interrupción en servicio de las maquinas instaladas como motores, transformadores, etc., ya que pudiera ser que el hecho de tener un bajo factor de potencia este como consecuencia deteriorando la vida de estos y por otro lado causando perdidas a la empresa por tener las líneas de producción detenidas.

La presente tesis muestra paso a paso la importancia de cada uno de los conceptos de electricidad y en base a estos como cimientos es posible la realización de este estudio, sin embargo existen conocimientos que únicamente se pueden adquirir con la práctica y la experiencia.

## GLOSARIO

Amperio (A): Unidad de la intensidad de la corriente eléctrica.

Carga instalada: Es la capacidad total en kW conectada a la instalación eléctrica

Demanda: Potencia eléctrica utilizada en un momento dado. Es el valor en kW medido en un instante

Demanda Facturable: Definida por la relación de demandas en los diferentes periodos (tarifas horarias):

Demanda máxima: Es la demanda medida en kW durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica fue mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en periodo de consumo

Energía de punta es la energía consumida durante el periodo de punta.

Energía intermedia es la energía consumida durante el periodo intermedio.

Energía de base es la energía consumida durante el periodo de base.

Factor de Carga: Relación entre la potencia media y la potencia máxima en un periodo. Indica el grado de uniformidad de la demanda.

Factor de potencia: Relación entre potencia útil (KW) y potencia aparente (KVA).

Kilovoltamperio Reactivo (KVAR): Unidad de la potencia eléctrica no utilizable (reactiva)

Kilovoltio (KV): Unidad de la tensión o voltaje de suministro de la energía eléctrica.

Kilowatio (KW): Unidad de la potencia eléctrica efectiva o útil (activa)

Kilovoltamperio (KVA): Unidad de la potencia eléctrica aparente (activa y reactiva en conjunto)

Voltio(V): Unidad de la tensión o voltaje de suministro de la energía eléctrica.

## APENDICE:

### APENDICE 1: PRINCIPALES FORMULAS MAS USADAS EN ELECTRICIDAD

PARA ENCONTRAR	CORRIENTE CONTINUA	CORRIENTE ALTERNA		
		1 FASE	2 FASES, 4 HILOS	3 FASES
Amperes conociendo HP	$\frac{(HP)(746)}{VN}$	$\frac{(HP)(746)}{VN(f.p.)}$	$\frac{(HP)(746)}{2(VN)(f.p.)}$	$\frac{(HP)(746)}{3(VN)(f.p.)}$
Amperes conociendo KW	$\frac{(KW)(1000)}{V}$	$\frac{(KW)(1000)}{V(f.p.)}$	$\frac{(KW)(1000)}{2V(f.p.)}$	$\frac{(KW)(1000)}{3V(f.p.)}$
Amperes conociendo KVA	—————	$\frac{(KVA)(1000)}{V}$	$\frac{(KVA)(1000)}{2V}$	$\frac{(KVA)(1000)}{3V}$
KW	$\frac{VI}{1000}$	$\frac{VI(f.p.)}{1000}$	$\frac{2VI(f.p.)}{1000}$	$\frac{3VI(f.p.)}{1000}$
KVA	—————	$\frac{VI}{1000}$	$\frac{2VI}{1000}$	$\frac{3VI}{1000}$
Potencia en la flecha	$\frac{VI(N)}{746}$	$\frac{VI(N)(f.p.)}{746}$	$\frac{2VI(N)(f.p.)}{746}$	$\frac{3VI(N)(f.p.)}{746}$
Factor de potencia	Unitario	$\frac{W}{VI}$	$\frac{W}{2VI}$	$\frac{W}{3VI}$

Para sistemas de 2 fases 3 hilos, la corriente en el conductor común es 2 veces mayor que en cualquiera de los otros dos.

KVA motor

$$= \frac{(HP)(746)}{N(f.p.)}$$

W = Potencia en Watts

f = frecuencia en c.p.s. ó Hz.

Torque a plena carga del motor

$$= \frac{(5250) (HP \text{ a plena carga})}{\text{velocidad en rpm}}$$

I = Corriente en Amperes

V = Voltaje en Volts

KW = Potencia real en Kilowatt

KVA = Potencia aparente en Kilo volt-ampere

Velocidad sincronía

$$= \frac{(120) (\text{frecuencia})}{\text{numero de polos}}$$

p = Número de polos

N = Eficiencia expresada en decimales

Revoluciones por minuto (rpm)

$$= \frac{(120)f}{p}$$

APENDICE 2:  
VALORES DE LA RESISTIVIDAD PARA ALGUNOS CONDUCTORES  
(Resistividad a temperatura ambiente de 20°).

MATERIAL CONDUCTOR	( $\Omega \cdot m$ )
Plata	$1.47 \times 10^{-8}$
Cobre	$1.72 \times 10^{-8}$
Aluminio	$2.63 \times 10^{-8}$
Wolframio	$5.51 \times 10^{-8}$
Hierro	$9.8 \times 10^{-8}$
Estaño	$14.17 \times 10^{-8}$
Plomo	$22.1 \times 10^{-8}$
Mercurio	$95.8 \times 10^{-8}$
Carbón	de $3 \times 10^{-5}$ a $7 \times 10^{-5}$

APENDICE 3:  
CONVERSION DE UNIDADES

	mm	cm	m	Km	pulgada	pie	yarda	milla
mm	1	0.1	0.001	$1 \times 10^{-6}$	0.03937	$3.28 \times 10^{-3}$	$1.936 \times 10^{-3}$	$6.2137 \times 10^{-7}$
cm	10	1	0.01	$1 \times 10^{-5}$	0.3937	0.0328	0.01093	$6.2137 \times 10^{-6}$
m	1000	100	1	$1 \times 10^{-3}$	39.37	3.2808	1.0936	$6.2137 \times 10^{-4}$
Km	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^5$	1000	1	39370.078	3280.84	1093.61	0.62137
pulgada	25.4	2.54	0.0254	$2.54 \times 10^{-5}$	1	0.083333	0.02777	$1.57829 \times 10^{-5}$
pie	304.8	30.48	0.3048	$3.048 \times 10^{-4}$	12	1	0.33333	$1.89394 \times 10^{-4}$
yarda	914.4	91.44	0.9144	$9.144 \times 10^{-3}$	36	3	1	$5.68182 \times 10^{-4}$
milla	1609000	160900	1609	1.609	63360	5280	1760	1

En el sistema ingles se usan las abreviaturas de *in* para pulgada, *ft* para pies, *yd* para yardas y *mi* para millas, también es común el uso de comillas en el caso de pulgadas y de fracciones, por ejemplo:

A 0.25 de pulgada se escribe como  $\frac{1}{4}$ ".

Existen dos unidades en el sistema ingles poco usados para nuestros fines uno es el estadio llamado *furlong* equivalente a 220 yardas = 201.16 mts. Y la milla marina o *náutica* equivalente a 2025 yardas = 1853 mts.

La equivalencia exacta de una milla es de 1609.342 mts. En E.U. y de 1609.347 en Reino Unido.

Existen otras unidades métricas como el decímetro ( $1 \times 10^{-1}$  mts) que actualmente se encuentran en desuso.

APENDICE 4:

PREFIJOS	SIMBOLO	EQUIVALENCIA
TERA	<i>T</i>	$1 \times 10^{12}$
GIGA	<i>G</i>	$1 \times 10^9$
MEGA	<i>M</i>	$1 \times 10^6$
KILO	<i>K</i>	$1 \times 10^3$
HECTO	<i>H</i>	$1 \times 10^2$
DECA	<i>D</i>	$1 \times 10$
DECI	<i>d</i>	$1 \times 10^{-1}$
CENTI	<i>c</i>	$1 \times 10^{-2}$
MILI	<i>m</i>	$1 \times 10^{-3}$
MICRO	$\mu$	$1 \times 10^{-6}$
NANO	<i>n</i>	$1 \times 10^{-9}$
PICO	<i>p</i>	$1 \times 10^{-12}$
FEMTO	<i>f</i>	$1 \times 10^{-15}$

PREFIJOS Y SUFIJOS:

APENDICE 5:

Motores Línea 8000™ de GENERAL ELECTRIC

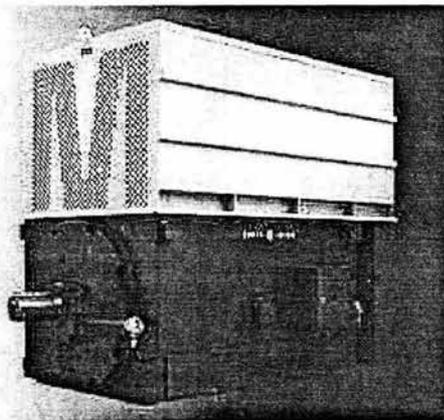
Confiabilidad, robustez y facilidad de mantenimiento. Los motores eléctricos GE Industrial Systems son proyectados y fabricados para atender los requisitos particulares de una amplia variedad de aplicaciones en las industrias: química, petroquímica, papel y celulosa, siderúrgica, minera, saneamiento y transporte.

-----  
 Motor de Inducción - Jaula de Ardilla

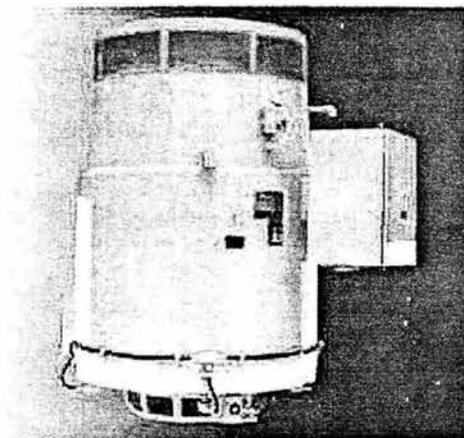
Simplicidad, Bajo Costo, Adaptabilidad

Horizontal y vertical, estado sólido

Con potencias por fase de 100 hasta 20.000 HP



*Horizontal*



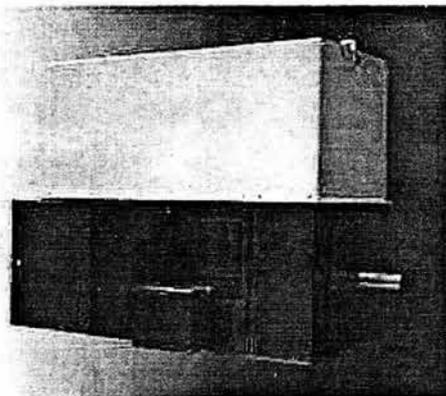
*Vertical*

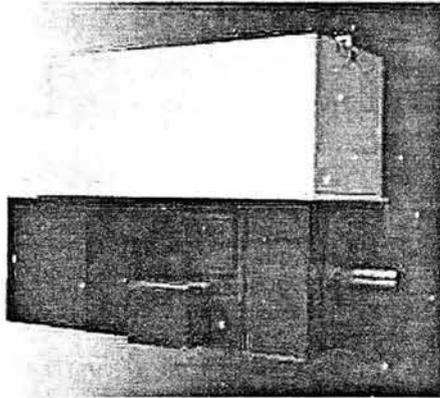
Nuestro motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla es el más ampliamente utilizado para accionamiento de bombas, ventiladores y compresores. Entre sus principales ventajas se incluyen su inherente simplicidad de construcción del rotor y controles; su bajo costo y, obviamente, su adaptabilidad a ambientes más agresivos. Los motores de inducción, rotor de jaula, están disponibles con niveles de rendimiento normales y "premium" (alto rendimiento).

-----  
Motor de Inducción - Rotor Devanado

Partida suave, Velocidad de ajuste

Horizontal y vertical, con potencias entre 300 y 20.000 HP



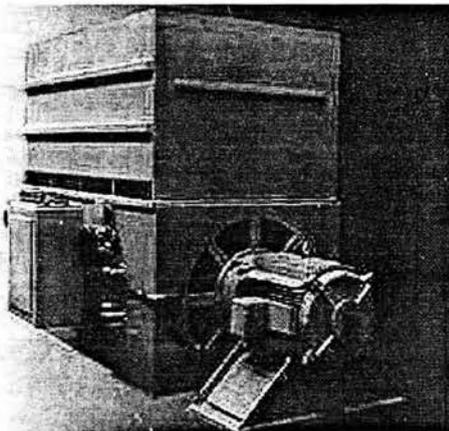


Los motores de inducción con Rotor Devanado, a pesar de costos mas elevado, son comparados con los motores de jaula de ardilla, porque hacen posible importantes ventajas de aplicación por encima de estos.

Históricamente han sido utilizados para partir cargas de alta inercia o que exijan conjugados de partida elevados, o aunada, cuando el sistema de accionamiento requiere partidas suaves. Con reóstato líquido o con un sistema estático de control de velocidades, los motores anteriores son una importante alternativa donde se requieren fases limitadas de control de velocidades.

---

Motores y Generadores Síncronos  
Alta eficiencia y Factor de potencia  
Horizontal y vertical  
Con potencias entre 300 y 50.000 HP



En función de su elevada eficiencia y capacidad de corregir el factor de potencia de las instalaciones los motores síncronos son frecuentemente una opción para accionamientos de gran fuerza. Un mayor entre-hierro, con relación a los motores de inducción, permite el uso de ranuras en el estator de mayor tamaño, una ventaja que permite aplicaciones que requieren alta potencia y alta tensión simultáneamente. Adicionalmente los proyectistas tienen gran flexibilidad para combinar torques de arranque con otras características, siendo el objetivo, atender los requisitos particulares de cada sistema.

Marcas mundiales en fabricación de capacitores

**EUROTECH** 

**Schneider**  
 **Electric**

  
**IN-LAP**

 **ELECTRONICON**  
Electronics World 

Directorio de proveedores y fabricantes de bancos de capacitores

ABB DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

Blvd. Centro Industrial No. 12, 54073, Tlalnepantla, Paseo de la Reforma No. 35-2o.Piso

Edo. de México.

Tel: +52 55 5328-7434

Fax: +52 55 5328-7467

Fabricante de capacitores en baja y alta tensión,  
bancos automáticos, filtros de armónicas.

Contacto:

Ramón Ramírez Ricárdez

Gerente de Producto Capacitores y Filtros

Armónicos – Automation Technologies Division

E-mail: [ramon\\_ramirez@mx.abb.com](mailto:ramon_ramirez@mx.abb.com)

AUTOMATIZACION Y CONTROL DE LA  
ENERGIA, SUMINISTROS Y ASESORIA

Doroteo Arango No. 80 G503

ALSTOM T&D, S.A. DE C.V.

Col. Tabacalera, C.P. 06030 México, D.F.

Tel: 5705-1937

Fax: 5546-4696

E-

mail: <mailto:%20%20ventas.mexico@tde.alstom.com>

Fabricante de capacitores para corrección de factor de  
potencia en alta y baja tensión.

DISTRIBUIDORA DE REFACCIONES Y  
SELLOS MECANICOS, S.A. DE C.V.

Atenas No. 40-101

Col. Francisco Villa. C.P. 02420 México, D.F.  
Tel: 5318-6105  
Fax: 5318-0762  
E-mail: <mailto:%20acesa@prodigy.net.mx>  
Bancos automáticos, capacitores, RTC-INELAP, filtros de armónicas, activos y pasivos. Análisis de calidad de energía, mantenimiento a subestaciones, equipos de medición, arrancadores T.R. y ATP.LG. Inversores ó variadores de velocidad YASCAWA, automatización con PLC-OMRON.

CIA. GENERAL DE ELECTRONICA, S.A. DE C.V.  
Tezozomoc No. 239  
Fracc. Ind. San Antonio  
02760 México, D.F.  
Tel: 5352-5244  
Fax: 5352-5385  
Capacitores de uso general, motores, refrigeración.

ELECTRICA ALVAREZ VICENCIO, S.A. DE C.V.  
Justino Fernández No. 7  
Col. Constitución de la República, C.P. 07469 México, D.F.  
Tels: 5767-6832, 5767-6852 y 5767-6872  
Fax: 5577-0067  
E-mail: <mailto:%20elajvasa@prodigy.net.mx>  
Distribuidor autorizado: capacitor de marcha, capacitor para corregir el factor de potencia en alta y baja tensión, capacitor de arranque, motores, autotransformadores, motoprotectores. Somos distribuidores de Industrias Gilvert, S.A. de C.V.  
EUROTECH DE MEXICO, S.A. DE C.V.  
Manuel J. Othón No. 48  
Col. Obrera, C.P. 06800 México, D.F.  
Tels: 5578-0238 y 5578-0943  
Fax: 5273-5829  
E-mail: [eurotech@rasa.com.mx](mailto:eurotech@rasa.com.mx)  
\* Monterrey, N.L.:  
Av. Morones Prieto No. 2110 Loc. 102  
Edif. Manchester  
Col. Loma Larga  
64710 Monterrey, N.L.  
Tel: 8340-0006  
Fax: 8340-0014  
\* Puebla, Pue.:  
Av. Juárez No. 2927-7  
Col. La Paz, C.P. 72160 Puebla, Pue.  
Tel. (2) 230-06-64  
Fax: (2) 231-14-97  
Fabricante de bancos de capacitores fijos y automáticos para corregir el factor de potencia en baja y media tensión de la marca alemana ELECTRONICON.  
MANUFACTURAS TECNICAS INDUSTRIALES MEXICANAS, S.A.

Col. Juárez. C.P. 06600 México, D.F.  
Tels. y Fax: 5535-2995, 5535-2837, 1998-7929 y 1998-7930  
Internet: <http://www.diresem@prodigy.net.mx/>  
Sucursales:  
\* Calz. Vallejo No. 506-B  
Col. Pro-Hogar 02600 México, D.F.  
Tel: 5355-8838  
Fax: 5556-5587  
\* Puente de la Morena No. 44-A Col. Tacubaya, C.P. 11870 México, D.F.  
Tel. 52-71-20-31  
Compra-venta, importación, exportación de material y equipo eléctrico en general.  
DISTRIBUIDORA ELECTRICA UPR, S.A. DE C.V.  
Ayuntamiento No. 93-102  
Col. Centro, C.P. 06070 México, D.F.  
Tels. 5510-1486, 5512-2215 y 5518-2943  
Fax: 5521-0827  
Distribuidor de capacitores ABB (bancos automáticos, filtros de 3a. Armónica y filtros activos).  
ELECTRICIDAD Y POTENCIA, S.A. DE C.V.  
Tlaxcala No. 44-B  
Col. Roma, C.P. 06700 México, D.F.  
Tels: 5584 3300 y 5574-6099  
Fax: 5574-7227  
Distribuidor de capacitores para corrección del bajo factor de potencia en baja y alta tensión, así como bancos de regulación automática.

SALGAR INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.  
Cádiz Sur No. 30  
Col. Insurgentes Mixcoac, C.P. 03920 México, D.F.  
Tels: 5615-2903, 5615-2930 y 5615-2931  
Fax: 5615-2903  
E-mail: <mailto:%20pibarran@geoline.com>  
Sucursal:  
Mar de la Crisis  
Col. Los Olivos, C.P. 04890 México, D.F.  
Tels: 5679-1963 y 5679-8102  
Distribuidora de equipos para ahorro de energía como: equipo electrónico para la medición de parámetros eléctricos (V, A, Hz), protecciones contra sobretensiones.  
Protección contra fuga a tierra. Analizadores armónicos, estudios de armónicos y corrector del factor de potencia, tierras. Venta de capacitores de potencia y filtros armónicos. Protecciones para motor, fusibles.

JM HIDALGO 2000, S.A. DE C.V.  
Super Manz. Comercial y Servicios 4 Lte. 31

Campo Milagro No. 12 (esq. A. Serdán)  
Lateral Circuito Parque Vía  
Col. Sto. Domingo, C.P. 02160 México, D.F.  
Tels: 5352-2357, 5352-2929, 5352-2389  
Fax: 5352-1891

Conectores mecánicos y soldables, apartarrayos,  
pararrayos, capacitores, electrodos y cables  
KRONA DE MEXICO

Nautla No. 24

Col. Roma Sur, C.P. 06760 México, D.F.

Tel: 5564-4017

Alta tecnología en capacitores eléctricos.

SCHNEIDER ELECTRIC MÉXICO

Calz. J. Rojo Gómez No. 1121-A, Col. Guadalupe  
del Moral, 09300, México D.F.

Contacto:

Ing. Celia Andrade Calderón

Ingeniero de Mercadotecnia

Familia PowerLogic y Capacitores

Tel: 5804-5213

Fax: 5804-5183

E-mail: [andradec@squared.com](mailto:andradec@squared.com)

<http://www.schneider-electric.com.mx/>

TECNICA EN MATERIALES ELECTRICOS, S.A. SUMINEL, S.A. DE C.V.

DE C.V.

Ernesto Pugibet No. 58

Col. Centro, C.P. 06070 México, D.F.

Tels: 5510-9555, 5510-9655, 5510-1202

Fax: 5518-6296

Capacitores uso general en las mejores marcas.

TECNICA SALGAR, S.A. DE C.V.

Filomeno Mata No. 171

Col. Sta. Ma. Aztahuacan, C.P. 09500 México, D.F.

Internet: <http://www.salgar.com/home.html>

Tels: 5691-1676, 5691-1681

Fax: 5691-1684

Bancos de capacitores alta y baja tensión,  
capacitores industriales COPOSA y reactores  
limitadores de corriente. Consultoría en  
compensación del factor de potencia y control de  
demanda.

FUENTE: Directorio de la Industria Eléctrica de la República Mexicana

Fracc. Industrial, C.P. 43800 Tizayuca, Hgo.

Tels: (7) 796-33-04, 796-33-05 y 796-33-06

Fax sin costo: 01-800-712-2182

E-mail: [mailto:%420jmh2000@df1.telmx.net.mx](mailto:mailto:%420jmh2000@df1.telmx.net.mx)

Distribuidor de capacitores ABB y bancos  
automáticos para corrección de factor de potencia,  
filtro de armónicas

INELAP

Internet: [www.inelap.com.mx](http://www.inelap.com.mx)

Capacitores, equipo de medición y pruebas.

SC INGENIERIA, S.A. DE C.V.

Av. Ing. Eduardo Molina No. 6553

Col. San Pedro El Chico

07480 México, D.F.

Tels: 5757-6883- 5767-9389

Fax 5737-2292

Solución integral a problemas con el factor de  
potencia.

Buen Tono No. 266-2

Col. Industrial

07800 México, D.F.

Tels: 5748-1481

Fax: 5748-1482

E-mail: [suminel@data.net.mx](mailto:suminel@data.net.mx),

[suminel\\_sa@hotmail.com](mailto:suminel_sa@hotmail.com).

Capacitores, filtros de armónicas, monitor para  
circuitos, suministros e instalación, monitoreamos su  
red eléctrica para la calidad de energía, F.P., etc.

## CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS CAPACITORES DE BAJA TENCION

- El banco es 100% reparable en campo.
- Su montaje puede ser en piso o en pared.
- Ventilación por convección natural.
- Amplio espacio para instalación.
- Tiene indicación visual de falla de las celdas.

### Especificaciones estándar.

Todos los bancos fijos en baja tensión con interruptor hechos por Inelap cuentan con las siguientes especificaciones estándar:

Fases:	3
Frecuencia:	60 Hz.
Tensiones:	240, 480 y 600 V.
Capacidad en kVAR:	5 a 130.
Protección general:	Interruptor termomagnético de palanca tipo lengüeta, clase AC3.
Gabinete:	Para uso interior (NEMA 1), en lámina en calibres 12 y 14, con acabado en pintura en polvo texturizada para estructura, puertas y cubiertas. Charola y herrajes en lámina negra pintada.
Montaje de gabinete:	Gabinete soportado en pared o para piso.
Celdas capacitivas:	De polipropileno metalizado en zinc, para 80 °C continuos de temperatura, cumpliendo la norma NEMA ANSI EIA-456 y con aprobación de UL.
Conexión:	Delta o estrella.
Ventilación:	Por convección natural.
Pérdidas de celdas:	Menores a 0.4 Watts/kVAR.
Descarga de celdas:	Por medio de resistencias individuales.
Protección de celdas:	Por medio de dispositivo de sobrepresión para cada celda, aprobado por UL.
Indicación de falla:	En forma visual para cada celda.

Acometida:	Por la parte lateral o inferior.
Altitud máxima:	3500 msnm.
Normas:	NEMA ANSI EIA-456-A, IEC 831 1 y 2, NMX J 203, ANCE 1996, NEMA CP 1-2000.
Aprobación UL:	CYWT.F227040
Mantenimiento:	100% reparable en campo.
Garantía:	7 años.

### Especificaciones opcionales.

Además de las especificaciones estándar Inelap ofrece las siguientes especificaciones opcionales de forma que el banco fijo se adapte mejor a las necesidades propias del usuario y de la instalación:

Fases:	Disponibles en monofásico.
Frecuencia:	50 Hz.
Tensiones:	Cualquiera hasta 830 V.
Capacidad en kVAR:	Cualquier capacidad.
Gabinetes:	NEMA 12, 3R y especiales, en cualquier color empleado en equipos eléctricos industriales.
Fusibles principales:	Disponibles.
Lámparas piloto:	Disponibles.

CORTECIA INELAP

AV6000™ Series		Main Lugs or Main Breaker		480 Volt, 3 Phase/50Hz™		NEMA 1 Enclosure™		Top Cable Entry™	
1/4" Rating™	Steps	Main Lugs	Standard Lugs Provided #	Main Breaker	Standard Lugs Provided #	Breaker # (By UL 77)	Normal Current @ 80°C	Max.	Normal Current @ 80°C
400	125 to 415A	Cast Aluminum™	End	125 to 415A	Cast Aluminum™	End	125 to 415A	1200/500	1200/500
150	75-150	AV125048AV150EN	4	AV125048M150EN	4	AV125048M150EN	1200/500	150	1200/500
200	100-200	AV200048AV200EN	4	AV200048M200EN	4	AV200048M200EN	1200/500	200	1200/500
250	150-250	AV250048AV250EN	4	AV250048M250EN	4	AV250048M250EN	1200/500	250	1200/500
300	200-300	AV300048AV300EN	4	AV300048M300EN	4	AV300048M300EN	1200/500	300	1200/500
350	250-350	AV350048AV350EN	4	AV350048M350EN	4	AV350048M350EN	1200/500	350	1200/500
400	300-400	AV400048AV400EN	4	AV400048M400EN	4	AV400048M400EN	1200/500	400	1200/500
450	350-450	AV450048AV450EN	4	AV450048M450EN	4	AV450048M450EN	1200/500	450	1200/500
500	400-500	AV500048AV500EN	4	AV500048M500EN	4	AV500048M500EN	1200/500	500	1200/500
550	450-550	AV550048AV550EN	4	AV550048M550EN	4	AV550048M550EN	1200/500	550	1200/500
600	500-600	AV600048AV600EN	4	AV600048M600EN	4	AV600048M600EN	1200/500	600	1200/500
650	550-650	AV650048AV650EN	4	AV650048M650EN	4	AV650048M650EN	1200/500	650	1200/500
700	600-700	AV700048AV700EN	4	AV700048M700EN	4	AV700048M700EN	1200/500	700	1200/500
750	650-750	AV750048AV750EN	4	AV750048M750EN	4	AV750048M750EN	1200/500	750	1200/500
800	700-800	AV800048AV800EN	4	AV800048M800EN	4	AV800048M800EN	1200/500	800	1200/500
850	750-850	AV850048AV850EN	4	AV850048M850EN	4	AV850048M850EN	1200/500	850	1200/500
900	800-900	AV900048AV900EN	4	AV900048M900EN	4	AV900048M900EN	1200/500	900	1200/500

AV6000™ Series		Main Lugs or Main Breaker		480 Volt, 3 Phase/50Hz™		NEMA 1 Enclosure™		Top Cable Entry™	
1/4" Rating™	Steps	Main Lugs	Standard Lugs Provided #	Main Breaker	Standard Lugs Provided #	Breaker # (By UL 77)	Normal Current @ 80°C	Max.	Normal Current @ 80°C
400	125 to 415A	Cast Aluminum™	End	125 to 415A	Cast Aluminum™	End	125 to 415A	1200/500	1200/500
150	75-150	AV125048AV150EN	4	AV125048M150EN	4	AV125048M150EN	1200/500	150	1200/500
200	100-200	AV200048AV200EN	4	AV200048M200EN	4	AV200048M200EN	1200/500	200	1200/500
250	150-250	AV250048AV250EN	4	AV250048M250EN	4	AV250048M250EN	1200/500	250	1200/500
300	200-300	AV300048AV300EN	4	AV300048M300EN	4	AV300048M300EN	1200/500	300	1200/500
350	250-350	AV350048AV350EN	4	AV350048M350EN	4	AV350048M350EN	1200/500	350	1200/500
400	300-400	AV400048AV400EN	4	AV400048M400EN	4	AV400048M400EN	1200/500	400	1200/500
450	350-450	AV450048AV450EN	4	AV450048M450EN	4	AV450048M450EN	1200/500	450	1200/500
500	400-500	AV500048AV500EN	4	AV500048M500EN	4	AV500048M500EN	1200/500	500	1200/500
550	450-550	AV550048AV550EN	4	AV550048M550EN	4	AV550048M550EN	1200/500	550	1200/500
600	500-600	AV600048AV600EN	4	AV600048M600EN	4	AV600048M600EN	1200/500	600	1200/500
650	550-650	AV650048AV650EN	4	AV650048M650EN	4	AV650048M650EN	1200/500	650	1200/500
700	600-700	AV700048AV700EN	4	AV700048M700EN	4	AV700048M700EN	1200/500	700	1200/500
750	650-750	AV750048AV750EN	4	AV750048M750EN	4	AV750048M750EN	1200/500	750	1200/500
800	700-800	AV800048AV800EN	4	AV800048M800EN	4	AV800048M800EN	1200/500	800	1200/500
850	750-850	AV850048AV850EN	4	AV850048M850EN	4	AV850048M850EN	1200/500	850	1200/500
900	800-900	AV900048AV900EN	4	AV900048M900EN	4	AV900048M900EN	1200/500	900	1200/500

- Each 1/4" size AV6000 system is listed to 4.2" harmonic. Other listing frequencies are available. Please contact PSC Group for more information.
- A single 1/4" size system (NOT included) must be provided by the customer at the time of purchase and the system components. Required CT ratio must be specified at the time of order.
- NEMA Type 2B enclosure is available. Contact PSC Group for details.
- Optional PSC Group 3000 series meter and shunt.
- Top cable entry is standard. Contact PSC Group for details and options.
- For more information on the AV6000 series contact the PSC Group or your distributor. Contact us at 800-368-8888. Go to [www.pscgroup.com](http://www.pscgroup.com) for more information.
- AV6000 is not UL listed for use in hazardous locations.

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.-Guía Industrial. Control del Factor de Potencia. CADAPE.
- 2.-Corrección del Factor de Potencia  
SIEMENS, Heinz Paeg  
Ed. Marcombo
- 3.-Curso de transformadores y motores de inducción  
Enríquez Harper  
Ed. Limusa
- 4.-Potencia de corriente trifásica y su medición  
7. Bibliografía SIEMENS, Hans Joachim Gaus  
Ed. Marcombo
- 5.-El Factor de potencia  
José Ramírez Vázquez  
Ed CEAC
- 6.-Cutler-Hammer  
Catalogo General 1997  
Mexico 1997
- 7.-Stephen J. Chapman  
Maquinas Eléctricas  
Mc. Graw-Hill
- 8.-Manual de soldadoras eléctricas  
Mc. Graw-Hill  
1980
- 9.-Enríquez Harper  
El ABC de las instalaciones eléctricas  
Ed. Limusa  
1994
- 10.-L.T. Agger, B.E.  
Introducción a la electricidad  
Ed. CECSA  
1975
- 11.-Navarro Crespo Alfredo  
Capacitores de potencia  
Ed. Balmec S.A.  
México 1992
- 12.-Osram conceptos de iluminación  
Ed. Osram  
México 1994

- 13.-Reguladores automaticos S.A.  
Aplicación de los capacitores para la corrección del factor de potencia  
Ed. R.A.  
México 1989
- 14.-Westinghouse  
Manual de alumbrado  
México 1994
- 15.-Harry Mileat  
Serie 1-7 electricidad  
Ed. Limusa  
México 1993
- 16.-Irwin Lazar  
Análisis y diseño de sistemas electricos para plantas  
Ed. McGraw-Hill  
México 1993

[www.cadafe.com.mx](http://www.cadafe.com.mx)

[www.cfe.com.mx](http://www.cfe.com.mx)

[www.conae.com.mx](http://www.conae.com.mx)

[www.inelap.com.mx](http://www.inelap.com.mx)

[www.diariooficialdelafederación.com.mx](http://www.diariooficialdelafederación.com.mx)

[www.lfc.gob.mx](http://www.lfc.gob.mx)

[www.lumisistemas.com.mx](http://www.lumisistemas.com.mx)

