

105



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS
CORRECCION DE FACTOR DE POTENCIA
EN LA INSTALACION ELECTRICA DE UN
EDIFICIO DE OFICINAS



TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ROGELIO TELLEZ ALCANTAR

ASESOR: ING. JAIME RODRIGUEZ MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO, DE MEXICO

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN. Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario

Iluminación e Instalaciones Eléctricas
Conexión de Factor de Potencia en la Instalación Eléctrica de un
Edificio de Oficinas

que presenta el pasante Rogelio Téllez Alcántar
con número de cuenta: 6011950-5 para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Septiembre del 2002

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. M. Pedro Guzmán Tinajero</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Cecilia Rodríguez Arciniega</u>	<u>[Firma]</u>

OBJETIVO:MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA EN DICHA INSTALACION PARA EVITAR LAS MULTAS POR TENER UN BAJO FACTOR DE POTENCIA EN EL CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA.

TEMARIO

INTRODUCCION	1
1. -RELACION ENTRE CORRIENTE Y VOLTAJE PARA LOS ELEMENTOS PASIVOS	3
a) RESISTENCIA	
b) INDUCTANCIA	
c) CAPACITANCIA	
d) IMPEDANCIA	
2. - POTENCIA COMPLEJA	10
a) POTENCIA ACTIVA	
b) POTENCIA REACTIVA	
c) POTENCIA APARENTE	
3. - FACTOR DE POTENCIA	13
4. - LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA EN LAS INSTALACIONES DE FUERZA	18
5. - INSTALACION DE CAPACITORES	22
6. - CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS CAPACITORES, PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA	30
7. - CONCLUSIONES	33
8. - BIBLIOGRAFIA	34

INTRODUCCION

La gran mayoría de instalaciones eléctricas residenciales o industriales, usan la "corriente alterna", misma que es producida en las centrales generadoras de energía eléctrica y transformada en las subestaciones eléctricas para ser transmitida y distribuida por las líneas de transmisión y redes de distribución.

Debido a que la corriente alterna esta constantemente variando con valores instantáneos y regularmente alternos en dirección, la única forma de calcular la corriente es determinando su valor eficaz. Esto se puede hacer calculando el efecto de calentamiento de la corriente alterna y dando a la corriente la misma designación en amperes, que la corriente continua que produce el mismo efecto de calentamiento.

En corriente alterna cada ciclo de una alternación tiene lugar en un período determinado de tiempo, dependiendo de la frecuencia con que se producen las alternaciones, En México la frecuencia es de 60 ciclos/seg., (60 hertz). Para una frecuencia de 60 ciclos/seg., cada ciclo ocurre en 1/60 de segundo.

Otra forma de referirse a los ciclos o partes de ciclo de la corriente alterna y que no está referido con la frecuencia, pero facilita el análisis de los circuitos de corriente alterna, esta basada en las relaciones fasoriales y usa el concepto de ángulo eléctrico.

Se dice que un ciclo completo esta formado por 360 grados, una mitad de ciclo 180 grados, etc., cada ciclo comienza en cero grados, la alternación positiva o mitad de ciclo ocurre en la medida que el vector produce la onda senoidal moviéndose de 0 a 180 grados. La alternación negativa o medio ciclo ocurre de 180 a 360 grados. Según se muestra en la figura (1).

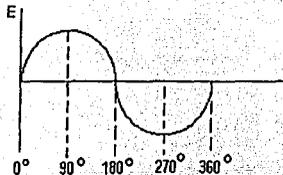


Figura (1). Perfil de un ciclo, de onda de C.A.

Los valores instantáneos de voltaje y corriente en cualquier punto del ciclo se pueden calcular como:

$$V_i = V_M \text{ SEN } \theta$$

$$I_i = I_M \text{ SEN } \theta$$

Donde V_M es el valor máximo de la onda de voltaje, que se encuentra a 90° para la parte positiva de la onda y $-V_M$ que se encuentra a 270° (de la parte negativa).

I_M valor máximo de la onda de corriente a 90° (en la parte positiva) y $-I_M$ (en la parte negativa) a, representa el valor máximo negativo.

1. -RELACION ENTRE CORRIENTE Y VOLTAJE PARA LOS ELEMENTOS PASIVOS

a) RESISTENCIA

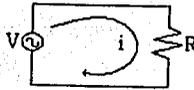


Figura (2)

Cuando se aplica un voltaje de corriente alterna a un circuito que contiene únicamente resistencia, el cual se muestra en la figura (2), la onda de corriente pasa por su valor máximo y mínimo al mismo tiempo y en la misma dirección, en estas condiciones se dice que la corriente está en "fase" con el voltaje.

$$V=Ri \quad 1.1$$

La corriente de 1.1 es:

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

Si el voltaje es senoidal $v = V_m \text{ sen } \omega t$

$$i = \frac{V_m \text{ sen } \omega t}{R} \quad 1.2$$

Para el caso senoidal si el voltaje tiene la forma:

$$V = V_m \text{ sen } \omega t, \text{ la corriente es } i = I_m \text{ sen } \omega t$$

Donde

$$I_m = \frac{V_m}{R}$$

Es decir que para cualquier tiempo t las dos ondas están en fase, según se muestra en la figura (3).

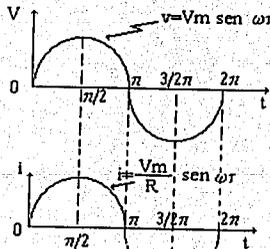


Figura (3).

Superponiendo las dos ondas.

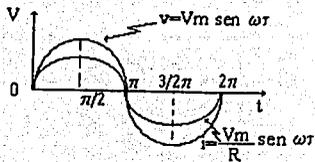


FIGURA (4).

b) INDUCTANCIA

Teniendo presente la figura (5).



Figura (5).

De la ley de Faraday, se obtiene que el voltaje señalado en la bobina es:

$$v = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{como } \phi = Li$$

$$v = L \frac{di}{dt} \quad 1.3$$

De 1.3

$$di = \frac{v}{L} dt, \quad i = \frac{1}{L} \int v dt$$

Si la corriente es senoidal:

$$i = I_m \sin \omega t$$

El voltaje es:

$$v = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t) = \omega L I_m \cos \omega t$$

$$v = \omega L I_m \cos \omega t = V_m \cos \omega t ; V_m = \omega L I_m$$

Al graficar la corriente y el voltaje de las ecuaciones anteriores se tienen los perfiles de onda en la figura (6).

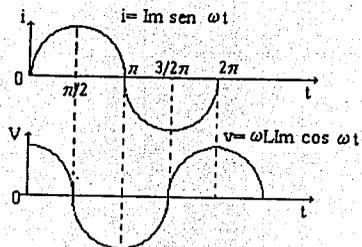
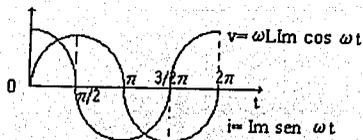


Figura (6)

Superponiendo las ondas



Al observar las ondas de voltaje y de corriente, se ve que la corriente se atrasa al voltaje por $\pi/2$ [rad], (90°), por lo que se dice que están "fuera de fase".

c) CAPACITANCIA

En la figura(7) se ilustra

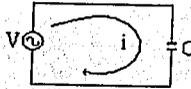


Figura (7)

De la definición de corriente eléctrica.

$$i = \frac{dq}{dt}; \quad C = \frac{q}{v}; \quad q = Cv$$

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Si el voltaje es senoidal:

$$v = V_m \sin \omega t$$

La corriente tiene la forma siguiente:

$$i = C \frac{d}{dt} (V_m \sin \omega t) = \omega C V_m \cos \omega t$$

$$i = \omega C V_m \cos \omega t$$

En la figura (8) se ilustran las gráficas de las ecuaciones de voltaje y corriente.

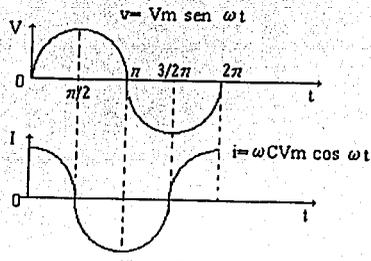
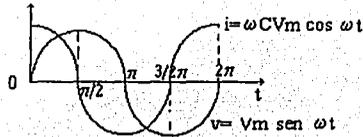


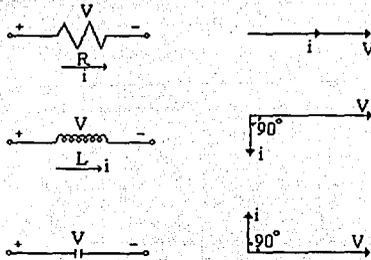
Figura (8)

Superponiendo las ondas



Observando las ondas de voltaje y de corriente, se ve que la corriente se adelanta al voltaje en.

Las relaciones entre corriente y voltaje para la resistencia, inductancia y capacitancia, se pueden representar con vectores.



El ángulo que existe entre el voltaje y la corriente se conoce como ángulo de fase, para una resistencia la corriente y el voltaje están en fase. En una inductancia pura la corriente se encuentra defasada 90° atrás del voltaje y en una capacitancia pura la corriente se encuentra defasada 90° adelante del voltaje; en el caso de que exista resistencia e inductancia o resistencia y capacitancia la corriente estará atrasada o adelantada en un ángulo menor a 90° .

De las ecuaciones

$$v = \omega L i_m \cos \omega t$$

$$i = \omega C v_m \cos \omega t$$

suponiendo que $t = 0$ entonces:

$$v = \omega L i_m$$

$$i = \omega C v_m; \quad v_m = \frac{i}{\omega C}$$

Al término ωL se define como reactancia inductiva y se la designa por X_L .

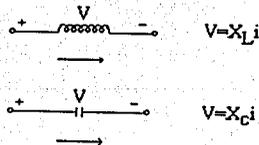
$$X_L = \omega L$$

Al término $\frac{1}{\omega C}$ define como reactancia capacitiva y se designa por X_C .

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

ω es la frecuencia angular y está dada por: $\omega = 2\pi f$

En los circuitos eléctricos es más común expresar las caídas de tensión en inductancias y capacitancias en términos de sus reactancias.



d) IMPEDANCIA

En los circuitos eléctricos aparecen combinados los parámetros de resistencia, inductancia y capacitancia, porque prácticamente es muy difícil encontrar circuitos que no tengan resistencia, ya que cualquier conductor de corriente alterna que proporciona cierta inductancia tiene cierto valor de resistencia, tal es el caso de balastras para lámparas fluorescentes, los transformadores, los solenoides, los motores eléctricos, etc.

Circuito R-L: cuando se conecta una resistencia en serie con un inductor, según se muestra en la figura (9), se produce una caída de voltaje tanto en la resistencia como en la reactancia inductiva, si designamos como V_R la caída de voltaje en la resistencia y V_L la caída de voltaje en la reactancia inductiva, el voltaje aplicado al circuito se calcula como:

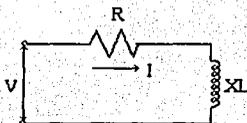


Figura (9)

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

Si las caídas de voltaje se expresan como:

$$V_R = IR$$

$$V_L = IX_L$$

El voltaje aplicado se puede expresar también como:

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = \sqrt{I^2(R^2 + X_L^2)}$$

$$V = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Al término $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ se le conoce como la impedancia (en magnitud) del circuito y se designa con la letra Z .

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

Como la caída de voltaje debido a la reactancia inductiva se encuentra desplazada 90° con respecto a la resistencia, estas caídas de voltaje no se pueden sumar numéricamente, se tienen que sumar en forma vectorial.

Circuito R-C: en un circuito en donde se tienen resistencia y reactancia capacitiva conectadas en serie, igual que en el caso anterior, se tienen caída de voltaje en la resistencia y en la reactancia capacitiva, entonces existe un valor combinado que determina la caída de voltaje por impedancia.

El valor de la impedancia formada por un circuito R-C se calcula como:

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

Donde X_C es la reactancia capacitiva.

Cuando el circuito contiene resistencia, inductancia y capacitancia, debido a que los efectos producidos por la corriente en la inductancia y en la capacitancia son opuestos, entonces estos se manifiestan por medio de sus reactancias, que cuando están conectadas en serie se restan.

$$X = X_L - X_C$$

Y la impedancia resultante es:

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

2. -POTENCIA COMPLEJA

Los sistemas eléctricos, ya sea una simple batería que opera una campana, o una compleja instalación industrial que alimenta a un gran número de lámparas y motores eléctricos y que tiene el propósito de producir alumbrado y hacer girar los motores para accionar bombas, ventiladores, transportadores, etc., o bien calor, tienen como propósito final desarrollar una potencia o producir un trabajo.

En el análisis de cualquier circuito para instalaciones eléctricas se involucran aspectos de voltaje, resistencia y corriente, pero las últimas consideraciones son siempre de potencia y trabajo.

La potencia es una medida del índice para desarrollar un trabajo. La potencia se mide en "Caballos de Fuerza".

La energía es la capacidad para hacer un trabajo y se mide en las mismas unidades que el trabajo, [Newton - metro] o [Joule].

La energía puede estar almacenada en un cuerpo y se entrega cuando el objeto desarrolla un trabajo. La potencia eléctrica se designa comúnmente con la unidad de watt, el watt es la medida de la capacidad para desarrollar un trabajo eléctrico y cuando se

habla de "potencia eléctrica", se hace referencia por lo general a watt o kilowatt de la carga de un circuito. La potencia se puede expresar como:

$$P=VI \text{ [watt, w]}$$

También como: $V=RI$

$$P=R I^2 \text{ [w]}$$

Otra forma de expresar la potencia es a partir del voltaje aplicado al circuito:

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

por lo que:

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ [w]}$$

POTENCIA COMPLEJA

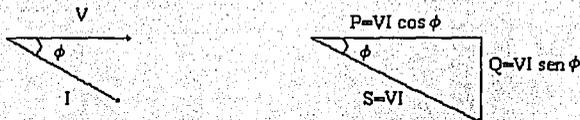
La potencia compleja o potencia aparente está dada por el producto VI y se denota con el símbolo S . las unidades de S son el volt-amper o sus múltiplos. En la forma trigonométrica la potencia compleja tiene la forma:

$$S=VI \cos \phi + jVI \sin \phi$$

El producto $VI \cos \phi$ es la parte real y se le conoce como potencia real (P), al producto $VI \sin \phi$ que es la parte imaginaria, se le conoce como potencia reactiva (Q), de manera que la potencia compleja se puede expresar como:

$$S=P+jQ$$

Si la corriente va atrasada con relación al voltaje (circuito inductivo) se tiene lo ilustrado en la figura (10).



Figura(10)

Para corriente adelantada al voltaje (circuito capacitivo), se muestra en la figura (11).

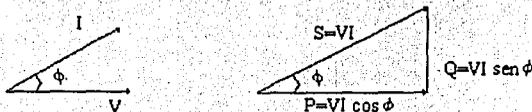


Figura (11)

La potencia compleja S también se obtiene del producto VI.

a) POTENCIA ACTIVA

Si se hace circular una corriente directa de valor constante a través de una resistencia R, la energía eléctrica se transforma en energía térmica.

De acuerdo con la ley de joule, la energía calorífica es igual a la potencia por unidad de tiempo "t". Se tiene:

$$\text{Energía calorífica} = RI^2t = Pt$$

A esta potencia "p", que interviene en el proceso de conversión de energía eléctrica a otra forma de energía (por ejemplo: calor o trabajo), se le conoce como potencia activa.

$$P=VI \cos \phi$$

b) POTENCIA REACTIVA

En el caso de un circuito con un elemento puramente capacitivo o inductivo, la energía no cambia de forma, sólo se almacena. En otras palabras, la fuente entrega energía al elemento capacitivo o inductivo, el cual la almacena y a su vez la entrega cuando la

fuerza se desenergiza. Si el circuito está conectado a una fuente de corriente alterna, la energía pasa de la fuente al capacitor (o inductor) en el primer cuarto de ciclo y regresa a la fuente en el siguiente.

A esta energía asociada a un capacitor ideal o a un inductor ideal se le conoce con el nombre de reactiva. De la misma forma se le llama potencia reactiva "Q" a la potencia capacitiva o inductiva que multiplicada por la unidad de tiempo produce este tipo de energía. Se le llama capacitiva cuando la corriente antecede al voltaje, e inductiva cuando el voltaje antecede a la corriente. Para ambos casos (con elementos ideales) existe un defasamiento de 90° con respecto a la potencia activa.

$$Q = VI \sin \phi$$

c) POTENCIA APARENTE

Las instalaciones eléctricas son una combinación de elementos resistivos, inductivos y capacitivos, por lo que la potencia que requiere tiene una componente activa y una reactiva. La suma vectorial de estas dos componentes se conoce con el nombre de potencia aparente "S".

Esta potencia es la que se utiliza para calcular las secciones de los conductores y los demás elementos de la instalación.

$$S = VI$$

3. - FACTOR DE POTENCIA

En un circuito en serie que contiene resistencia e inductancia, o también resistencia, inductancia y capacitancia, la oposición al paso de la corriente está dada por la impedancia, la corriente que circula es $I=V/Z$ y la "potencia aparente" en el circuito es $P=VI$, pero la única parte que consume potencia es la resistencia y su valor está dado como $P=RI^2$ que se conoce como la potencia real consumida por el circuito.

Si se trata de un circuito formado por resistencia e inductancia, la onda de corriente se encuentra fuera de fase con respecto al voltaje atrasándose un ángulo θ entre 0 y 90, en

tal circuito la potencia promedio no es simplemente $P=VI$, se calcula esta potencia de acuerdo con la fórmula:

$$P=VI \cos \theta$$

Siendo θ el ángulo que la onda de corriente se atrasa con respecto al voltaje, el coseno de este ángulo se conoce como el "FACTOR DE POTENCIA" del circuito, y es una medida de la cantidad de potencia del circuito que es consumida por la resistencia del circuito, tomando en consideración el efecto de la inductancia del circuito. Es importante hacer notar que este ángulo está medido en el tiempo y no en el espacio.

En otras palabras, el factor de potencia determina que porción de la potencia aparente VI es la potencia real. El valor del factor de potencia varía entre 0 y 1, es 1 cuando la carga es puramente resistiva y 0 cuando la carga es puramente inductiva.

De acuerdo con el Diccionario de Términos Eléctricos y Electrónicos del IEEE (1977), "el factor de potencia es el cociente de la relación del total de watts entre el total de volts-amperes RMS (root-mean-square, valor medio cuadrático o valor efectivo), es decir, la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. Cuando la corriente y el voltaje son funciones senoidales y ϕ es el ángulo de defasamiento entre ellos, el coseno de ϕ es el factor de potencia (f.p.)". Entonces el f.p. depende del defasamiento entre el voltaje y la corriente, que a su vez depende de la carga conectada al circuito.

El f.p. es el factor que debe aplicarse a la potencia aparente para conocer la cantidad que se está utilizando para producir trabajo y/o calor. De esta forma, la potencia activa es igual al producto de los valores efectivos (RMS o cuadráticos) del voltaje "V" y la corriente "I" por el coseno del ángulo de defasamiento entre ellos.

$$P=VI \cos \phi$$

Donde: ϕ = ángulo de defasamiento entre el voltaje y la corriente

En la Figura (12), se muestra el diagrama vectorial donde aparece la potencia aparente "S" con sus dos componentes: la potencia activa "P" y la potencia reactiva "Q".

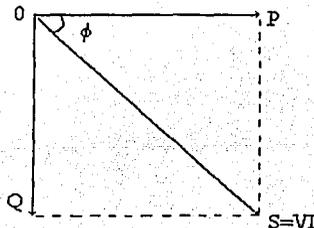


Figura (12), Diagrama fasorial de potencias

De la figura se observa que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Entonces el f.p. será:

$$f.p. = \cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

donde:

$\cos \phi$ = Factor de potencia expresado como un número, o como un porcentaje.

P= Potencia activa absorbida o entregada por el circuito. [W]

S= Potencia aparente del circuito [VA]

Debido a la potencia activa P, no se puede exceder a la potencia aparente S; el factor de potencia, no puede ser nunca mayor que la unidad; debido a que la potencia aparente, solo puede ser igual a la potencia activa en un circuito puramente resistivo.

Resumiendo, el factor de potencia de un circuito o un aparato, es una manera simple de establecer qué parte de la potencia aparente, es real o activa.

En un circuito monofásico, el factor de potencia es también una medición del ángulo de fase, entre el voltaje y la corriente.

En las instalaciones eléctricas, las máquinas eléctricas y algunos otros elementos como las balastras de alumbrado fluorescente demandan además de la corriente de trabajo (en fase con el voltaje), una componente reactiva defasada 90° (retrasada con respecto al voltaje), y que sirve para crear el campo magnético. Tal corriente magnetizante que debe proporcionar la fuente de suministro, hace disminuir la potencia útil de la instalación; además con las pérdidas por el efecto joule, se disminuye la eficiencia y aumenta la caída de tensión. Por esta razón es normal encontrar que predomine la carga inductiva sobre la capacitiva, es decir, generalmente la corriente está atrasada con respecto al voltaje, por lo que es más común el f.p. atrasado.

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

CONSECUENCIAS DE UN FACTOR DE POTENCIA BAJO

Para entender las consecuencias del f.p. bajo conviene considerar que la corriente que circula en los conductores puede descomponerse matemáticamente (no físicamente) en dos componentes: una que es conocida como la potencia activa y otra como la potencia reactiva. Es decir:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

$$f.p. = \cos \phi = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + I_r^2}}$$

donde:

I= corriente total

I_a= componente activa de la corriente (en fase con el voltaje)

I_r= componente reactiva atrasada 90° con respecto al voltaje.

El f.p. aumenta o disminuye de acuerdo con la función coseno del ángulo de fase. Si se tiene una carga donde el desfaseamiento de la corriente (atrasada) con respecto al voltaje es muy cercano a, el f.p. será muy cercano a cero y la componente reactiva de la corriente será muy grande comparada con la componente activa.

Incremento de pérdidas en las líneas de transmisión o distribución.

Para una carga en KW (activa) dada, la corriente total que circula por las líneas de transmisión y distribución será mayor para un f.p. bajo que para uno cercano a la unidad.

El f.p. bajo provoca que se incremente notablemente las pérdidas por efecto Joule (caloríficas) en las líneas ya que crecen con el cuadrado de la corriente.

$$\text{Pérdidas} = R I^2$$

DEFICIENTE REGULACIÓN DE VOLTAJE.

Considerando que una línea de transmisión (incluyendo transformadores) tiene una impedancia "Z", la caída de voltaje a lo largo de la línea será igual al producto de la impedancia por la corriente:

$$V = ZI = V_0 - V_n$$

Donde:

V_o = volts al principio de la línea

V_n = volts nominales que recibe el usuario

La regulación de voltaje se define en % como:

$$\% \text{ de R} = \frac{V_o - V_n}{V_n} \cdot 100$$

De esta manera para una misma impedancia la regulación de voltaje será más deficiente entre mayor sea la corriente total. Es decir, para una misma cantidad de KW la regulación de voltaje tendrá un mayor rango de fluctuación entre menor sea el f.p. Entonces un f.p. bajo tiene como consecuencia una deficiente regulación de voltaje.

INVERSIÓN INICIAL ALTA.

Los equipos que componen un sistema eléctrico de potencia están generalmente diseñados para suministrar su capacidad con un cierto f.p. (normalmente en los generadores es de 0.8 atrasado). Entonces cuando el f.p. es menor al diseñado se requiere de mayor potencia aparente (KVA's) para suministrar la componente reactiva y debido a la capacidad de la corriente que tienen los equipos, se hace necesario reducir (en proporción directa) la cantidad de kilowatt generados y transmitidos.

El disminuir el f.p. de diseño representa un aumento de la sección de cobre para permitir la circulación de una corriente mayor, por lo tanto el costo de kilowatt de un generador es más alto mientras más bajo sea su f.p. nominal.

Esta situación se presenta igualmente en el resto de los demás equipos que constituyen una red eléctrica. Entonces la inversión inicial de una red crece conforme su f.p. de diseño disminuye.

Penalización por bajo factor de potencia

Debido a las razones expuestas anteriormente, todas las compañías de suministro eléctrico establecen un f.p. límite (ligeramente por encima del diseño de la red) y penalizan económicamente a los usuarios cuya carga tenga un f.p. menor.

4. -LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia de una instalación eléctrica, dependiendo de su tamaño y sus características, se puede corregir; ya sea usando motores síncronos que inyecten potencia reactiva, o bien por medio del uso de condensadores instalados en la proximidad de las cargas; y con capacidad para suministrar parte o toda la corriente de magnetización requerida por el usuario.

Las instalaciones eléctricas industriales cuya carga está compuesta principalmente por motores de inducción tiene un f.p. atrasado. Por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva con carga capacitiva.

La solución que normalmente resulta más económica y sencilla es la colocación de bancos de capacitores que proporcionen los KVA's reactivos necesarios para que el f.p. esté por arriba de lo estipulado en el contrato de suministro. De hecho las mismas compañías suministradoras utilizan este sistema para compensar el f.p. de su red de transmisión y distribución.

El f.p. también puede ser compensado utilizando motores síncronos en lugar de motores de inducción

EL MOTOR SINCRONO

El motor síncrono tiene el mismo aspecto que un generador síncrono, y de hecho un generador síncrono podría trabajar como motor síncrono alimentándolo con corriente alterna y excitándolo con corriente continua.

En el motor síncrono la estructura del campo (rotor) se excita con corriente continua y el estator (armadura) se alimenta o acciona con corriente alterna.

La corriente directa para la excitación del rotor se puede tomar de una fuente externa o bien, si es un motor que opera a alta velocidad, con excitatrices acopladas directamente al eje del rotor.

Las partes esenciales de un motor síncrono trifásico se muestran en la figura (13).

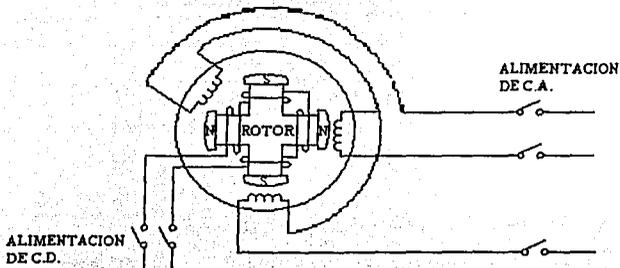


Figura (13)

- I) El núcleo laminado del estator donde se aloja el devanado trifásico de corriente alterna (C.A.).
- II) La estructura giratoria formada por el rotor donde se alojan las bobinas del devanado de campo que se excita con corriente continua (C.C.), con su flecha correspondiente y los anillos rozantes montados en ésta. El porta escobillas y escobillas para conexión a la fuente de excitación. En el rotor, en algunas ocasiones, se alojan en los polos los llamados devanados de amortiguamiento.
- III) Dos apoyos con sus chumaceras para soportar el eje del rotor.

El devanado del estator en un motor síncrono es semejante al de los generadores trifásicos, es decir se calcula y constituye en la misma forma. Las terminales de este devanado generalmente llegan a una caja de conexiones que normalmente se montan en un lado de la carcasa del motor.

Con relación al rotor de los motores síncronos se puede decir que por lo general se construyen de polos salientes que se conectan para dar una polaridad alterna. El número de polos del rotor debe corresponder a los del estator.

APLICACIÓN DE LOS MOTORES SINCRONOS.

Los motores síncronos se pueden encontrar en aplicaciones industriales y en sistemas de potencia.

- a) En las centrales eléctricas y en las subestaciones en paralelo a las barras del sistema para mejorar el f.p.
- b) En las industrias que tienen un elevado número de motores de inducción, es posible usarlos como una de las alternativas para mejorar el f.p.
- c) Al final de algunas líneas de transmisión para controlar el voltaje.

- d) Como elemento de accionamiento de grandes cargas como por ejemplo molinos de cemento, molinos textiles, molinos de hule y en la industria minera.

Este tipo de motores se usan principalmente para operar en forma continua con equipo que requiere velocidad constante, tal como bombas centrífugas, ventiladores centrífugos, compresores de aire y amoníaco, grupos motor-generador, etc.

Con relación a los motores trifásicos de inducción los motores síncronos tienen las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS

- a) El factor de potencia se puede variar como sea requerido.
- b) Puede dar velocidad constante de condiciones de vacío a plena carga.
- c) La potencia varía linealmente con el voltaje.

DESVENTAJAS

- a) No puede ser usado para aplicaciones en donde se requiera velocidad variable ya que no tiene posibilidad de ajustar su velocidad.
- b) Requiere de una excitación de c.c. que se debe proveer en algunos casos de una fuente externa.
- c) No puede arrancar bajo carga ya que su par de arranque es cero.
- d) Puede salir de sincronismo y parar cuando se sobrecarga.
- e) Requiere de anillos colectores y de escobillas.
- f) Tiene la tendencia a oscilar.

Con estas características, ventajas y desventajas de los motores síncronos y una vez definidos los kilovars (KVA reactivos) necesarios para mejorar el f.p., el problema requiere más bien de un análisis económico que técnico.

La cantidad de KVAR necesarios para mejorar el f.p. se obtiene a partir de la potencia reactiva requerida por los equipos que constituyen la instalación. En muchas ocasiones esto se hace con la medición del primer mes de operación de los equipos. Considérese que las condiciones iniciales son:

$$S_1 = \frac{P}{\cos \phi_1}; \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

y las condiciones esperadas son:

$$S_2 = \frac{P}{\cos \phi_2}; \quad Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

Entonces resulta que el banco de capacitores a instalar deberá suministrar una potencia reactiva trifásica:

$$Q = \sqrt{3} \cdot VI = Q_1 - Q_2$$

donde:

V = voltaje nominal aplicado al banco de capacitores.

I = Corriente que debe circular por el banco.

De esta manera quedan definidas las especificaciones eléctricas del banco de capacitores.

Puede ser necesario considerar valores de capacitancia escalonados para prever las variaciones normales de carga. Es también importante vigilar el comportamiento del voltaje, sobre todo si existen muchas maniobras de conexión y desconexión cercanas a los capacitores.

La potencia reactiva a suministrar en una instalación para la corrección del factor de potencia es la misma potencia reactiva que se calcula en el circuito.

Para los fines prácticos del cálculo, los procedimientos se simplifican aún más; ya que se hace uso de tablas o nomogramas, donde se lee directamente la potencia requerida por el condensador o banco de condensadores; en función del factor de potencia actual, y el deseado.

Dadas las características globales de una instalación; la potencia activa y la potencia reactiva absorbida, el grado de compensación de la energía reactiva, es el resultado de un cálculo de conveniencia económica. Por otra parte, siempre es conveniente reportar el factor de potencia, con un valor superior al mínimo establecido en el contrato, con la compañía suministradora; ya que la solución adoptada deberá ser el objeto de una comparación, entre el costo adicional a la instalación, y el beneficio que se obtiene.

5. - INSTALACION DE CAPACITORES

Una vez que ya se tenga la potencia determinada total de los condensadores, necesaria para corregir el f.p. de una instalación, se debe considerar la forma en que se instalarán los capacitores. Pueden ser instalados en varios lugares de la línea, pudiendo estar de cuatro formas:

- a) Compensación individual
- b) Compensación por grupos de cargas.
- c) Compensación centralizada.
- d) Compensación combinada.

Cada una de estas formas de compensación tiene sus ventajas y sus inconvenientes, debiendo elegir el caso que mejor convenga a cada consumidor.

- a) Compensación individual.

En esta forma de compensación, se debe hacer la subdivisión de la potencia reactiva total, en varias unidades para que un condensador actúe sobre cada carga por corregir.

Con respecto a la subdivisión en varias unidades o módulos, se deben considerar los tipos constructivos existentes en el mercado y las características de los aparatos de conexión y protección.

Esta forma de instalación de capacitores es considerada en muchos casos, como la solución ideal; cada condensador se instala junto a la carga, sobre la que va a actuar. La energía reactiva requerida, se proporciona directamente en las terminales de la carga. En la figura (14), se muestra un ejemplo de instalación de condensadores, para corregir el f.p. de motores de inducción.

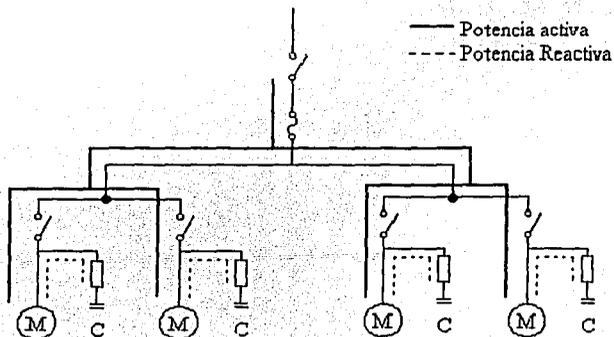


Figura (14). COMPENSACION INDIVIDUAL

Este tipo de compensación se aplica principalmente a los motores de inducción y tiene las siguientes ventajas:

- El arrancador del motor puede servir para conectar simultáneamente los capacitores, teniendo un ahorro al no tener que comprar un accesorio propio para el condensador.
- La puesta en servicio por el arrancador constituye un control semiautomático de los capacitores; no es necesario un control suplementario.
- Los capacitores no entran en operación hasta que el motor no se pone en marcha.
- Al instalar los capacitores cerca de la carga, las líneas de alimentación al motor se aligeran, ya que la corriente reactiva queda confinada al segmento mas corto de la red, con lo que se aumentan la carga disponible y disminuyen las pérdidas por efecto joule.

b) Compensación en grupo

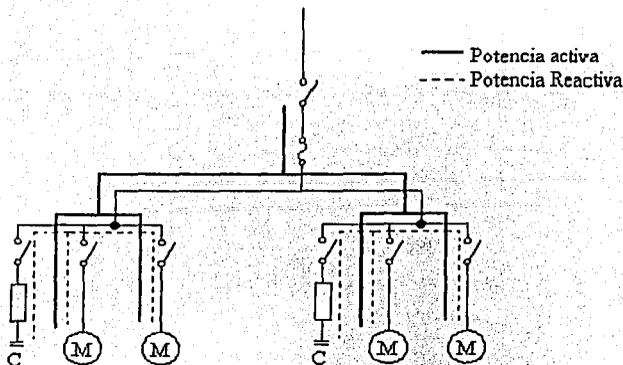


Figura (15).COMPENSACION EN GRUPO

Es aconsejable este tipo de compensación cuando las cargas se ponen en operación por grupos, por ejemplo el trabajo de equipos en diferentes líneas y en este tipo de compensación se tienen las siguientes ventajas:

- Es más económico un banco de capacitores para compensar un grupo de motores que operan simultáneamente, que compensarlos individualmente o con un banco general si hay varios grupos que no funcionen al mismo tiempo.

- Si hay varios motores pequeños que funcionan al mismo tiempo, el empleo de capacitores de mayor potencia que compensen todo el grupo es más económico que emplear capacitores individuales menores.
- Las líneas de alimentación hasta los capacitores quedan aligeradas con la consiguiente reducción de pérdidas por efecto Joule, pero de menos importancia que en el caso anterior.

c) Compensación centralizada

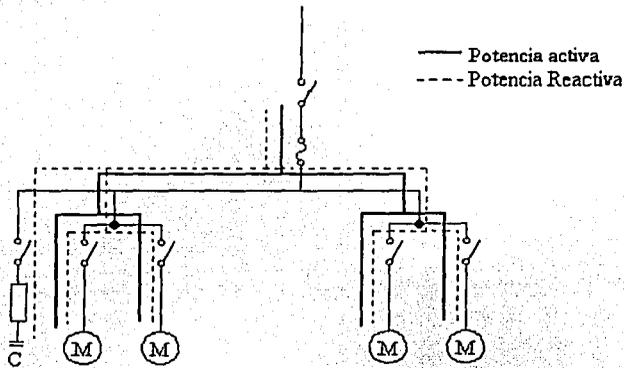


Figura (16).COMPENSACIÓN CENTRALIZADA

Cuando la demanda de potencia se concentra en las barras de salida de una subestación, es práctico agrupar los bancos de capacitores en bancos centralizados al principio de la línea con las siguientes ventajas:

- Se facilita el mantenimiento y se mejora la utilización de su potencia, en mayor medida si se utiliza un banco automático ya que la compensación es más exacta.
- Aunque se mantenga la potencia disponible en KVA al igual que en los casos anteriores, las pérdidas por efecto Joule disminuyen, solo que en menor proporción, ya que la energía reactiva sigue estando presente en la línea.

d) Compensación combinada

En algunas instalaciones industriales en donde se instalan grandes motores y equipos que consumen extensas cantidades de potencia reactiva, puede ser posible adoptar una

combinación de las alternativas anteriores, que viene a ser una solución mixta que consiste en compensar individualmente los equipos de gran consumo de energía e instalar para el resto de la carga un solo banco, ya sea fijo o seccionado en partes desconectables.

En la tabla N° 1, se muestran las ventajas y desventajas de las cuatro formas de compensación anteriores.

TIPO DE COMPENZACION	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
INDIVIDUAL	Se aplica a aparatos de régimen permanente estando cada uno de ellos conectada a un condensador de valor adecuado.	Kvar producidos en él Reducción de pérdidas y caída de voltaje Ahorro de un dispositivo de conmutación	Muchos capacitores pequeños son más caros que uno de potencia total equivalente. Poco aprovechamiento de algunos capacitores que pueden estar desconectados
Grupo	Varios aparatos están conectados a un capacitor común equipado con su propio interruptor. La puesta en servicio del capacitor cuenta con las horas de trabajo de los receptores	Reducción de los costos de inversión en capacitores. Disminución de pérdidas y caídas de voltaje en las líneas de distribución.	Líneas de distribución no aligeradas.
Central	Producción de potencia reactiva de un solo punto. En los casos simples el banco es conectado en el inicio y desconectado en el final del trabajo.	Mejor utilización de la potencia de los capacitores. Supervisión fácil Posibilidad de regulación automática. Mejoría general del nivel de voltaje.	Carga no aligerada sobre la fuente principal y las líneas de distribución.
Combinada	Compensación individual de dispositivos de carga muy grandes. Compensación central o de grupo para otros dispositivos.		

Tabla N° 1

CONEXIÓN DE LOS CAPACITORES

Se conocen distintas formas de conectar los condensadores, a continuación se darán algunas y las precauciones que se deben tomar para cada una de ellas:

Motores de inducción de arranque a plena carga.

En la figura (17), se muestran tres formas de conexión;

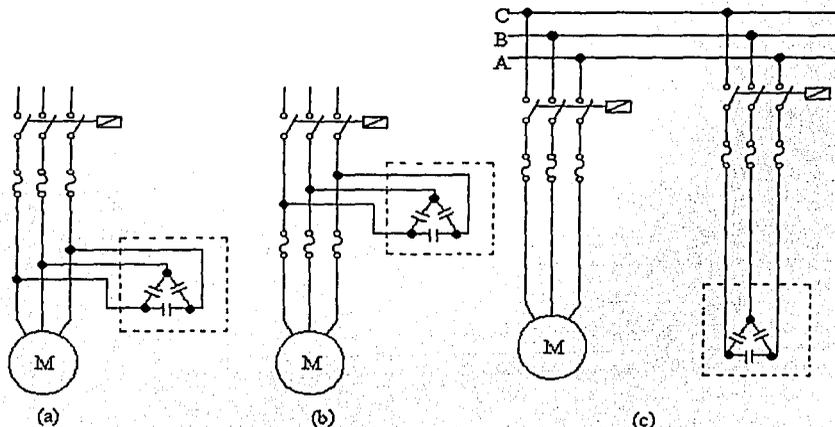


Figura (17). CONEXIÓN DE CAPACITORES

a) Después de la protección térmica del motor.

De este modo el condensador entra en servicio al mismo tiempo que el motor, siendo solo la potencia activa (Kw) la que circula por el relé térmico y cuya gama de regulación será para una corriente inferior a la nominal del motor. La potencia reactiva la suministra el condensador.

b) Antes de la protección térmica del motor.

Entran en operación los dos al mismo tiempo y la protección térmica estará dimensionada para la corriente nominal del motor. Este tipo de conexión es adecuado cuando se trata de efectuar una compensación sin modificación alguna de la instalación.

c) Antes del arrancador.

La protección térmica del motor quedara igual. Se deberá añadir interruptor y fusibles propios para el capacitor. Este tipo de solución es la más recomendable pero es la más cara, en los casos a y b el dimensionamiento del capacitor debe hacerse cuidadosamente a causa de la potencia magnetizante del motor.

La demanda de potencia reactiva de un motor de inducción varía con la carga, disminuyendo notoriamente en condiciones de baja carga. Por lo que cuando se compensa individualmente este tipo de motores, el capacitor o banco de capacitores instalado no debe ajustarse a las condiciones de plena carga, ya que esto podría originar un exceso de potencia reactiva cuando se opere en condiciones de baja carga o cuando trabaje en vacío.

El tamaño del banco de capacitores también resulta limitado por el fenómeno de autoexcitación del motor, que se puede originar cuando se desconecta. En la desconexión de un motor de inducción que tiene conectado un banco de capacitores, la tensión entre bornes no baja rápidamente a cero, como cuando no tiene capacitores. Esto se debe a que la corriente de descarga de los capacitores mantiene un cierto campo magnético en las bobinas del motor, induciéndose una tensión de autoexcitación, mientras el motor sigue girando por su propia inercia. Si los capacitores están excedidos de potencia reactiva, esta tensión puede alcanzar valores considerablemente más altos que la tensión nominal del motor, que puede dañar el aislamiento del motor y a los capacitores.

Para evitar este tipo de problemas se debe procurar que la potencia del banco de capacitores no exceda la potencia reactiva requerida por el motor para marcha en vacío. Corrigiendo el f.p. en vacío en un valor cercano al 100%, puede obtenerse un f.p. de potencia a plena carga alrededor del 95%, sin que se exceda en ningún momento la demanda de potencia reactiva del motor.

La compensación individual en motores de inducción, en general no es rentable para motores inferiores a 10 Kw. La tabla N°2, proporciona información de la potencia reactiva máxima del banco de capacitores, que puede instalarse para compensar individualmente un motor trifásico de inducción, en función de su velocidad de sincronismo y sus HP, considerando el trabajo del motor entre un 75% y el 100% de la carga.

Motor de inducción potencia HP	Velocidad Nominal del motor en rpm y número de polos					
	3600 2	1800 4	1200 6	900 8	720 10	600 12
	Kvar	Kvar	Kvar	Kvar	Kvar	Kvar
5	2	2	3	3	4	5
7.5	2.5	3	3	4	6	7.5
10	3	3	4	5	6	10
15	5	5	5	7.5	7.5	10
20	6	6	7.5	7.5	10	15
25	7.5	6	7.5	10	10	20
30	7.5	7.5	10	10	15	20
40	7.5	10	15	15	15	25
50	10	15	20	20	20	30
60	10	15	25	20	25	35
75	15	20	25	25	30	40
100	20	25	30	30	35	45
125	25	30	30	40	40	50
150	25	30	35	45	50	60
200	35	40	50	60	70	80
250	40	50	60	70	80	100
300	45	60	70	80	90	110
350	50	70	80	100	100	125
400	70	70	80	110	125	150
450	75	80	100	120	125	150
500	90	90	120	125	140	175

Tabla N°2. Potencia reactiva máxima del banco de capacitores para compensar motores trifásicos de inducción (potencia reactiva en KVAR)

Selección de capacitores para transformadores.

Estos capacitores se usan para compensar la potencia reactiva demandada por el transformador cuando esta en vacío (por ejemplo durante la noche). Esta potencia reactiva varía de acuerdo con el tipo y el diseño del transformador. Por lo general se elige el 4% del valor de su potencia nominal, una forma más precisa es aplicar el porcentaje del valor de la V_{cc} o tensión de corto circuito del transformador.

Es necesario verificar la frecuencia de resonancia entre la inductancia del bobinado del transformador y la capacidad del capacitor para evitar problemas de resonancia con las armónicas. Para comprobar que dicha frecuencia de resonancia esté alejada de las armónicas más frecuentes (3ª, 5ª, 7ª, y 11ª), la frecuencia de resonancia se puede calcular de la siguiente forma:

$$f_0 = f \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_{cc}}}$$

Donde:

f_0 = Frecuencia de resonancia

f = Frecuencia de la red

S_{cc} = Potencia de corto circuito

Q_c = Potencia del capacitor

Una forma de conocer la potencia de corto circuito del transformador S_{cc} , es mediante la relación entre su potencia nominal y la tensión de cortocircuito.

$$S_{cc} = \frac{S_n}{U_{cc}}$$

La tabla N° 3, nos muestra los valores de los capacitores en función del voltaje del primario del transformador. Se debe tener cuidado de no exceder nunca el 10% de la potencia nominal del transformador en posibles casos de sobrecompensación.

Potencia del transformado r KVA	Potencia del capacitor en función de La tensión del primario (kvar)		
	5 a 10 kv	15 a 20 kv	25 a 30 kv
25	1	2,5	3
50	3,5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12,5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22,5	28
630	28	32,5	40
800	32	36	45
1000	45	50	59
1250	62	67,5	78
1600	88	93	104
2000	106	112	125
2500	150	157	180
3150	189	198	215

Tabla N° 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. - CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS CAPACITORES, PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

El recibo de la compañía de Luz y Fuerza del Centro nos proporciona el valor en Kwh consumidos en un periodo de un mes, la demanda máxima en Kw y el factor de potencia, con estos datos se procede a realizar los cálculos.

De los últimos 10 recibos se obtiene la demanda promedio en Kw

315	135	135	123	132	117	147	141	153	312
634	711	711	717	638	597	597	537	531	555
463	183	183	243	492	492	462	492	483	525
1412	1029	1029	1083	1260	1206	1206	1170	1167	1392
									1195.4

Kw promedio=1195.4

El promedio de los factores de potencia

0.701	0.713	0.707	0.719	0.707	0.707	0.677	0.695	0.685	0.68188
									0.69926

f.p. promedio= 0.69926

El factor de potencia deseado

f.p. deseado 0.95

Utilizando la tabla (4), se localiza el factor de potencia actual, posteriormente el factor de potencia deseado. El valor donde se interceptan ambos valores (.75), es el factor que se multiplica por la potencia (1195.4) para obtener el capacitor adecuado.

$$Q_c = 896.55 [K \text{ var}]$$

$$Q_c = 3(\omega)(C)(V^2)$$

Donde:

$$C = \frac{Q_c}{3(2\pi f)(V^2)} = \frac{896550}{3(2)(\pi)(60)(440^2)}$$

$$C = 4094.65 \mu F$$

Tabla para calcular el factor de potencia dado por $(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2)$

		Factor de potencia deseado																
		0.7	0.75	0.8	0.82	0.85	0.87	0.9	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	1				
Factor de potencia Actual	$\cos\phi_1$	0.2	3.88	4.02	4.15	4.19	4.28	4.33	4.41	4.46	4.51	4.57	4.59	4.69	4.9			
	0.25	2.85	2.99	3.12	3.17	3.25	3.32	3.38	3.45	3.5	3.54	3.58	3.66	3.87				
	0.3	2.16	2.3	2.43	2.48	2.56	2.62	2.69	2.75	2.81	2.85	2.88	2.97	3.18				
	0.35	1.66	1.79	1.93	1.98	2.06	2.12	2.19	2.25	2.31	2.5	2.38	2.47	2.68				
	0.4	1.27	1.41	1.54	1.59	1.67	1.72	1.8	1.86	1.93	1.96	2	2.08	2.29				
	0.42	1.14	1.28	1.41	1.46	1.54	1.59	1.68	1.74	1.8	1.83	1.87	1.95	2.16				
	0.44	1.02	1.16	1.29	1.34	1.42	1.47	1.56		1.67	1.71	1.75	1.83	2.04				
	0.46	0.91	1.05	1.18	1.23	1.31	1.36	1.45	1.62	1.56	1.6	1.64	1.72	1.93				
	0.48	0.8	0.95	1.08	1.13	1.2	1.26	1.33	1.5	1.47	1.49	1.54	1.61	1.82				
	0.5	0.71	0.85	0.98	1.03	1.11	1.18	1.25	1.4	1.37	1.4	1.44	1.52	1.73				
	0.52	0.62	0.76	0.89	0.94	1.02	1.08	1.12	1.31	1.28	1.31	1.35	1.43	1.64				
	0.54	0.5	0.68	0.81	0.86	0.94	0.99	1.07	1.22	1.19	1.23	1.2	1.35	1.56				
	0.56	0.46	0.6	0.73	0.78	0.86	0.91	1	1.13	1.12	1.15	1.18	1.27	1.48				
	0.58	0.38	0.52	0.65	0.7	0.78	0.85	0.92	1.05	1.04	1.07	1.11	1.19	1.4				
	0.6	0.31	0.45	0.58	0.64	0.71	0.78	0.85	0.98	0.98	1.01	1.05	1.13	1.34				
	0.62	0.24	0.38	0.52	0.57	0.65	0.7	0.78	0.91	0.9	0.93	0.97	1.06	1.26				
	0.64	0.18	0.32	0.45	0.5	0.58	0.63	0.72	0.84	0.83	0.87	0.9	0.99	1.2				
0.66	0.12	0.26	0.39	0.44	0.52	0.57	0.65	0.77	0.77	0.81	0.85	0.93	1.14					
0.68	0.06	0.2	0.33	0.38	0.46	0.51	0.59	0.71	0.71	0.75	0.77	0.87	1.08					
0.7	0.14	0.27	0.32	0.4	0.45	0.53	0.65	0.66	0.69	0.73	0.81	1.02						
0.72	0.08	0.21	0.27	0.34	0.4	0.48	0.59	0.6	0.63	0.67	0.76	0.96						
0.74	0.03	0.16	0.21	0.29	0.35	0.42	0.54	0.55	0.58	0.62	0.7	0.9						
0.76	0.1	0.16	0.24	0.29	0.37	0.48	0.49	0.52	0.56	0.65	0.85							
0.78	0.05	0.1	0.18	0.24	0.31	0.43	0.44	0.47	0.51	0.59	0.8							
0.8		0.05	0.13	0.18	0.26	0.38	0.39	0.42	0.46	0.54	0.75							
0.82			0.08	0.13	0.21	0.32	0.33	0.37	0.4	0.49	0.69							
0.84				0.03	0.09	0.16	0.27	0.28	0.32	0.35	0.44	0.64						
0.86					0.03	0.11	0.22	0.23	0.26	0.3	0.39	0.59						
0.88						0.06	0.17	0.18	0.21	0.25	0.33	0.54						

Tabla (4)

Por seguridad y según las normas IEC 831-1, la tensión final no debe superar los 50 [V] al cabo de un minuto una vez desconectado el capacitor.

En un banco automático, debido a la entrada y salida de escalones, es necesario disponer de una mayor protección para asegurar una perfecta descarga en cada capacitor. Para ello se dispone de unas resistencias de descarga que actúan a través de un contacto cerrado del contactor de maniobra, tal como se muestra en la figura (18). Dichas resistencias sólo actúan cuando el contactor abre el circuito, quedando fuera de servicio al conectarse dicho contactor.

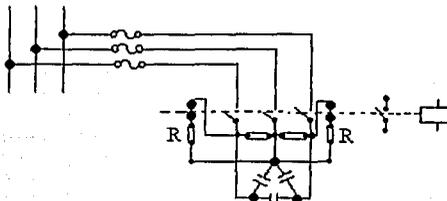


Figura (18).

El tiempo de descarga de estas resistencias es de 20 s y en la tabla (5) se tienen los valores de RC para cada tensión teniendo en cuenta que son grupos de dos resistencias.

Tensión de red	Conjunto RC
230 V	4
400 V	3.1
415 V	3
480 V	2.9
500 V	2.8
660 V	2.5

Tabla (5)

Conjunto RC para resistencias de descarga rápida

Par calcular el valor de las resistencias para descarga rápida con el valor del capacitor encontrado de $896.55,440 [V]$ y $60 [Hz]$. Se ha visto que $C=4094.65 \mu F$, entonces en este caso de la tabla (5);

$RC=3$ en una red de $440 [V]$

$$R = \frac{3}{4094.65 [\mu F]} = 0.73255 [K\Omega]$$

7. - CONCLUSIONES

A través de estas paginas, se describió la importancia que tiene el factor de potencia, como parámetro de una instalación eléctrica, mencionando algunos de los problemas que trae consigo el tener un factor de potencia bajo, así como los beneficios de tener un factor de potencia arriba de 0.9 que es la norma Mexicana para que la compañía de luz no imponga multas. Comprobando por medio del análisis que al instalar un banco de capacitores traerá consigo un consumo de energía sin perdidas considerables, lo que se reflejara en un ahorro económico, además de bonificaciones monetarias por parte de compañía de luz al tener un buen factor de potencia.

Debido a la complejidad de la instalación eléctrica en este edificio, la solución más viable para la corrección del factor de potencia de f.p. promedio= 0.69926 a un f.p.= 0.95 es la de la instalación de un banco de capacitores automático de 896.55,440 [V] y 60[Hz], en compensación central. Quedando a consideración de la administración del edificio si dicha instalación es rentable.

8. – BIBLIOGRAFIA

1. - INSTALACIONES ELECTRICAS

CONCEPTOS BASICOS Y DISEÑO

2ª. Edición

Neagu Bratu Serbán

Eduardo Campero Littlewood.

Ed. Alfaomega

2. - CURSO DE MAQUINAS SINCRONAS

Ing. Gilberto Enríquez Harper

Ed. Limusa

3. - EL ABC DE LAS INTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

Ing. Gilberto Enríquez Harper

Ed. Limusa

4. - MANUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES.

2ª. Edición

Ing. Gilberto Enríquez Harper

Ed. Limusa

5. - CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA LOCAL POR MEDIO DE CAPACITORES

Tesis Licenciatura Ing. Mecánico Electricista U.N.A.M. México 1994.

Cuevas Rodríguez Victor M.

6. - INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

División de Educación Continua Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

Ing. Jorge Barrera Romero.

7. - **COS ϕ**
Asea Brown Boberl
ABB Jumet: Belgica 1991
8. - **CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA**
Paeg, Heinz
Ed. Barcelona Marcombo: 1998
9. - **CORRIENTE TENSION Y RESISTENCIA**
Weiske, Eolfang
Ed. Barcelona Marcombo 1985
10. - **CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA EN UNA INSTALACION INDUSTRIAL**
Tesis Licenciatura Ing. Mecánico Electricista U.N.A.M. México 1988
Cano Damaso Jose Edi