

Handwritten signature and number 62363

T  
621.3191  
V137



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA**

**“Estudio de corrección del Factor de Potencia en el  
Edificio del Banco Continental”**

**INFORME TECNICO**

Previo a la obtención del Título de  
**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Presentado por:

**Jorge Enrique Valarezo Larrea**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1990**

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Jorge Chiriboga V.,  
quién supo darme la guía -  
académica necesaria para de  
sarrollar y culminar con és  
te informe técnico.

DEDICATORIA :

A MI MADRE

Como homenaje póstumo a quién me brindó su cariño y dedicación.

A MI PADRE

Que me dió la oportunidad y el apoyo necesario para dedicarme a mis estudios.

A MI HERMANA FANNY

Quién desinteresadamente sacrificó parte de su vida en mi atención.

A MI ESPOSA

Quién sin desmayos me apoyó para la culminación de mi carrera.

A MI HIJITA

Para que siga el buen ejemplo de dedicación al estudio para el bien personal, y del profesional como factor de desarrollo para el futuro del país.



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este informe me corresponden exclusivamente y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"



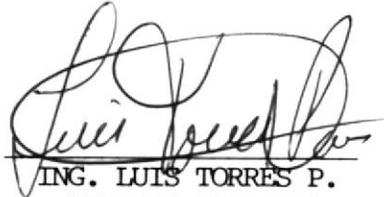
JORGE E. VALAREZO LARREA



ING. ARMANDO ALTAMIRANO CH.  
PRESIDENTE



ING. JORGE CHIRIBOGA V.  
PROFESOR SUPERVISOR



ING. LUIS TORRES P.  
MIEMBRO PRINCIPAL

RESUMEN

El Banco Continental, como consecuencia de haber sido amonestado por la Empresa Eléctrica local (EMELEC) por su bajo factor de potencia, -contrató el estudio de corrección del factor de potencia, con el fin de mejorarlo con lo que además de disminuir el costo de Kw-hora en el consumo de energía eléctrica, se consigue una mejor eficiencia -del sistema eléctrico, mejora la calidad del voltaje reduce las pérdidas de potencia y aumento de la capacidad del sistema.

La Empresa Eléctrica local suministra servicio de energía eléctrica al edificio a nivel de 13.800 voltios que aumentandolo en forma sub -terránea se llega a 3 cajas portafusibles de 15 KV, desde donde se -energizan los transformadores de distribución en un banco formado por 3 unidades monofásicas tipo convencional de 250 KVA cada uno.

La carga reactiva proviene de los motores de las centrales de aire -acondicionado, bombas de agua y lámparas fluorescentes, primordialmente.

Para efectos de la realización del estudio, se instaló un registrador de corriente durante 9 horas en un día de carga típica, se tomaron -lecturas instantáneas del factor de potencia en diferentes momentos. Con los datos obtenidos se hizo el cálculo de la demanda de potencia activa, y con esto el cálculo de la compensación de potencia reactiva.

Todos los aparatos que contienen inductancia, tales como: motores, -generadores, transformadores y demás equipos con bobinas necesitan --corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación, ésta corriente es la causa principal para un bajo factor de potencia.

El mejoramiento del factor de potencia de una instalación se obtiene por varios procedimientos, ~~pero en el presente estudio, vamos a utilizar el procedimiento más práctico y económico que es el uso de capacitores estáticos, y esto es debido a que los efectos de la capacitancia son exactamente opuestos a los de la inductancia.~~

Además ofrecen algunas ventajas sobre otros tipos de equipos para la mejora del factor de potencia:

- 1.- Son substancialmente más baratos.
- 2.- Se pueden cambiar facilmente de un lugar a otro de la red de distribución.
- 3.- No necesitan virtualmente ningún mantenimiento.
- 4.- La capacidad de un banco de capacitores se puede aumentar muy facilmente.

Existen 2 métodos para corregir el factor de potencia por medio de capacitores:

El primero consiste en la instalación de una batería de capacitores - conectados a la línea en un punto central tal como el tablero de distribución principal.

El segundo método y el más eficiente, consiste en la instalación de capacitores individuales directamente en el punto de bajo factor de potencia, es decir, cercano a los motores. Este método proporciona algunas ventajas:

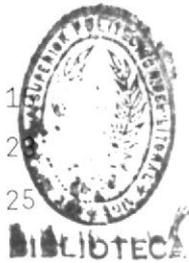
- menos caída de voltaje en el alambrado a los motores
- los capacitores se pueden conectar y desconectar del servicio según se necesiten.
- la capacidad de los capacitores requeridos es facilmente obtenible en tablas.
- tienen mucha flexibilidad en caso de cambio de ubicación.

- VIII -

De acuerdo a las mediciones realizadas en este caso (Banco Continental), se aplicaron las fórmulas y se realizaron los cálculos para mejorar el factor de potencia a 0,95 y determinar las capacidades necesarias de los capacitores.

INDICE GENERAL

	Pag.
Resumen	VI
Indice general	IX
Indice de figuras	XI
Introducción	13
CAPITULO I	
1.- Introducción a la corrección del factor de potencia.	14
1.1.- Descripción y estado actual del sistema (Banco Continental).	
1.1.1.- Descripción del sistema	
1.1.2.- Mediciones realizadas	
1.2.- Causas y efectos de un bajo factor de potencia	1
1.2.1.- Consecuencias del factor de potencia bajo	2
1.3.- Corrección del factor de potencia mediante capacitores.	25
1.4.- Formas constructivas de los capacitores	27
CAPITULO II	
2.- Aplicación e instalación de capacitores	32
2.1.- Capacitores de potencia	
2.2.- Operación de los capacitores	33
2.3.- Instalación de capacitores	34
2.3.1.- Dispositivos de protección	36
2.3.2.- Instalación de capacitores individualmente	39
2.3.3.- Instalación de capacitores en grupo o batería	43
2.3.4.- Combinación de ambos métodos de instalación (compensación centralizada).	45
2.4.- Tipo de capacitores	53
CAPITULO III	
3.- Ventajas y cálculos corrección factor de potencia.	56
3.1.- Ventajas de la corrección del factor de potencia.	



	Pag.
3.2.- Consideraciones y cálculos necesarios para corrección del factor de potencia en el - edificio del Banco Continental.	62
Resultados y conclusiones	70
Bibliografía	72

- XI -  
INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Fig. # 1.- Curvas de corriente y voltaje en un circuito inductivo y su diferencia en tiempo.	16
Fig. # 2.- Diagrama vectorial de la corriente total y su componente activa y reactiva.	19
Fig. # 3.- Electromagneto conectado a fuente de corriente directa.	21
Fig. # 4.- Electromagneto conectado a fuente de corriente alterna.	22
Fig. # 5A- Construcción de un elemento de condensador (baja tensión.	28
Fig. # 5B- Capacitor de alta tensión.	29
Fig. # 6.- Capacitores conectados en serie y paralelo	31
Fig. # 7A- Diagrama de capacitores conectados directamente al tablero de distribución.	37
Fig. # 7B- Diagrama de capacitores conectados directamente al motor.	38
Tabla # 1.-	42
Fig. # 8.- Diagrama de instalación de capacitores individualmente.	43
Fig. # 9.- Diagrama de instalación de capacitores en grupo o batería.	45
Fig. # 10- Diagrama de instalación de capacitores combinación individual y grupo compensación centralizada.	46

	Pag.
Fig. # 11A.- Regulador automático	52
Fig. # 11B.- Diagrama de conexión de una batería de capacitores, conexión automática.	52
Fig. # 12.- Capacitores de alta tensión y baja tensión.	55
Tabla # 2 .-	59
Fig. # 13.- Diagrama unifilar del sistema eléctrico del Banco Continental.	65
Ejemplos diferente formas de regulación	66
Fig. # 14.- Diagrama unifilar del sistema eléctrico del Banco Continental con el equipo de compensación.	69

- 13 -  
INTRODUCCION

Factor de Potencia es simplemente un nombre dado a la relación de Potencia Activa (Kw) y la potencia que aparentemente se obtiene de las líneas de alimentación (KVA).

Esta relación es de mucha importancia en circuitos de corriente alterna, pero que no tiene importancia en circuitos puramente de corriente directa.

Se sabe que en las instalaciones de corriente alterna, un bajo factor de potencia significa un mal rendimiento porque al disminuir el  $\text{Cos } \phi$ , la utilización de las instalaciones empeora y aumentan las pérdidas OHMICAS, tanto en el cobre de los arrollamientos de los transformadores y de los generadores como en el de la línea, al propio tiempo aumenta la caída de tensión.

Las Empresas Eléctricas se defienden de este hecho aplicando tarifas tanto más altas, cuanto menor es el  $\text{Cos } \phi$  de la instalación, valores de factor de potencia inferiores a 0.75 son generalmente considerados inaceptables.

Las causas de un bajo valor del factor de potencia de una instalación son múltiples y pueden atribuirse a la naturaleza de los receptores como a la utilización de los mismos.

Un bajo factor de potencia indica una eficiencia eléctrica mala, lo cual siempre es costoso ya que el consumo de potencia activa es menor que el producto Voltios x Amperios.



BIBLIOTECA

## CAPITULO I

### 1.-INTRODUCCION A LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.

#### 1.1.- DESCRIPCION Y ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA (BANCO CONTINENTAL.-

El presente estudio tiene por objeto efectuar la corrección del factor de potencia de la instalación eléctrica del edificio del Banco Continental, ubicado en las calles General Córdova y Víctor Manuel Rendón (esquina).

##### 1.1.1-DESCRIPCION DEL SISTEMA.-

La Empresa Eléctrica local (EMELEC) suministra servicio de energía eléctrica al edificio a nivel de -- 13.800 voltios, alimentandolo de manera subterránea, llegando a 3 cajas portafusibles de 15 KV., desde donde se energizan los transformadores de distribución de propiedad del cliente.

El Banco de Transformadores consta de 3 unidades monofásicas del tipo convencional de 250 KVA cada uno, 13.200 voltios en el lado de alta tensión y 120/280 voltios en el lado de baja tensión con conexión estrella-estrella aterrizada.

La carga reactiva de la subestación proviene primordialmente, de los motores de las centrales de aire acondicionado, bombas de agua y lámparas fluorescentes.

##### 1.1.2-MEDICIONES REALIZADAS.-

Para efectos de la realización del estudio de mejo-

ramiento del factor de potencia del sistema se instaló un registrador de corriente durante nueve horas - de un día de carga típica. Se tomarón gráficos de -- las 2 fases de mayor carga. La escala a leerse es 300 multiplicada por 10.

Se tomarón lecturas instantáneas del factor de potencia en tres momentos diferentes. Los resultados oscilaron entre 0,80 y 0,90 .

#### 1.2 .-CAUSAS Y EFECTOS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA.-

Todos los aparatos que contienen inductancia, tales como motores, generadores, transformadores y demás - equipos con bobinas, necesitan corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación, esta corriente es la causa principal de - un bajo factor de potencia.

Potencia aparente facilmente se define como el voltaje aplicado a un circuito multiplicado por la corriente de entrada a la carga, esta potencia se mide en voltio-amperios e incluye la potencia reactiva - que puede ser requerida por la carga.

Potencia aparente = voltios x amperios.

La potencia activa, en watios, consumida por una carga eléctrica es el producto de multiplicar la corriente de entrada a la carga por el voltaje del circuito por un tercer factor: El Coseno del ángulo de desfaseamiento  $\theta$  (THETA).

Potencia activa = voltios x amperios x coseno  $\theta$

El coseno del ángulo de desfase explica la potencia reactiva, ya sea la inductiva o la capacitancia, causan una diferencia entre el tiempo en que el voltaje aplicado a la carga y la corriente requerida por la carga alcanzan su máximo (Red de corriente Alternada).

En circuitos inductivos, el voltaje máximo sucede primero y la corriente se dice que va "RETRASADA".

En circuitos capacitivos, la corriente máxima sucede primero que el voltaje y se dice que va "ADELANTADA".

Cualquier adelanto o retraso se mide en grados que son proporcionales a los grados que el generador de la energía ha rotado durante este lapso de tiempo.

El número de grados es el ángulo de desfase  $\theta$ , así en la figura # 1,  $\theta$  es un ángulo retrasado de  $90^\circ$ .

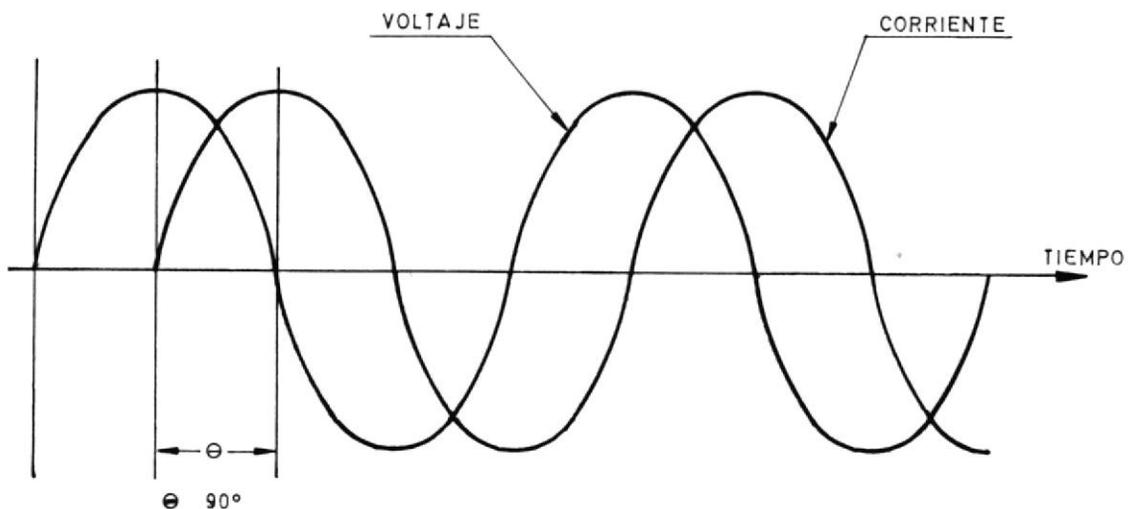


FIG. # 1

EL SIMBOLO  $\theta$  (THETA) REPRESENTA EL ANGULO DE DESFASE.  
EL TIEMPO EXPRESADO EN GRADO DE ROTACION DEL GENERADOR DE LA ENERGIA.

Como la mayor parte de la maquinaria industrial es de naturaleza inductiva, el ingeniero de planta tiene que ver, más que todo con corrientes retrasadas.

En circuitos puramente resistivos, sin inductancia ni capacitancia, los picos máximos de corriente y voltaje ocurren simultáneamente y entonces se dice que la corriente y el voltaje están "ENFASADOS", en este caso - en ángulo  $\theta$  es siempre igual a cero.

En circuitos que contienen resistencia e inductancia, el ángulo de desfasamiento es siempre menos de  $90^\circ$ .

Las cantidades relativas de resistencia e inductancia determinan los grados de desfasamiento o más exactamente, la proporción entre inductancia y resistencia.

El ángulo de desfasamiento  $\theta$ , es mayor, cuando la inductancia es mayor con respecto a una resistencia dada. Prácticamente este ángulo nunca llega a los  $90^\circ$  porque siempre existe cierta resistencia en cualquier circuito.

El hecho de que a mayor inductancia, mayor retraso, se refleja matemáticamente en el Coseno  $\theta$ , el valor del coseno de cualquier ángulo entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  está entre 1 y 0 respectivamente.

Cuando  $\theta = 0^\circ$  (en un circuito puramente resistivo), - el coseno  $\theta = 1$

Por lo tanto: POTENCIA ACTIVA (WATIOS) = VOLTIOS x AMPERIOS x 1.

En este caso, la potencia activa es igual a la potencia aparente, cuando  $\theta = 90^\circ$  (en un circuito pura-



mente capacitivo), el Coseno  $\theta = 0$

Por lo tanto: Potencia Activa (WATIOS) = VOLTIOS x AMPERIOS x 0 .

En este caso, la potencia activa es igual a cero.

Logicamente, con la adición de más motores y por con siguiente más inductancia, a una planta industrial, se está rebajando el factor de potencia de dicha plan ta, porque:

$$\begin{aligned} \text{FACTOR DE POTENCIA} &= \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}} \\ &= \frac{\text{Voltios x Amperios x Cos. } \theta}{\text{Voltios x Amperios}} \\ &= \text{Coseno } \theta \end{aligned}$$

A medida que el ángulo de desfaseamiento se aumenta - por aumento de la inductancia, el valor del Coseno  $\theta$  se vuelve más pequeño, tornando más bajo el factor - de potencia.

Es interesante descomponer la corriente en dos Vecto- res: La componente activa en fase con la tensión, y - la componente reactiva, que forma  $90^\circ$  con aquellos.

Esto se puede representar con un diagrama vectorial - sencillo en el que los vectores representan, a unas escalas determinadas, los valores eficaces de la co- rriente y de la tensión. En la figura # 2, OV repre- senta la tensión y, OI la corriente, retrasada con - respecto de aquella con un ángulo  $\theta$  ,

El Vector OI se puede dividir en dos componentes: La Componente activa OP y la componente reactiva PI.

Por otra parte, se cumple que  $OI \cos \theta = OP$  y -  
 $OI \sin \theta = PI$

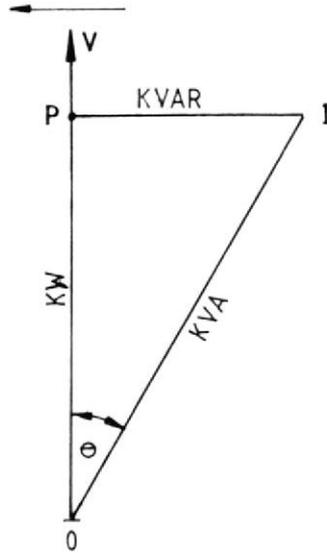


DIAGRAMA VECTORIAL MOSTRANDO LA DIVISION DE LA CORRIENTE TOTAL EN LA COMPONENTE ACTIVA Y REACTIVA.

FIG. # 2

Eligiendo una escala adecuada los mismos Vectores -  
representan los Kilovatios, kilovoltio-amperios y -  
kilovoltio-amperios reactivos.

$$OP = KW = \text{Kilovatios}$$

$$OI = KVA = \text{Kilovoltio amperios}$$

$$PI = KVAR = \text{Kilovoltio amperios reactivos}$$

Además, según la figura # 2

$$\text{SEN } \theta = \frac{KVAR}{KVA} \quad \therefore \quad KVAR = KVA \text{ Sen } \theta$$

$$\text{COS } \theta = \frac{KW}{KVA} \quad \therefore \quad KW = KVA \text{ Cos } \theta$$

$$\text{TAN } \theta = \frac{KVAR}{KW} \quad \therefore \quad KVAR = KW \text{ tan } \theta$$

Potencia reactiva, medida en voltio-amperios (VARs),

es simplemente el producto de multiplicar el valor - del voltaje aplicado a un circuito por la corriente requerida para los efectos magnetizantes, estas corrientes se conocen como corrientes reactivas.

Circuitos inductivos que requieren corrientes magnetizantes, contienen potencia inductiva reactiva, - mientras que circuitos capacitivos que requieren corrientes de carga, contienen potencia capacitiva -- reactiva.

El ángulo de desfase entre la corriente inductiva reactiva y el voltaje del circuito está retrasado porque, esta clase de corriente fluye después de que el voltaje del circuito ha alcanzado su pico máxima.



BIBLIOTECA

El ángulo de desfase entre la corriente capacitiva reactiva y el voltaje aplicado al circuito - está adelantado porque, esta clase de corriente fluye antes que el voltaje haya alcanzado su valor máximo.

Para comprender mejor las corrientes reactivas relacionadas con inductancias, analicemos el electromagneto, de la figura # 3, que esencialmente consiste en una bobina con núcleo de hierro a la cual se aplica corriente directa.

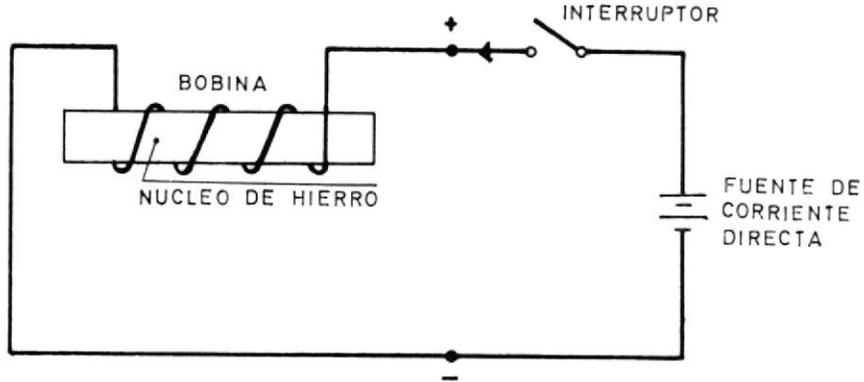


FIG. # 3

Al cerrar el interruptor instantáneamente fluye la corriente a través de la bobina creando un campo magnético. Este campo magnético alcanza su valor máximo manteniéndolo indefinidamente, hasta que el interruptor es abierto de nuevo, cuando esto ocurre, el campo magnético se desvanece originando una breve corriente que fluye en dirección contraria a la de la corriente de alimentación.

Si a este mismo aparato se conecta una fuente de corriente alterna (figura # 4), la situación es diferente.

En todo circuito de corriente alterna, la corriente de alimentación cambia de dirección a intervalos regulares, por ejemplo, 60 veces por segundo, que es la frecuencia más común.

Inicialmente, cuando se energiza el circuito, la corriente alterna fluye en una dirección establecien-

do un campo magnético, luego regresa a cero, cuando el campo magnético ha alcanzado su máximo.

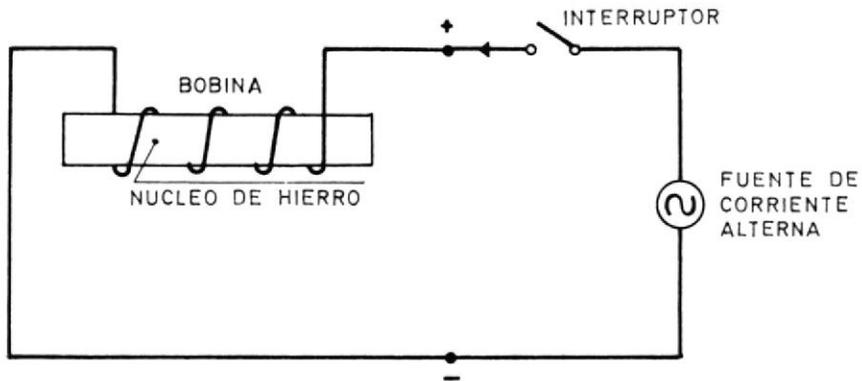


FIG. # 4

En la misma forma al abrir el interruptor una corriente fluye entonces, en dirección contraria a la de la corriente de alimentación.

Cada vez que la corriente de alimentación cambia de dirección, el campo magnético se desvanece, hay un flujo de corriente en dirección opuesta a la de la corriente de alimentación.

Esta corriente contraria se conoce con el nombre de corriente reactiva que, juntamente con el voltaje de la red forman la potencia reactiva. Cada vez que el campo magnético se desvanece, la potencia reactiva se descarga y regresa a la fuente de energía, --

por esta razón no figura en el medidor de kilowatios-hora.

1.2.1.-CONSECUENCIAS DEL FACTOR DE POTENCIA BAJO.-

El factor de Potencia total de una Planta Industrial (sin equipo de corrección del mismo) es invariablemente inductivo porque la carga consiste principalmente en motores de inducción. Los transformadores, los hornos de inducción y los equipos de soldadura eléctrica de corriente alterna también tienen factor de potencia inductivo.

Corriente de entrada de un motor de inducción se puede dividir en la componente reactiva que produce el campo magnético, y la componente activa que produce la energía eléctrica convertida en calor y energía mecánica. El vector suma de estos 2 componentes representa la corriente real absorbida por el motor. En el circuito existe realmente una sola corriente, siendo la descomposición vectorial de la misma, mera cuestión del cálculo. Igualmente se puede suponer que la corriente inductiva puede neutralizarse introduciendo en el circuito una corriente capacitiva equivalente, por medio de un equipo corrector de potencia, con este equipo, la corriente de magnetización sigue circulando por los circuitos locales, pero no tiene que ser suministrada por la central.

El efecto de un factor de potencia bajo es aumentar la corriente necesaria para suministrar una potencia determinada. Por ejemplo, la corriente absorbida por



una carga trifásica de 450 Kw. a 415 V. y 0,5 de factor de potencia (900 KVA) es 1.252 A., siendo solamente 626 A. con un factor de potencia unidad. Aunque es posible disminuir la intensidad mejorando el factor de potencia total, la potencia no queda afectada.

En plantas generadoras particulares, solamente se puede reducir el consumo de combustible corrigiendo el factor de potencia (sí, por ejemplo, la potencia total la suministra una sola máquina en lugar de dos), la Potencia activa en kilovatios es la que determina, más o menos el gasto de combustible requerido para mover el alternador, que suele estar diseñado para trabajar con un factor de potencia 0,8. Así en el ejemplo anterior, se mejorará el factor de potencia a 0,8 la potencia aparente quedaría reducida a 562,5 KVA, que podría ser suministrada por un solo grupo generador de 500 Kw. -- (625 KVA).

Sin corrección sería necesario un segundo grupo generador debido a la componente reactiva de la corriente total, esto, no sólo aumentaría el consumo de combustible sino que evitaría que los grupos trabajaran al 100% de su capacidad.

Un factor de potencia bajo imposibilita el empleo total de plantas, generadores, transformadores, interruptores y cables porque su salida está limitada por la capacidad de paso de corriente y no por la potencia activa, también aumentan las pérdidas por efecto JOULE,  $I^2R$ , en la red de distribución, y afecta desfavorablemente a

la regulación de tensión en los transformadores y alternadores.

Un factor de potencia bajo, no solamente aumenta el costo de los transformadores, cables, interruptores, etc., sino que también el costo de la red de retorno a la central para una potencia de línea determinada es pues obvio, que el precio del kilovatio suministrado - crece al disminuir el factor de potencia.

1.3.- CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE CAPACITORES.

Problemas de bajo factor de potencia se resuelven agregando equipo de corrección al circuito eléctrico de la planta. Actualmente existen diversos tipos de aparatos disponibles que han sido diseñados y construidos con el fin de mejorar el factor de potencia tales como  generadores de potencia reactiva y capacitores estáticos.

- Los motores sincrónicos ayudan a corregir, hasta cierto punto, el factor de potencia, sin embargo, esta ayuda la verifican únicamente cuando operan bajo carga, - ya que cuando operan sobrecargados toman potencia reactiva de las líneas de alimentación.

Generalmente se usan condensadores sincrónicos en instalaciones pesadas de las compañías de energía eléctrica y operan perfectamente bien, pero son bastantes -- grandes y de costo elevado.

Los generadores de potencia reactiva, usados cuando en la instalación no exista un motor síncrono de potencia tal que permita efectuar con él un refasamiento deter-

minado, se trata sin embargo de un caso excepcional en la industria normal.

Para uso general en plantas industriales, el medio más práctico y económico para mejorar el factor de potencia es el uso de capacitores.

Las mismas compañías de energía eléctrica usan capacitores en sus subestaciones, cuando no se justifica la instalación de condensadores sincrónicos que es de por sí más complicada y costosa, la parte inductiva de un circuito se puede balancear con la adición de capacitancia, los efectos de capacitancia son exactamente opuestos a los de inductancia.

La corriente del capacitor se encarga de proporcionar la corriente magnetizante requerida por la carga y puede proporcionarla toda o sólo parte del requerimiento.

Algunas de las ventajas de los capacitores sobre otros tipos de equipos para mejorar el factor de potencia son:

A.- Son substancialmente más baratos.

B.- Se pueden cambiar facilmente de un lugar a otro de la red de distribución eléctrica, según sean los requerimientos.

C.- Se pueden instalar económicamente en forma descentralizada y no necesitan virtualmente nada de mantenimiento.

D.- La capacidad de corrección de un banco de capacitores puede aumentarse muy facilmente.

#### 1.4 - FORMAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CAPACITORES.-

Un condensador consiste en varios elementos constituídos por 2 hojas de aluminio de alta conductibilidad - arrolladas junto con hojas de papel especial. El número de hojas de papel depende de la tensión, un agujero atravieza el rollo para permitir el paso del aceite y lograr así una temperatura uniforme, cada elemento se somete a un secado en vacío y luego se impregna cuidadosamente para eliminar toda traza de humedad antes de soldarlo a los soportes.

Un condensador contiene un número determinado de tales elementos, según la capacidad requerida, y el conjunto se encierra en una caja de acero llena de aceite. Cada elemento, o grupo de elementos, está protegido por un fusible apropiado sumergido en aceite y los terminales se llevan a una caja de bornes situada a un extremo de la caja.

Como dispositivo de seguridad, se conecta entre los terminales del condensador una resistencia de descarga para asegurar, que la tensión entre terminales no pase de 50 voltios un minuto después de desconectarlo de la línea. Excepto en los condensadores grandes, las cajas se cierran herméticamente para evitar que entre humedad de la atmósfera por absorción.

Las cajas herméticas son muy ventajosas cuando, en lugar de aceite mineral, se llenan de un dieléctrico - clorodifenílico, fluído sintético no inflamable que-



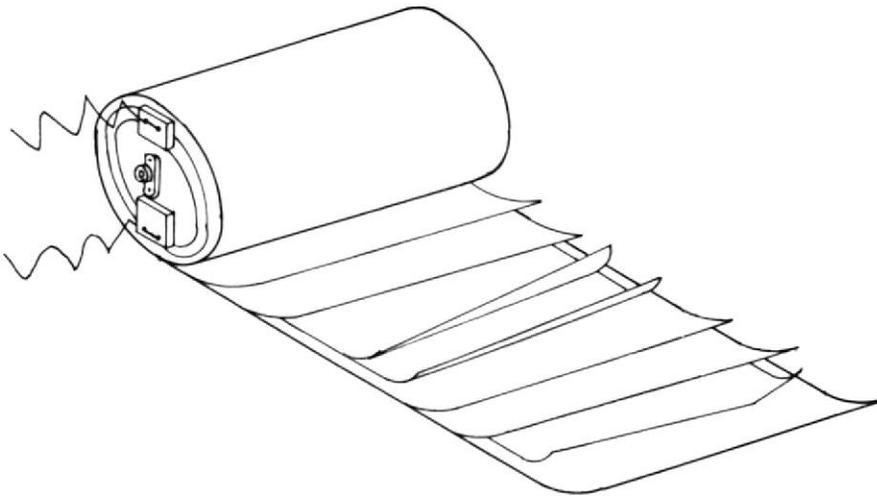
se vende con el nombre de ACROLOR, este producto se -  
emplea cada vez más en los condensadores para corrient  
te alterna porque permite construir condensadores más  
pequeños para una potencia reactiva determinada.

Las pérdidas de un condensador de potencia es alrede-  
dor de 1,3 a 1,5 W/KVAR excluída la resistencia de -  
descarga.

Los elementos de conexión a los conductores de aliment  
tación salen al exterior mediante aisladores atravesa  
dores.

Por lo general, en los condensadores trifásicos se -  
realiza en el interior de la caja, la conexión en --  
triángulo.

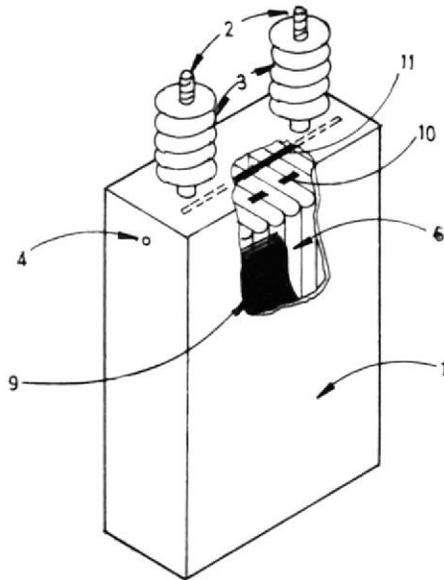
#### CAPACITOR DE BAJA TENSION



CONSTRUCCION DE UN ELEMENTO  
DE UN CONDENSADOR

FIG. # 5-A.

### CAPACITOR DE ALTA TENSION



- 1.- CARCAZA.
- 2.- TERMINALES DE CONEXION
- 3.- BUSHINGS
- 4.- HUECO LLENADO DIELECTRICO
- 5.- ELECTRODOS
- 6.- ELEMENTO DE CAPACITOR
- 7.- LAMINA POLIPROPILENO
- 8.- LAMINA DE ALUMINIO
- 9.- LAMINAS ALTO NIVEL DE AISLAMIENTO
- 10.- CONECTORES ENTRE ELEMENTOS
- 11.- RESISTENCIA INTERNA DE DESCARGA.

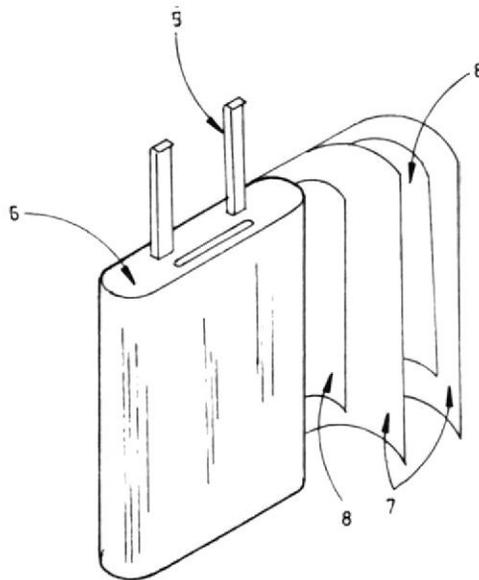


FIG # 5 - B

La relación que expresa el valor de la corriente absorbida por un condensador alimentado por un circuito de corriente alterna es la siguiente:

$$I = 2 \pi C V 10^{-6}$$

Por consiguiente, el valor de la corriente absorbida es proporcional al de la capacidad C, al de la tensión aplicada V, y al de la pulsación W, expresado en la fórmula por el factor  $2 \pi$ , o sea 6,28 veces el valor de frecuencia en períodos por segundo;  $10^{-6}$  es el factor de conversión de la unidad teórica de capacidad, el faradio a la unidad práctica, el microfaradio.

La potencia reactiva Q absorbida por un condensador monofásico y que se introduce en la instalación mediante la conexión del mismo es igual al producto.

$$Q = I \times V$$

y sustituyendo I por su valor en la expresión anterior resulta:

$$Q = V (2 \pi C V 10^{-6})$$

$$Q = 2 \pi C V^2 10^{-6} \text{ (VAR)}$$

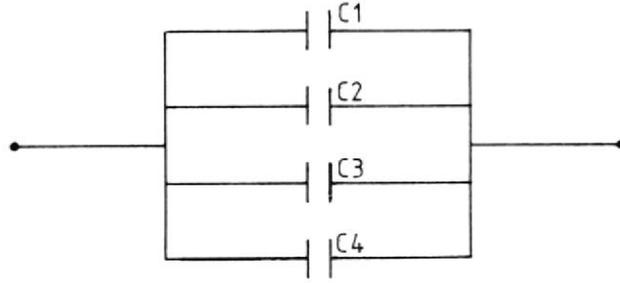
$$Q = 2 \pi C V^2 10^{-9} \text{ (KVAR)}$$

Para terminar el estudio de las fórmulas referentes al condensador es oportuno recordar que la capacidad total de un sistema de condensadores montadas en paralelo es igual a la suma de las capacidades de cada uno de ellos, mientras que el montaje en serie es igual a la inversa de la suma de las inversas de las



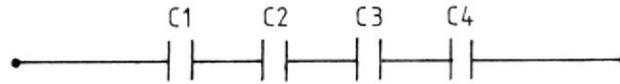
capacidades de cada uno de los condensadores.

### CONDENSADORES EN PARALELO



$$C_{total} = C1 + C2 + C3 + C4$$

### CONDENSADORES EN SERIE



$$C_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C4}}$$

FIG. # 6

## CAPITULO II

### 2.- APLICACION E INSTALACION DE CAPACITORES.-

#### 2.1.- CAPACITORES DE POTENCIA.-

El uso de capacitores representa una positiva economía, tanto en su instalación como en su mantenimiento, carecen de partes móviles que puedan deteriorarse o representar un riesgo para los empleados de la planta, también carecen de complicados motores de arranque o sistemas de ajustes.

La corrección del factor de potencia por medio de capacitores es en sí un método altamente flexible ya que estos se pueden instalar en cualquier lugar y en cualquier cantidad, se obtienen en tamaños que ajustan a cualquier tamaño de motor y se pueden acondicionar en los puntos de la línea donde más se necesitan, no requieren cimentación especial ya que no tienen partes móviles y tampoco vibran.

Las pérdidas en los capacitores son despreciables y si quedaran conectados a la línea después de desconectar los motores, su consumo de energía eléctrica sería insignificante, se pueden obtener para instalaciones interiores como para uso a la intemperie y para cualquier nivel de voltaje.

No obstante las unidades de capacitores se garantizan por un año, su vida activa está más o menos entre los 10 y 20 años, este límite depende, desde luego, de las condiciones de operación tales como la temperatura ambiente y el voltaje de operación.

## 2.2.- OPERACION DE LOS CAPACITORES.-

Para comprender la forma en que los capacitores mejoran el factor de potencia, volvamos a la figura # 1 y a la explicación del retraso de la corriente en los circuitos inductivos. De acuerdo con este ejemplo la corriente y el voltaje estaban separados por un ángulo teóricamente máximo de  $90^\circ$ .

Sí aplicamos corriente alterna a un circuito conteniendo capacitancia, un campo electrostático, en vez de un magnético, sigue el mismo ciclo de alzas y bajas como el campo de un circuito inductivo.

En este caso la corriente del capacitor alcanza su valor máximo antes de que el voltaje a través del capacitor alcance el propio, resultando de esta manera la corriente adelantada, entonces, sí se conectaran una inductancia y una capacitancia en paralelo, la corriente fluiría de un lado a otro entre el inductor y el capacitor. Sí las corrientes fuesen iguales y no ocurrieran pérdidas en el circuito, no se requeriría corriente de ninguna fuente de energía eléctrica.

En la práctica, el generador o la fuente de energía, proporciona corriente para la resistencia del circuito y cualquier otra pérdida, así como también para cualquier diferencia que pudiera existir entre la corriente del capacitor y del inductor.

Esto indica que si se escoge correctamente el capacitor a emplearse, no existirá corriente fluyendo de



uno u otro, entre la máquina inductiva (un motor de inducción, por ejemplo) u la fuente de abastecimiento de energía, esto es, únicamente entre el capacitor y el motor, sí el capacitor se instalara cerca del motor, se evitarían fugas innecesarias que efectuaría el sistema de transmisión de energía. No importa en que sitio se instale un capacitor, siempre se obtendrá provecho desde ese punto hasta la fuente de abastecimiento de energía.

### 2.3.-INSTALACION DE CAPACITORES.-

Los capacitores son un medio efectivo, confiable y económico de mejorar el factor de potencia.

Tienen larga vida y necesitan muy poco mantenimiento ahora bien, para obtener los máximos beneficios de los capacitores, es muy importante su correcta instalación.

Dentro de los puntos a considerarse están : La temperatura del medio ambiente donde se instalarán, la ventilación adecuada y un diseño funcional de los dispositivos de protección.

#### TEMPERATURA AMBIENTE Y VENTILACION.-

Las corrientes deben instalarse donde la temperatura del medio ambiente no exceda los 104°F (40°C), además necesitan una ventilación adecuada ya que siempre operan a plena carga, generando calor que debe eliminarse para garantizarles larga vida.

Por razones de tipo económico, los capacitores se diseñan para operar muy cerca de los límites de la

resistencia eléctrica de sus materiales aislantes.

El material aislante de un capacitor se denomina dieléctrico y tiene que soportar grandes esfuerzos eléctricos ocasionados por el voltaje de operación.

Alta temperatura por un largo período combinada con grandes esfuerzos eléctricos, causan debilidad y fallas en un dieléctrico, es muy importante una libre circulación de aire para mantener baja la temperatura y así prolongar la vida útil del capacitor.

Es preferible evitar la instalación de capacitores - tanto en locales pequeños, cerca de radiadores o cualquier tipo de unidades de calefacción, donde no exista buena ventilación, como a la intemperie donde los rayos solares podrían elevar la temperatura del capacitor excesivamente.

La caja del capacitor no deberá alcanzar temperaturas arriba de los 131°F (55°C) en condiciones normales de operación, es decir, valores de voltaje y frecuencia de placa, de acuerdo con los cuales se ha diseñado el capacitor.

El alza en la temperatura depende de: La tolerancia del capacitor, la frecuencia de la línea y el voltaje de operación. La temperatura como función de la frecuencia, no deberá tomarse en cuenta ya que la frecuencia de línea es constante en los sistemas modernos de generación.

La frecuencia nominal del capacitor, indicada en la

placa del mismo, tiene que ser igual a la frecuencia - de línea del circuito.

Es prácticamente imposible que exista sobrecalentamiento a voltajes normales de operación, pero si el voltaje excede el 110% de la capacidad de la placa del capacitor, puede llegar a dañarlo, un sobrevoltaje de 10% representa un 21% de aumento en KVAR, además de sobrepasar la tolerancia del 15% de KVAR, se excederían las máximas condiciones de operación.

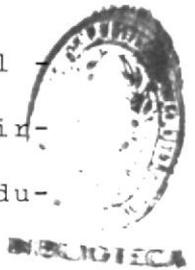
Cuando el voltaje de operación es mayor del 10% del voltaje de placa del capacitor, es necesario reducir el voltaje de línea o desconectar los capacitores durante los períodos de poca carga.

Es muy importante también, evitar la instalación de los capacitores muy cerca los unos de los otros, ya que el calor generado por unos afectaría a los más próximos.

#### 2.3.1-DISPOSITIVOS DE PROTECCION.-

Los capacitores se proveen de fusibles para proteger el sistema de distribución en caso de un corto circuito interno, estos fusibles tienen una capacidad nominal entre el 165% y 250% de la corriente reactiva nominal para permitir máximas condiciones de operación, así como también alzas súbitas de corriente.

La función de los fusibles es desconectar del circuito el capacitor en corto-circuito antes de que la presión de los gases creada dentro de la caja del capaci



tor, debido al corto rompa la caja en sus juntas.

Algunos fabricantes construyen los capacitores con celdas unitarias protegidas internamente por fusibles y contenidas dentro de un recipiente.

Una ventaja de este sistema de celdas autoprotegidas es que los fusibles interiores desconectan del circuito cualquier celda defectuosa, permitiendo la operación del resto de las celdas unitarias.

Los conductores a emplearse deberán tener una capacidad nominal de corriente igual a un 135% de la corriente nominal mínima del capacitor, para satisfacer la posibilidad de que se alcanzaran las condiciones máximas de operación. El código eléctrico requiere que instalaciones con capacitores esten equipados con medios de desconexión para poder separarlos del circuito durante períodos de poca carga o de mantenimiento.

Los interruptores a usarse para este fin deberán tener una capacidad nominal de corriente de por lo menos 165% de la corriente nominal de los capacitores protegidos.

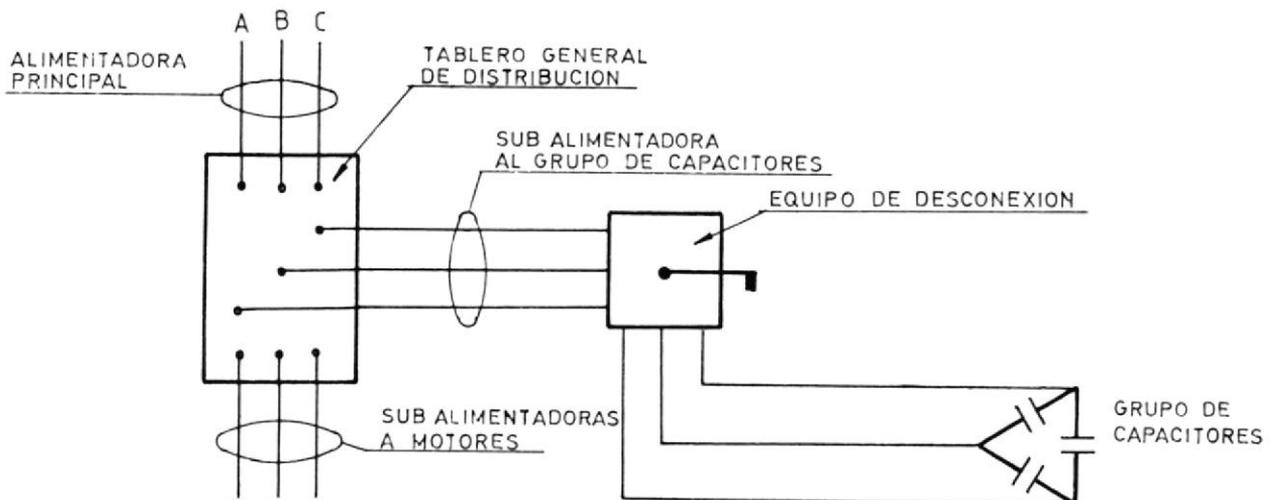


FIG. # 7-A

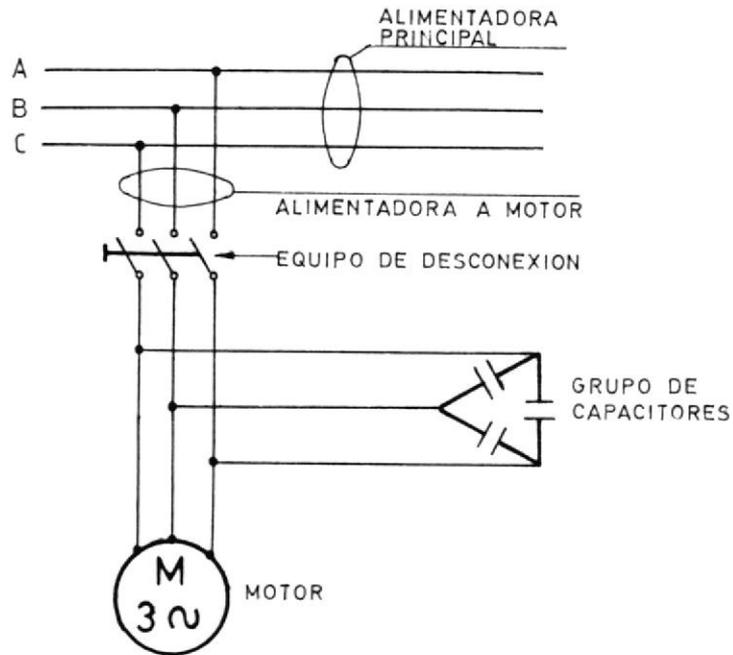


FIG. # 7 - B

Existen 2 métodos para corregir el factor de Potencia por medio de capacitores. El primero consiste en la - instalación de un grupo o batería de capacitores conec-  
tados a la línea en un punto central, tal como un ta-  
blero de interruptores, o un panel de distribución.  
Generalmente este método se usa únicamente para cumplir  
con las regulaciones sobre factor de potencia de las -  
compañías de abastecimiento de energía eléctrica.  
El segundo método y el más eficiente consiste en la -  
instalación de capacitores individuales directamente -  
en el punto de bajo factor de potencia, es decir, cer-  
cano a los motores. Este método goza de todas las ven-  
tajas de la instalación de capacitores en batería y -  
además ofrece beneficios adicionales como: aumento de  
la capacidad del sistema, mejoras en el nivel del vol-  
taje y reducción de pérdidas de potencia.

2.3.2-INSTALACION DE CAPACITORES INDIVIDUALMENTE.- (Compensación individual).

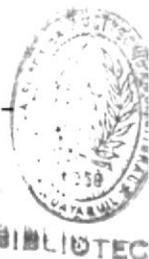
En plantas donde el alumbrado está sobrecargado con motores de inducción, la instalación de capacitores individuales proporciona las máximas ventajas.

Este método interesa mas que todo a plantas antiguas, pero también concierne a instalaciones nuevas cuyo crecimiento representa la adición de más motores.

La corrección del factor de potencia, en estos casos, puede representar la diferencia entre el trabajo de re-alambrar completamente la instalación y la simple adición de nuevo equipo a las líneas antiguas.

La corrección más efectiva del factor de potencia se alcanza al conectar los capacitores directamente a los terminales de los motores, transformadores, o cualquier otro tipo de maquinaria inductiva, la corriente reactiva causa pérdidas entre la máquina inductiva y el equipo correctivo del factor de potencia y, cuando falta capacidad correctiva, entre la máquina inductiva y la fuente de abastecimiento de energía, es por eso que, mientras mas cercano este el capacitor de la máquina, mejor el provecho.

Otra ventaja de instalar capacitores directamente a los terminales de los motores es que ambos se pueden conectar y desconectar a la vez, en esta forma, el motor nunca puede operar sin su equipo correctivo, usándose los capacitores unicamente cuando se necesiten. Además,



con éste método se ahorra el uso de interruptores para conectar y desconectar los capacitores de la línea, ya que los capacitores operan con los mismos controles del motor.

Sí se conectan los capacitores directamente a las terminales del motor y ambos operan como una sola unidad, se simplifica mucho la tarea de determinar la capacidad de los capacitores a instalarse evitándose complicados estudios de ingeniería.

El tamaño del capacitor a usarse en cada motor se obtiene de la tabla # 1, en la cual, de acuerdo con las revoluciones del motor y su capacidad en H.P. (Caballos de fuerza), se obtiene la capacidad requerida del capacitor en KVAR.

Los valores presentados en esta tabla están de acuerdo con las recomendaciones del AIEE y con el uso de los mismos se puede llegar a mejorar el factor de potencia hasta en un 95%.

En resumen, las ventajas alcanzadas con el método de instalación de capacitores individualmente, son las siguientes:

- 1.- Menos caída de voltaje en el alambrado a los motores, reduciendo el calentamiento perjudicial debido a las corrientes excesivas.
- 2.- Los capacitores se pueden conectar y desconectar del servicio según se necesiten, en esta forma, el factor de potencia se ajusta a cualquier tipo de -

- carga y se obtiene mejor regulación en el voltaje
- 3.- La capacidad de los capacitores requeridos para motores individuales es fácilmente obtenible de tablas, reduciendo así los problemas de ingeniería.
  - 4.- Tanto motores como cualquier otro tipo de maquinaria con capacitores propios tienen mucha flexibilidad en caso de cambios de ubicación dentro de la planta, no importa el lugar donde se traslade el motor, siempre tendrá garantizada su corrección de factor de potencia.

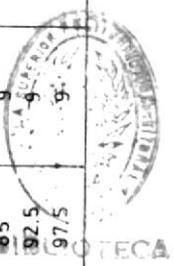
La principal desventaja de la corrección del factor de potencia, por medio de capacitores individuales para cada motor, o equipo inductivo, es que las unidades de capacitores pequeños, tienen un costo más elevado por kilovar que las unidades mayores.

Cuando se trata de corregir el factor de potencia a varios motores pequeños conectados al mismo circuito, la forma más económica de hacerlo es instalando capacitores de 10 KVAR a 15 KVAR de capacidad nominal directamente a las líneas de alimentación de los motores, corrigiendo de ésta forma el factor de potencia del grupo completo. Usualmente motores mayores de 10 H.P. se corrigen con capacitores individuales, y motores más pequeños se corrigen en grupos.



**TABLA 1. MAXIMA CAPACIDAD NOMINAL DE CAPACITORES RECOMENDABLE CUANDO EL MOTOR Y EL CAPACITOR SE OPERAN CON EL MISMO INTERRUPTOR**

Caballaje Nominal del Motor de Induccion	Velocidad Nominal del Motor en RPM											
	3600		1800		1200		900		720		600	
	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %	Capacidad Nominal del Capacitor en KVAR	Reduccion en la Corriente de linea %
3	1.5	14	1.5	15	1.5	20	2	27	2.5	35	3.5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4.5	37
7 1/2	2.5	11	2.5	12	3	15	4	22	5.5	30	6	34
10	3	10	3	11	3.5	14	5	21	6.5	27	7.5	31
15	4	9	4	10	5	13	6.5	18	8	23	9.5	27
20	5	9	5	10	6.5	12	7.5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7.5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32.5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32.5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32.5	10	40	13	47.5	16
150	32.5	8	30	8	35	9	37.5	10	47.5	12	52.5	15
200	40	8	37.5	8	42.5	9	47.5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52.5	8	57.5	9	70	11	77.5	13
300	57.5	8	52.5	7	60	8	65	9	80	11	87.5	12
350	65	8	60	7	67.5	8	75	9	87.5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67.5	6	80	8	92.5	9	100	10	110	11
500	77.5	8	72.5	6	82.5	8	97.5	9	107.5	9	115	10



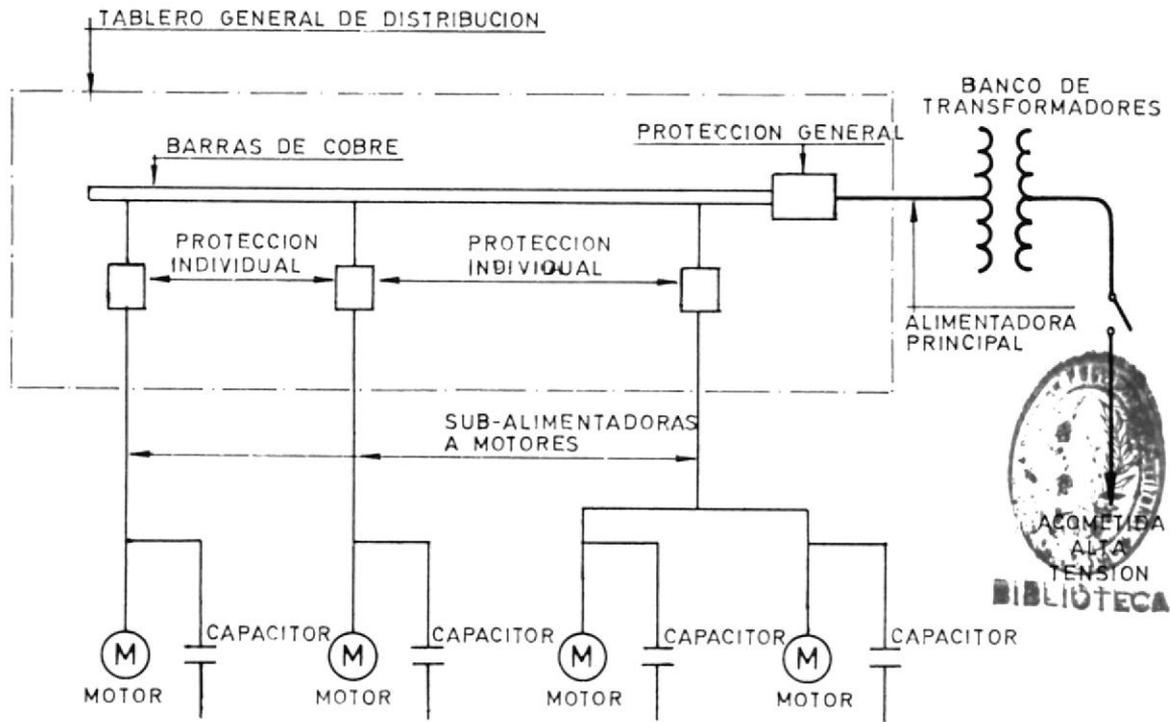


FIG. # 8

### 2.3.3-INSTALACION DE CAPACITORES EN GRUPO O BATERIA (Compensación en grupo).-

Cuando la razón principal de corregir el factor de potencia es bajar el costo mensual de energía eléctrica o reducir la corriente en los cables alimentadores que vienen del generador o del banco de transformadores, - el método más económico de instalar los capacitores es en grupo o batería.

En éste caso, se instalan baterías de capacitores en el tablero principal o en el generador. El factor de potencia total de la planta se mejora, pero hay que recordar que esto no redundará en ningún beneficio para el sistema de distribución interior, en el lado de la

carga y después de los capacitores.

Otra de las ventajas de este sistema, es que baterías grandes de capacitores tienen un costo menor por kilovar que unidades individuales, siendo también más económicas en su instalación.

Sin embargo, el costo de los interruptores o cortacircuitos que se necesitan para estos grupos, posiblemente eleve un poco el bajo costo de este tipo de instalación.

De acuerdo a los requerimientos de la carga, se puede conectar o desconectar manual o automáticamente, ya sea parte o toda la batería de capacitores, en esta forma, en un momento dado se puede conectar sólo la corrección necesaria para el requerimiento de la carga.

En resumen las ventajas alcanzadas con éste método son:

- 1.- Mejora el factor de potencia general de la planta, reduciendo así el costo mensual de la energía eléctrica.
- 2.- Baterías de capacitores tienen costo más bajo por kilovar que capacitores individuales.
- 3.- El costo del alambrado de una batería de capacitores es más bajo por kilovar que el costo del alambrado de capacitores individuales para cada motor.



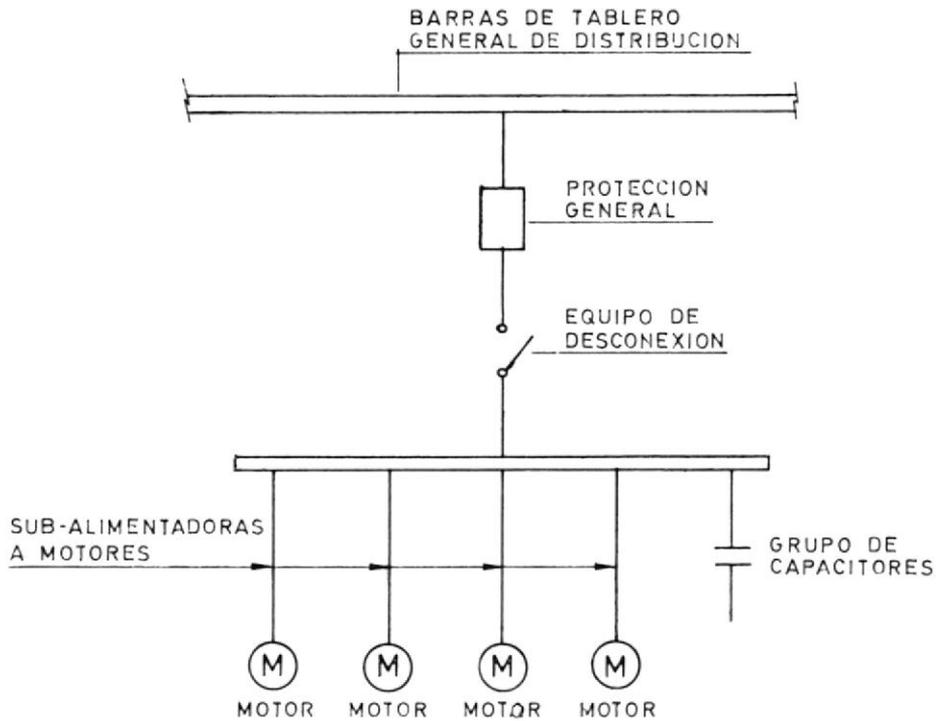


FIG. # 9

2.3.4- COMBINACION DE AMBOS METODOS DE INSTALACION (Compensación centralizada).-

En muchos casos, los resultados más provechosos se obtienen instalando capacitores individualmente a los motores mayores y baterías a tableros o alimentadores principales. Para determinar la corrección necesaria, primero se establece el requerimiento total de los kilovoltios para la planta.

A medida que cada motor grande se va corrigiendo, se van deduciendo sus KVAR del total previamente establecido; entonces, los KVAR restantes después de hechas las deducciones, se puede instalar en una sola batería a la entrada del servicio, o en puntos críticos en la planta. Hay que tomar en cuenta que la máxima correc-

ción se obtiene instalando los capacitores lo más cerca posible del punto de bajo factor de potencia. Las unidades de regulación de potencia reactiva se emplean aquí conjuntamente con las instalaciones de conexión, distribución o subdistribuciones.

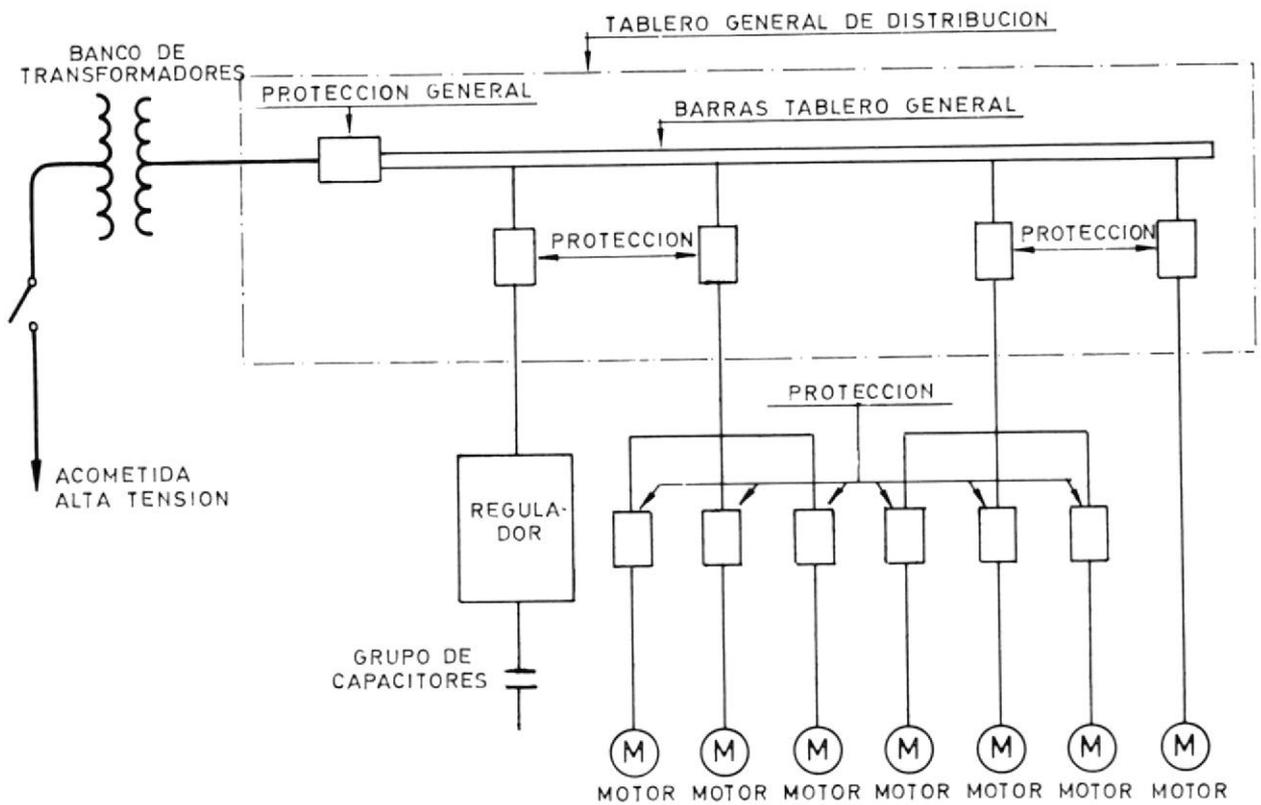


FIG. # 10

Las unidades de regulación reactiva contienen además de grupos de capacitores conectables, un regulador que mide la potencia reactiva en el punto de entrada. Sí la potencia reactiva defiere del valor prescrito, el regulador provoca la conexión de grupos de capacitores, que se conectan o desconectan por medio de contactores.

La potencia reactiva de los capacitores se elige de tal forma que el factor de potencia para el total de la planta, mantenga en promedio el  $\cos \theta$  deseado. El empleo de capacitores en bajas pérdidas (capacitores MKV) posibilita la integración directa de los capacitores y reguladores en paneles en la propia instalación o distribución.

La compensación centralizada es particularmente ventajosa si se tiene: una gran cantidad de pequeñas cargas, con diversa potencia y diferentes horas de conexión.

Al prever el aparrillaje necesario para la instalación de los condensadores debe procederse de manera que quede asegurada su desconexión del circuito, no sólo cuando la sección no trabaja, sino también cuando la carga absorbida por la misma sea inferior a la carga media considerada en el momento en que se ha decidido la conexión de la unidad de compensación del factor de potencia.

El aparrillaje utilizado debe ser totalmente automático y se basa en un relé amperimétrico aplicado directamente a uno de los conductores de fase o desconexión del condensador, por lo que debe colocarse en una posición de alimentación a la bobina de mando del contactor destinado a la conexión o desconexión del condensador, por lo que debe colocarse en una posición anterior a la de aquél

Es evidente que el relé solo establecerá el contacto cuando la intensidad que actúa en el circuito supere el límite establecido, en cuyo caso provocará el cierre automático del contactor y, la consiguiente conexión del condensador o batería de condensadores. Por lo general, el relé está equipado de un dispositivo de retardo a fin de evitar el inconveniente representado por un excesivo número de intervenciones causadas por cargas transitorias de poca derivación. Podría objetarse que, una vez conectado el condensador, el valor de la intensidad que actúa en el transformador que alimenta el relé, sufrirá una disminución inmediata, con la correspondiente desconexión del contacto que mantiene cerrado el contactor, pero hay que darse cuenta que el transformador de corriente se encuentra después del condensador y, por consiguiente, en un tramo de la instalación en el que el valor de la intensidad permanece inalterado, ya que la acción de la compensación sólo se manifiesta en los conductores que se encuentran antes del condensador.

Esta observación reviste una particular importancia en los criterios de instalación de los condensadores de compensación del factor de potencia ya que el proyectista debe tener siempre en cuenta que si se quiere disminuir la sobrecarga de una instalación mediante la instalación de un condensador, el aparato debe

conectarse a continuación de la instalación considerada, puesto que el efecto del mismo sólo se produce en la parte anterior al condensador.

El contactor debe conectarse de modo que en la posición de abierto ponga las armaduras del condensador en corto circuito y a tierra, a fin de proteger a los operarios, que por necesidades de entretenimiento tuvieran que trabajar en los bornes del aparato, contra las descargas capacitivas, particularmente peligrosas cuando la tensión de servicio sea elevada y estén en juego fuertes capacidades.



En este caso de que no es posible dividir la instalación en varias partes, deberá instalarse una sola batería de condensadores para la compensación total del factor de potencia.

En el campo industrial existen aparatos automáticos que regulan el valor de la potencia reactiva que debe absorber la instalación, a fin de mejorar el factor de potencia, el empleo de estos aparatos, técnicamente más apropiados que los descritos anteriormente, supone un gasto de compra nada desdeñable, pero justificado, puesto que permiten una utilización verdaderamente racional de los condensadores en todos los casos en que el factor de potencia sea muy variable a causa de las actividades desarrolladas en el taller o en la fábrica considerada.

El aparato automático de control que presentamos como

ejemplo es el fabricado por la firma ELECTROCONTROLLI de Bolónnía y puede ser regulado para que el factor de potencia alcance el valor contractual o incluso superior, según las necesidades.

Este aparato consta de un instrumento de tipo logmétrico de bobinas cruzadas que efectúa una medición continua del factor de potencia y puede envíar impulsos direccionales a un micromotor de funcionamiento reversible. La señal de salida es amplificada por un dispositivo electrónico y pone en movimiento a un pequeño motor cuyo rotor es solidario con un árbol de levas que puede girar en ambos sentidos.

Cuando el valor del factor de potencia es inferior al establecido el motor hace girar el árbol de lEVAS, lo que provoca el cierre progresivo de los contactores y la consiguiente entrada en servicio de las correspondientes baterías de condensadores, esta operación de progresiva conexión prosigue hasta que el número de condensadores conectados es suficiente para que la potencia reactiva absorbida por la instalación aumente el factor de potencia reactiva absorbida por la instalación aumente el factor de potencia hasta el valor deseado.

Inversamente, si por cualquier causa el valor del factor de potencia de la instalación fuera superior al establecido, el impulso que parte del instrumento de medida hace girar el motor en sentido contra

rio, lo que origina la apertura sucesiva de los contactores.

La conexión y desconexión se efectúan con intervalos de tiempo mínimo de 30 segundos, a fin de evitar el fenómeno pulsativo.

Un relé voltimétrico vuelve a cero al aparato cuando falta el suministro de energía, con el fin de evitar los fenómenos de sobretensión y extraconsiente que pueden presentarse en el transitorio de conexión.

En el equipo de compensación también se incluyen las resistencias de descarga calculadas de acuerdo con las disposiciones de las Normas NEC, y existe un interruptor para la conexión o desconexión del dispositivo automático, de manera que pueda gobernarse manualmente todo el sistema.

En el panel de dispositivo automático se encuentra un sistema de señalización luminosa que permite conocer inmediatamente el número de unidades capacitivas en servicio.

La totalidad del sistema se encuentra protegido contra eventuales cortocircuitos por una terna de cortocircuitos fusibles de elevada capacidad de ruptura.

REGULADOR AUTOMATICO

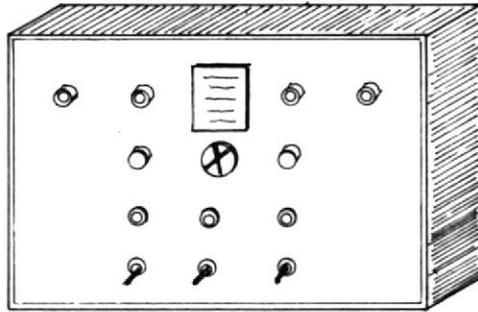


FIG. # 11-A

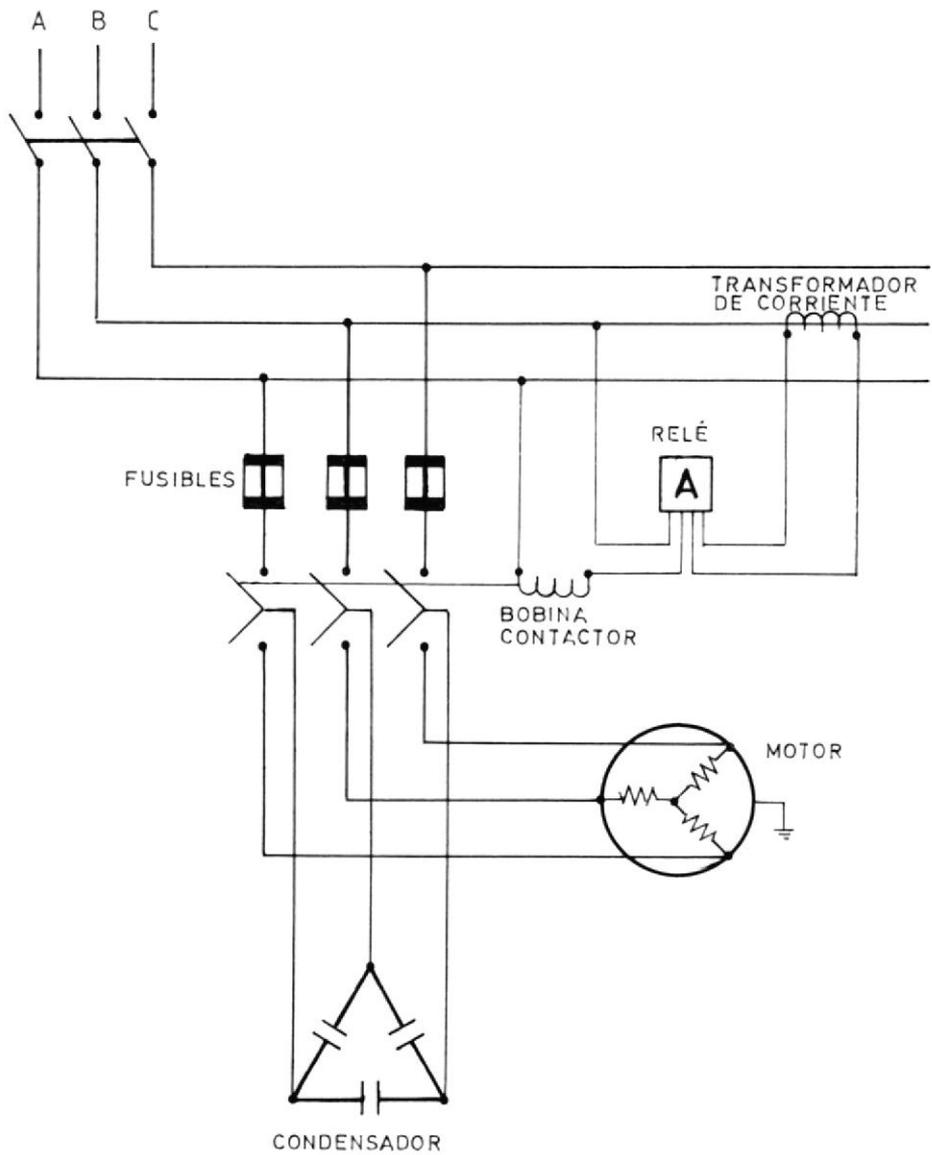


DIAGRAMA DE CONEXION DE UNA BATERIA DE CONDENSADORES  
CONEXION AUTOMATICA

FIG. # 11-B

#### SELECCION DE LA FORMA DE COMPENSACION.-

Al seleccionar la forma de compensación se han de considerar factores técnicos y económicos y se ha de decidir si se deben compensar las cargas individuales por medio de capacitores fijos o por medio de una batería de regulación centralizada.

Entre 100 y 400 KVAR una compensación centralizada es 1,3 á 1,4 más cara que una compensación individual - empleando capacitores de una potencia similar; sin - embargo, sí se tiene en cuenta que en la mayor parte de las instalaciones las cargas nunca están conecta- das todas simultáneamente, se pueden emplear una po- tencia en capacitores más reducida para una compen- sación centralizada. Para un factor de simultanei- dad entre 0,7 y 0,8 ambos tipos de compensación son- comparables en sus costos.

Consecuentemente la compensación individual es sola- mente económica para grandes consumidores con nece- sidad de potencia constante y gran cantidad de horas de servicio.

#### 2.4.-TIPO DE CAPACITORES.-

De acuerdo al nivel de voltaje para su funcionamien- to, los capacitores se los puede clasificar en 2 tipos: Capacitores secundarios (bajo voltaje) y primarios (alto voltaje).

Los capacitores secundarios o de bajo voltaje, están generalmente disponibles para voltajes entre los 240

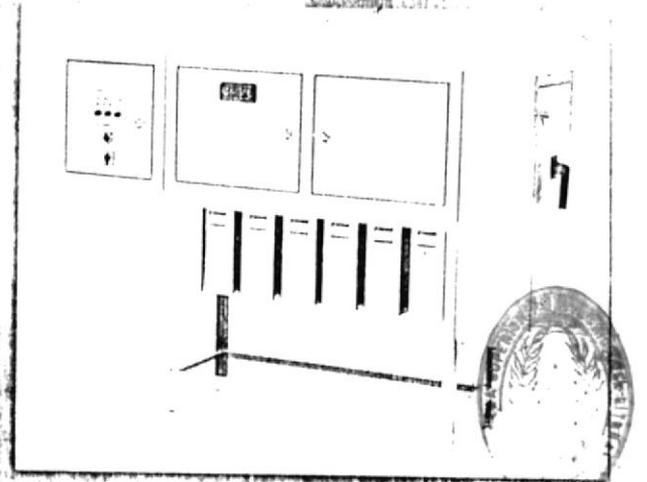
voltios y 600 voltios y en rangos entre los 2,5 KVAR y 50 KVAR, cuando estos capacitores son conectados a las líneas secundarias, están físicamente localizados cercanos a la carga reactiva atrasada, esto reduce los requerimientos en KVA de las líneas y los transformadores, en otras palabras, concede una mayor carga con las mismas líneas y transformadores. Los capacitores primarios o de alto voltaje, para la corrección del factor de potencia, son conectados a las líneas de alta tensión y están generalmente disponibles para voltajes entre los 2.400 voltios y 21.600 voltios y en rangos entre los 50 KVAR y 400 KVAR, para este tipo de capacitores los KVAR son logrados por conexión de las unidades de capacitores en serie o paralelo.

El costo de los capacitores de alta tensión es bajo por KVAR que los capacitores de baja tensión a causa de la diferencia básica en el material del dieléctrico, los cuales permiten ser operados con mayor eficiencia, también presentan una ventaja, como la menor pérdida de potencia.

Capacitores de alto voltaje utilizan un dieléctrico ALL FILM, el cual opera con pérdidas menores que 0,2 W/KVAR, o con un dieléctrico FILM-PAPER el cual opera con pérdidas menores de 0,5 W/KVAR.

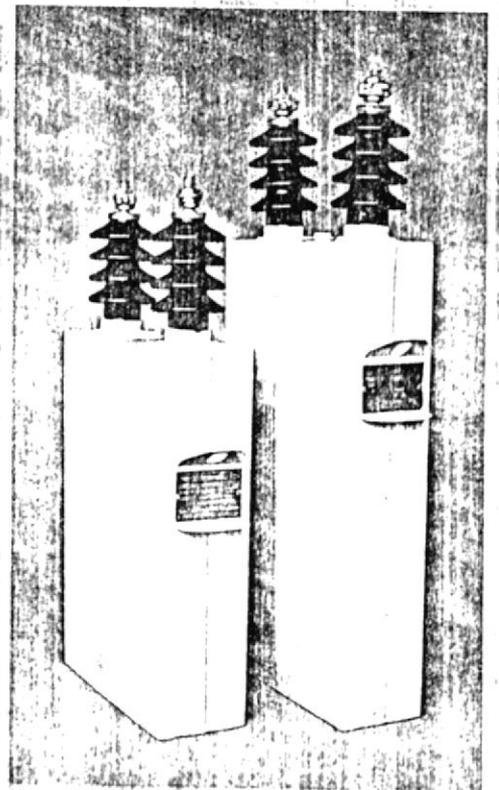
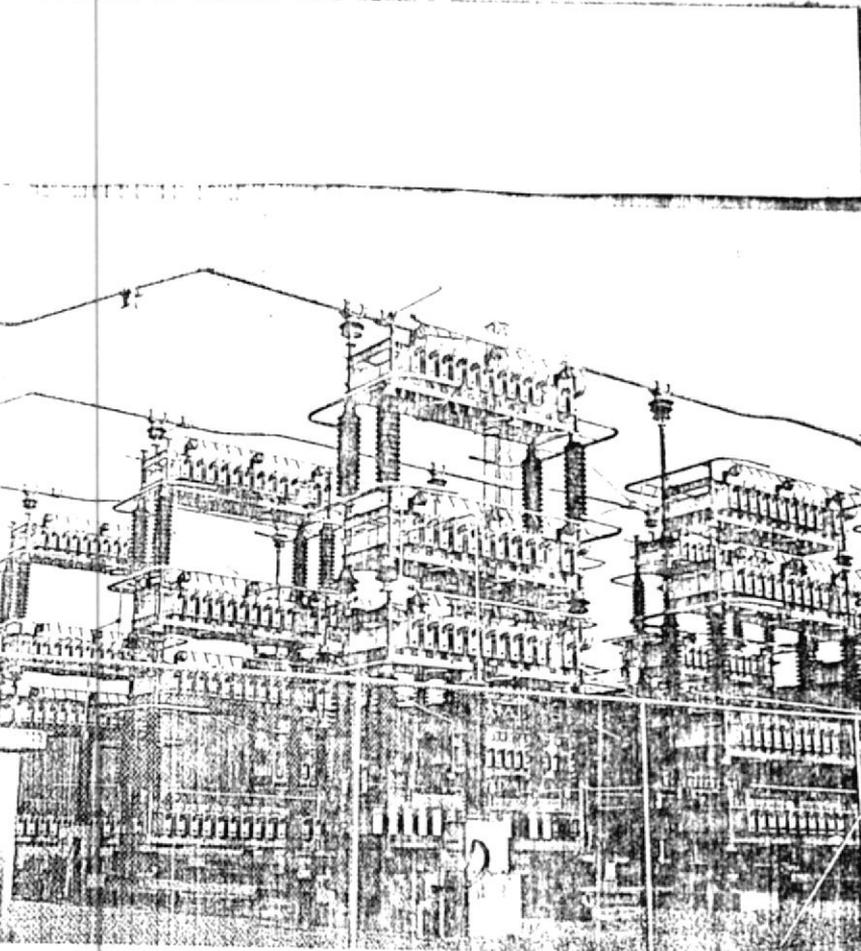
Los capacitores de bajo voltaje usando dieléctrico KRAFT-PAPER, opera con pérdidas de 3 W/KVAR.

### Capacitores para Baja Tensión



BIBLIOTECA

### Capacitores para Baja Tensión



### CAPITULO III

#### 3 .VENTAJAS Y CALCULOS CORRECCION FACTOR DE POTENCIA.-

##### 3.1. VENTAJAS DE LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.-

###### COSTO DE ENERGIA ELECTRICA MAS BAJO.-

Una compañía de energía eléctrica tiene que proporcionar la potencia necesaria a todos sus consumidores, - incluyendo sus requerimientos de potencia reactiva, - la cual no registran los medidores de kilowatios-hora de la compañía, para poder abastecer estos requerimientos la compañía de energía tiene que invertir dinero extra en equipo mayor, tales como generadores, líneas de transmisión, transformadores y demás equipo por el cual la compañía no tiene ninguna utilidad directa. Un equipo más pequeño, suficiente para los requerimientos de energía registrados por los medidores de kilowatios-hora, se sobrecargaría por las corrientes adicionales requerida para la potencia reactiva, - además un conductor delgado ofrece más resistencia - que un conductor grueso, aumentando de esta manera - las pérdidas de potencia y caídas de voltaje en el sistema de distribución de la compañía.

Por consiguiente, la mayor parte de las compañías de energía eléctrica se compensan por este gasto extra, incluyendo en sus tarifas cláusulas con penalidades por bajo factor de potencia.

El costo de la potencia reactiva puede llegar a ocupar un alto porcentaje de la factura mensual.

El consumidor que se proporciona su propia potencia reactiva instalando capacitores, puede gozar de una economía substancial.

Para poder notar las ganancias obtenibles con la instalación de capacitores, consideremos un caso típico de una planta industrial con un factor de potencia de 70%. La tarifa de la compañía que le suministra energía eléctrica contiene un cargo por demanda facturable hasta los 1.000 Kw. de S/.641,59 por KW, además de los cargos por energía consumida de: S/. 20,91 por kilowatios-hora de consumo mensual. Los cargos de energía consumida se basan en el número total de kilowatios-hora de potencia real que la compañía tiene que proporcionar durante cierto período de tiempo.

Además, la cláusula de la tarifa con la penalidad por bajo factor de potencia, requiere que la facturación sea ajustada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Planilla a cobrar} = \frac{\text{consumo (Kw-hora)} \times 0.90 \text{ (fp E.E.E)}}{\text{Factor de potencia medido}}$$

De acuerdo con la facturación por uso de energía eléctrica, en un mes promedio la planta alcanzó una demanda de 94 KW y un consumo de 20.720 Kw/hora -- (KwH), el factor de potencia de la planta es de 70%. La factura mensual que la compañía de energía eléctrica le computa es la siguiente:

CONSUMO

20.720 Kw-H á S/. 20.91 = S/. 433.255,20

94 Kw (demanda de facturación)

á S/. 641,59

60.309,46

S/. 493.564,66

Planilla a cobrar =  $\frac{\text{Consumo} \times 0,90 \text{ (f.p. E.E.E.)}}{0,70 \text{ (f. p. medio)}}$

$$= \frac{493.564,66 \times 0,9}{0,7} = \text{S}/.634.583,14$$

$$= \text{S}/. 634.583,14$$

Ahora, veamos los cambios en la facturación mensual -  
a mejorar el factor de potencia a 90%

$$\text{Planilla a cobrar} = \frac{493.564,66 \times 0,9}{0,9} = \text{S}/. 493.564,66$$

De esta manera, mejorando el factor de potencia, se -  
ha logrado una reducción en el valor de la planilla -  
mensual de S/. 141.018,48.

Los KVAR en capacitores estáticos, necesarios para me-  
jorar el factor de potencia de 70% a 90% se determi-  
nan de la siguiente manera: de acuerdo a la tabla #2.

$$94 \text{ Kw} \times 0,536 = 50 \text{ KVAR}$$

Asumiendo que el costo de los capacitores estáticos,  
instalados, es de S/. 25.000,00 por KVAR , los 50 KVAR  
en capacitores costarían S/. 1'250.000,00. Estos se -  
pagarían en menos de 9 meses, con el ahorro de - -  
S/. 141.018,48 en la factura mensual por energía eléc

**TABLA 2. MULTIPLICADORES DE KW PARA DETERMINAR LOS KILOWATTS EN CAPACITORES REQUERIDOS PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA**

Factor de potencia inicial	Factor de potencia corregido																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.138	1.164	1.190	1.216	1.242	1.268	1.294	1.320	1.346	1.372	1.398	1.424	1.450	1.476	1.502
1	0.957	0.967	0.974	0.981	0.987	0.993	0.999	1.005	1.011	1.017	1.023	1.029	1.035	1.041	1.047	1.053	1.059	1.065	1.071	1.077	1.083
2	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.077	1.103	1.130	1.157	1.184	1.211	1.238	1.265	1.292	1.319	1.346	1.373	1.400	1.427
3	0.810	0.876	0.932	0.978	0.994	0.990	1.007	1.033	1.059	1.085	1.111	1.137	1.163	1.189	1.215	1.241	1.267	1.293	1.319	1.345	1.371
4	0.675	0.835	0.881	0.887	0.913	0.929	0.955	0.982	1.019	1.047	1.075	1.103	1.131	1.159	1.187	1.215	1.243	1.271	1.299	1.327	1.355
5	0.745	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.925	0.951	0.977	1.003	1.029	1.055	1.081	1.107	1.133	1.159	1.185	1.211	1.237	1.263	1.289
6	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.966	0.993	1.020	1.047	1.074	1.101	1.128	1.155	1.182	1.209	1.236	1.263
7	0.662	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.929	0.956	0.983	1.010	1.037	1.064	1.091	1.118	1.145	1.172	1.199	1.226
8	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.891	0.918	0.945	0.972	0.999	1.026	1.053	1.080	1.107	1.134	1.161	1.188
9	0.615	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.855	0.882	0.909	0.935	0.962	0.989	1.016	1.043	1.070	1.097	1.124	1.151
0	0.553	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.792	0.818	0.844	0.870	0.896	0.922	0.948	0.974	1.000	1.026	1.052	1.078	1.104
1	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.705	0.731	0.757	0.783	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.965	0.991	1.017	1.043	1.069
2	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.725	0.751	0.777	0.803	0.829	0.855	0.881	0.907	0.933	0.959	0.985	1.011	1.037
3	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.848	0.874	0.900	0.926	0.952	0.978	1.004
4	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.660	0.686	0.712	0.738	0.764	0.790	0.816	0.842	0.868	0.894	0.920	0.946	0.972
5	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.628	0.654	0.680	0.706	0.732	0.758	0.784	0.810	0.836	0.862	0.888	0.914	0.940
6	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.597	0.623	0.649	0.675	0.701	0.727	0.753	0.779	0.805	0.831	0.857	0.883	0.909
7	0.356	0.382	0.408	0.434	0.460	0.486	0.512	0.538	0.564	0.590	0.616	0.642	0.668	0.694	0.720	0.746	0.772	0.798	0.824	0.850	0.876
8	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.484	0.510	0.536	0.562	0.588	0.614	0.640	0.666	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.848
9	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.455	0.481	0.507	0.533	0.559	0.585	0.611	0.637	0.663	0.689	0.715	0.741	0.767	0.793	0.819
0	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.506	0.532	0.558	0.584	0.610	0.636	0.662	0.688	0.714	0.740	0.766	0.792
1	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.478	0.504	0.530	0.556	0.582	0.608	0.634	0.660	0.686	0.712	0.738	0.764
2	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.450	0.476	0.502	0.528	0.554	0.580	0.606	0.632	0.658	0.684	0.710	0.736
3	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.395	0.421	0.447	0.473	0.500	0.526	0.552	0.578	0.604	0.630	0.656	0.682	0.708
4	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.368	0.394	0.420	0.446	0.472	0.498	0.524	0.550	0.576	0.602	0.628	0.654	0.680
5	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.288	0.315	0.342	0.368	0.394	0.420	0.446	0.472	0.498	0.524	0.550	0.576	0.602	0.628	0.654
6	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.427	0.455	0.483	0.511	0.539	0.567	0.595	0.623	0.651
7	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.401	0.429	0.457	0.485	0.513	0.541	0.569	0.597	0.625
8	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.372	0.400	0.428	0.456	0.484	0.512	0.540	0.568	0.596
9	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.348	0.376	0.404	0.432	0.460	0.488	0.516	0.544	0.572
0	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.265	0.294	0.324	0.354	0.384	0.414	0.444	0.474	0.504	0.534	0.564
1		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.296	0.324	0.352	0.380	0.408	0.436	0.464	0.492	0.520
2			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.270	0.298	0.326	0.354	0.382	0.410	0.438	0.466	0.494
3				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.244	0.272	0.300	0.328	0.356	0.384	0.412	0.440	0.468
4					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.218	0.246	0.274	0.302	0.330	0.358	0.386	0.414	0.442
5						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.222	0.250	0.278	0.306	0.334	0.362	0.390	0.418
6							0.000	0.025	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.195	0.223	0.251	0.279	0.307	0.335	0.363	0.391
7								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.170	0.200	0.228	0.256	0.284	0.312	0.340	0.368
8									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.144	0.174	0.204	0.234	0.264	0.294	0.324	0.354
9										0.000	0.028	0.056	0.085	0.117	0.149	0.183	0.217	0.251	0.285	0.319	0.353
0											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.189	0.223	0.257	0.291	0.325
1												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.161	0.195	0.229	0.263	0.297
2													0.000	0.031	0.062	0.097	0.131	0.165	0.199	0.233	0.267
3														0.000	0.032	0.066	0.100	0.134	0.168	0.202	0.236
4															0.000	0.034	0.071	0.112	0.150	0.188	0.226
5																0.000	0.037	0.079	0.126	0.173	0.220
6																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.212
7																		0.000	0.048	0.108	0.181
8																			0.000	0.050	0.203
9																				0.000	0.143
																					0.000



trica. Después de estos 9 meses los ahorros mensuales continúan sin ningún costo adicional por corrección. Sí el factor de potencia se mejorara al 95% del caso anterior, los cargos por demanda a facturarse se reducirían aún más.

#### MEJOR EFICIENCIA ELECTRICA.-

Otra de las ventajas obtenibles al mejorar el factor de potencia son las relacionadas con el mejor funcionamiento del equipo eléctrico al no encontrarse ya -recargado por el exceso de potencia reactiva.

#### AUMENTO EN LA CAPACIDAD DEL SISTEMA.-

La potencia reactiva empleada por circuitos inductivos consiste de una corriente reactiva (corriente --magnetizante) multiplicada por el voltaje de las líneas de alimentación.

Cuando el número de aparatos inductivos que necesitan potencia reactiva se aumentan, aumenta también la potencia (y corriente) reactiva total y el factor de potencia se reduce.

Cada unidad de equipo inductivo que se agrega al sistema forma parte de los requerimientos de potencia reactiva del mismo.

Al mejorar el factor de potencia, se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente fluía a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables.

Capacitores para corrección del factor de potencia ins

talados directamente a los terminales de las cargas inductivas, como motores, generan casi toda la potencia reactiva necesaria para originar los campos magnéticos de las mismas, reduciendo o eliminando la necesidad de obtener esta clase de potencia del sistema de distribución.

Por ejemplo, si cuatro motores operan a un factor de 75% al corregirlo a 95% relevará la capacidad del sistema suficientemente para acomodar otro motor del mismo tamaño.

En casos que transformadores y circuitos estén sobrecargados, al instalar capacitores en los diferentes centros de carga inductiva reactiva se aumenta la capacidad del sistema, o se le alivia de la sobrecarga, permitiéndosele servir a equipos adicionales.

La instalación de capacitores puede, en muchos casos eliminar la necesidad de instalar transformadores de fuerza mayores, realumbrar la planta, y posiblemente ambas cosas.

#### MEJORA EN LA CALIDAD DEL VOLTAJE.-

Un bajo factor de potencia puede reducir el voltaje de la planta, cuando se toma corriente reactiva de las líneas de alimentación. Cuando el factor de potencia se reduce, la corriente total de la línea aumenta (debido a mayor corriente reactiva), causando mayor caída de voltaje a través de la resistencia de la línea.



BIBLIOTECA

Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que fluye por la misma multiplicada por la resistencia de la línea. A mayor corriente mayor caída de voltaje.

#### REDUCCION EN LAS PERDIDAS DE POTENCIA.-

Un bajo factor de potencia también causa pérdidas de potencia en las líneas de distribución. La corriente de alimentación, a un bajo factor de potencia, es alta debido a la presencia de la corriente reactiva. Cualquier reducción de la misma dá como resultado menores pérdidas de kilowatios en la línea.

Los capacitores, al reducir o eliminar la corriente reactiva de los alimentadores, ayudan a economizar cantidades substanciales de dinero.

### 3.2.- CONSIDERACIONES Y CALCULOS NECESARIOS PARA LA CORREC CION DEL FACTOR DE POTENCIA EN EL EDIFICIO DEL BANCO CONTINENTAL.

#### CALCULOS EFECTUADOS.-

P = Potencia activa (demanda en Kw)

Q = Potencia reactiva en KVAR

fp =  $\cos \theta$  = Factor de potencia

#### CALCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA ACTIVA.-

De los gráficos de corriente se observa que el valor promedio de corriente es de 1.600 Amp., cuyo valor permanece constante durante las horas laborables, siendo en ese lapso el voltaje de línea 220 voltios

y el factor de potencia 0,85.

De donde:

$$P = \sqrt{3} \quad VI \quad \text{Cos } \theta$$

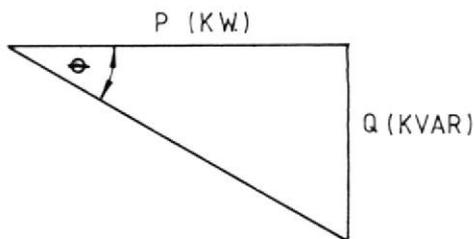
$$P = 1,73 \times 220 \times 1.600 \times 0,85$$

$$P = 517,616 \text{ Kw.}$$

#### CALCULO DE LA COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA.-

De acuerdo a los requerimientos de la Empresa Eléctrica local (EMELEC), el factor de potencia mínimo para que no haya recargo por bajo factor de potencia en sus planillas es de 0,9, pero el cálculo de la compensación de potencia reactiva se los calculó para un factor de potencia de 0,95 ya que se iba a incrementar potencia.

#### DEL TRIANGULO DE POTENCIA.-



$$\text{tag } \theta = \frac{Q}{P}$$

$$Q = P \text{ tag } \theta$$

$$\text{fp (compensado)} = 0,95 = \text{Cos } \theta$$

$$\theta = \text{Arc. Cos. } 0,95$$

$$Q = 517,616 \times \text{tag (arc. Cos } 0,95)$$

$$Q = 170,19 \text{ KVAR}$$

PARA FACTOR DE POTENCIA: 0,85

$$Q = 517,616 \times \text{tag (arc. Cos } 0,85)$$

$$Q = 320,92$$

POTENCIA REACTIVA A COMPENSARSE.

$$\begin{aligned} Q_{(0.85)} - Q_{0,95} &= 320,92 - 170,29 \\ &= 150,63 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

ESPECIFICACIONES DEL BANCO DE CAPACITORES.-

El equipo de compensación deberá tener las siguientes características:

CAPACIDAD TOTAL : 150 KVAR (15 x 10 KVAR)

VOLTAJE : 220 Voltios

CONTROL : Automático de potencia reactiva

NUMERO DE PASOS

DE CONTROL : 6

REGULACION : 1:2:3:3:3:3

Cada paso deberá tener protección individual con fusibles y entrará a formar parte del banco de manera automática por medio de contactores, cuya bobina será energizada por el control de potencia reactiva.

El circuito de control de los contactores deberá tener protección por medio de fusibles adecuados de acuerdo a las características del equipo.

El control automático de reactivo (relé) recibirá señal a través de un transformador de corriente - - (2.000 : 5) y de voltaje directamente del lado de baja tensión de los transformadores de distribución.

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO DEL  
BANCO CONTINENTAL.  
(SIN EL EQUIPO DE COMPENSACION).

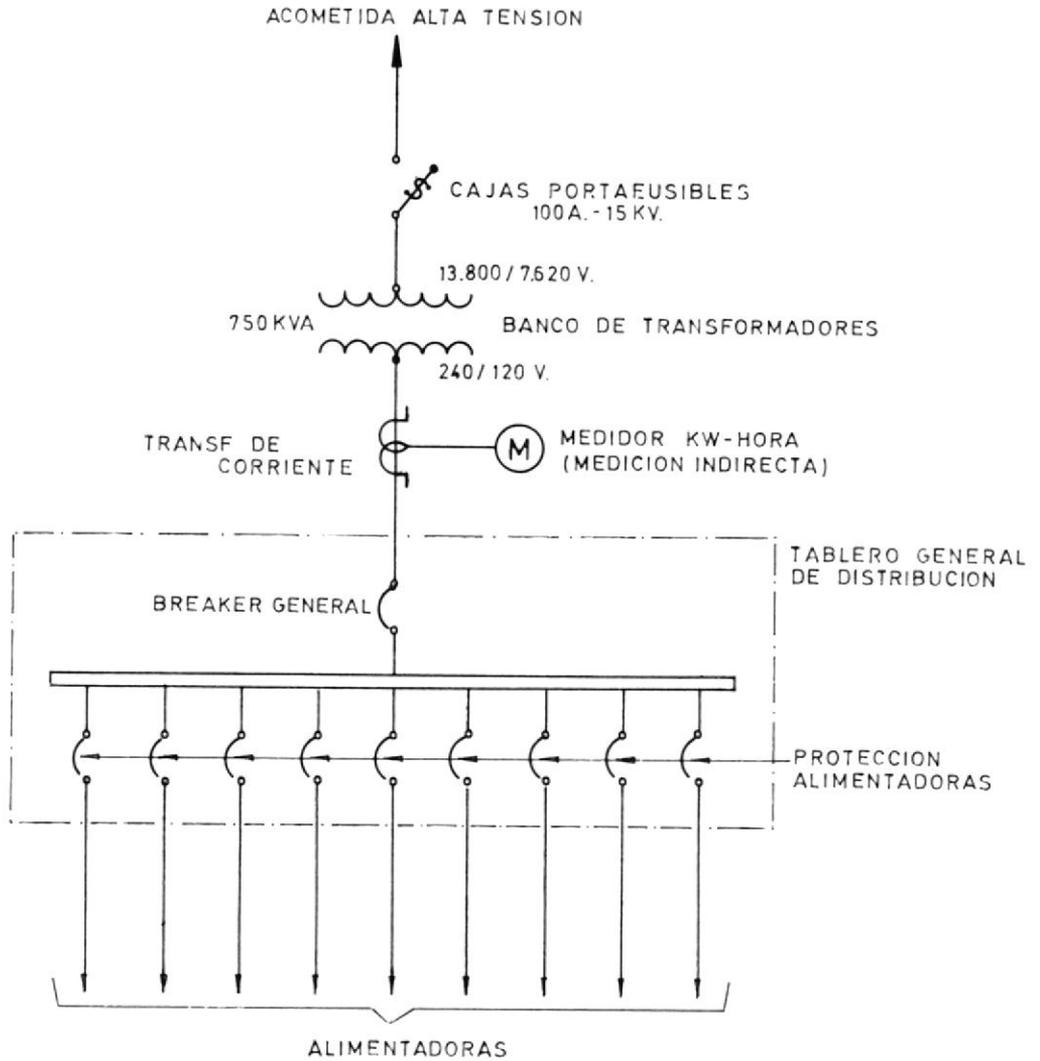


FIG. # 13

Regulacion 1:1:1:1:1:1

Nr	Banco 1 10KVAR	Banco 2 10KVAR	Banco 3 10KVAR	Banco 4 10KVAR	Banco 5 10KVAR	Banco 6 10KVAR	Potencia Paso conectada Nr en KVAR
X							1 10
X	X						2 20
X	X	X					3 30
X	X	X	X				4 40
X	X	X	X	X			5 50
X	X	X	X	X	X		6 60

Regulacion 1:1:2:2:2:2

Nr	Banco 1 10KVAR	Banco 2 20KVAR	Banco 3 20KVAR	Banco 4 20KVAR	Banco 5 20KVAR	Banco 6 20KVAR	Potencia Paso conectada Nr en KVAR
X							1 10
X	X						2 20
X		X					3 30
X	X	X					4 40
X		X	X				5 50
X	X	X	X				6 60
X		X	X	X			7 70
X	X	X	X	X			8 80
X		X	X	X	X		9 90
X	X	X	X	X	X		10 100

Regulacion 1:2:2:2:2:2

Nr	Banco 1 20KVAR	Banco 2 20KVAR	Banco 3 20KVAR	Banco 4 20KVAR	Banco 5 20KVAR	Banco 6 20KVAR	Potencia Paso conectada Nr en KVAR
X							1 10
	X						2 20
X	X						3 30
	X	X					4 40
X	X	X					5 50
	X	X	X				6 60
X	X	X	X				7 70
	X	X	X	X			8 80
X	X	X	X	X			9 90
	X	X	X	X	X		10 100
X	X	X	X	X	X		11 110

Regulacion 1:2:4:4:4:4

Nr	Banco 1 10KVAR	Banco 2 20KVAR	Banco 3 40KVAR	Banco 4 40KVAR	Banco 5 40KVAR	Banco 6 40KVAR	Potencia Paso conectada Nr en KVAR
X							1 10
		X					2 20
X		X					3 30
			X				4 40
X			X	X			5 50
		X	X	X			6 60
X		X	X	X			7 70
			X	X			8 80
X			X	X	X		9 90
		X	X	X	X		10 100
X		X	X	X	X		11 110
			X	X	X	X	12 120
X			X	X	X	X	13 130
		X	X	X	X	X	14 140
X		X	X	X	X	X	15 150
			X	X	X	X	16 160
X			X	X	X	X	17 170
		X	X	X	X	X	18 180
X		X	X	X	X	X	19 190



Regulacion 1:2:3:3:3:3

Nr	Banco 1 10KVAR	Banco 2 20KVAR	Banco 3 30KVAR	Banco 4 30KVAR	Banco 5 30KVAR	Banco 6 30KVAR	Potencia Paso conectada Nr en KVAR
X							1 10
		X					2 20
			X				3 30
X			X				4 40
		X	X				5 50
X		X	X				6 60
			X	X			7 70
		X	X	X			8 80
X		X	X	X			9 90
			X	X	X		10 100
X		X	X	X	X		11 110
		X	X	X	X	X	12 120
X		X	X	X	X	X	13 130
		X	X	X	X	X	14 140
X		X	X	X	X	X	15 150

CALCULO DE LA ALIMENTADORA AL BANCO DE CAPACITORES

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V}$$

I = Intensidad de corriente para la que debe calcularse los conductores.

$$I = \frac{150.000 \text{ VAR}}{1.73 \times 240 \text{ Volt.}}$$

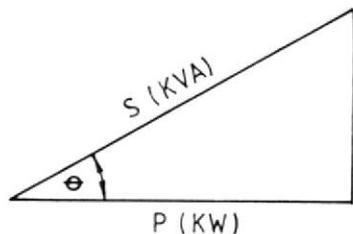
P = Potencia (VAR)

$$I = 361,44 \text{ Amp.} \quad V = \text{Tensión (voltios)}$$

De acuerdo al amperaje obtenido se establece el calibre de los conductores que alimentaran al Banco de Capacitores, que serán las siguientes: 3 conductores de cobre calibre # 600 MCM ó también 6 conductores de cobre calibre # 4/0 (2 conductores por fase).

La protección del Banco de Capacitores será con fusibles para 600 amp.

POTENCIA REAL INSTALADA ANTES DE LA COMPENSACION.-



S = Potencia aparente (KVA)  
Q = Potencia reactiva (KVAR)  
P = Potencia real (KW)

$$\cos \theta = \frac{AB}{AC} = \frac{P \text{ (Kw)}}{S \text{ (KVA)}}$$

$$\begin{aligned} P_1 \text{ (Kw)} &= S \text{ (KVA)} \times \cos \theta \\ &= 750 \text{ (KVA)} \times 0.85 \\ &= 637,50 \end{aligned}$$

$$P_1 = 637,50 \text{ Kw.}$$

POTENCIA REAL INSTALADA DESPUES DE LA COMPENSACION.-

$$\text{Cos } \theta = \frac{P \text{ (Kw)}}{S \text{ (KVA)}}$$

$$\begin{aligned} P_2 \text{ (Kw)} &= S \text{ (KVA)} \times \text{Cos } \theta \\ &= 750 \text{ (KVA)} \times 0.95 \\ &= 712,50 \end{aligned}$$

$$P_2 = 712,50 \text{ Kw}$$

De donde:

$$\begin{aligned} P \text{ (aumentada)} &= P_2 - P_1 \\ &= 712,50 - 637,50 \\ &= 75 \text{ Kw.} \end{aligned}$$

Observamos que se ha aumentado la capacidad de potencia real del banco de transformadores, y a su vez la capacidad de reserva.

Capacidad de reserva antes de la compensación

$$\begin{aligned} \text{Reserva} &= 637,50 \text{ Kw} - 517,50 \text{ Kw.} \\ &= 120 \text{ Kw.} \end{aligned}$$

Capacidad de reserva después de la compensación

$$\begin{aligned} \text{Reserva} &= 712,50 \text{ Kw} - 517,50 \text{ Kw.} \\ &= 195 \text{ Kw.} \end{aligned}$$

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO DEL BANCO CONTINENTAL, CON EL EQUIPO DE COMPENSACION.

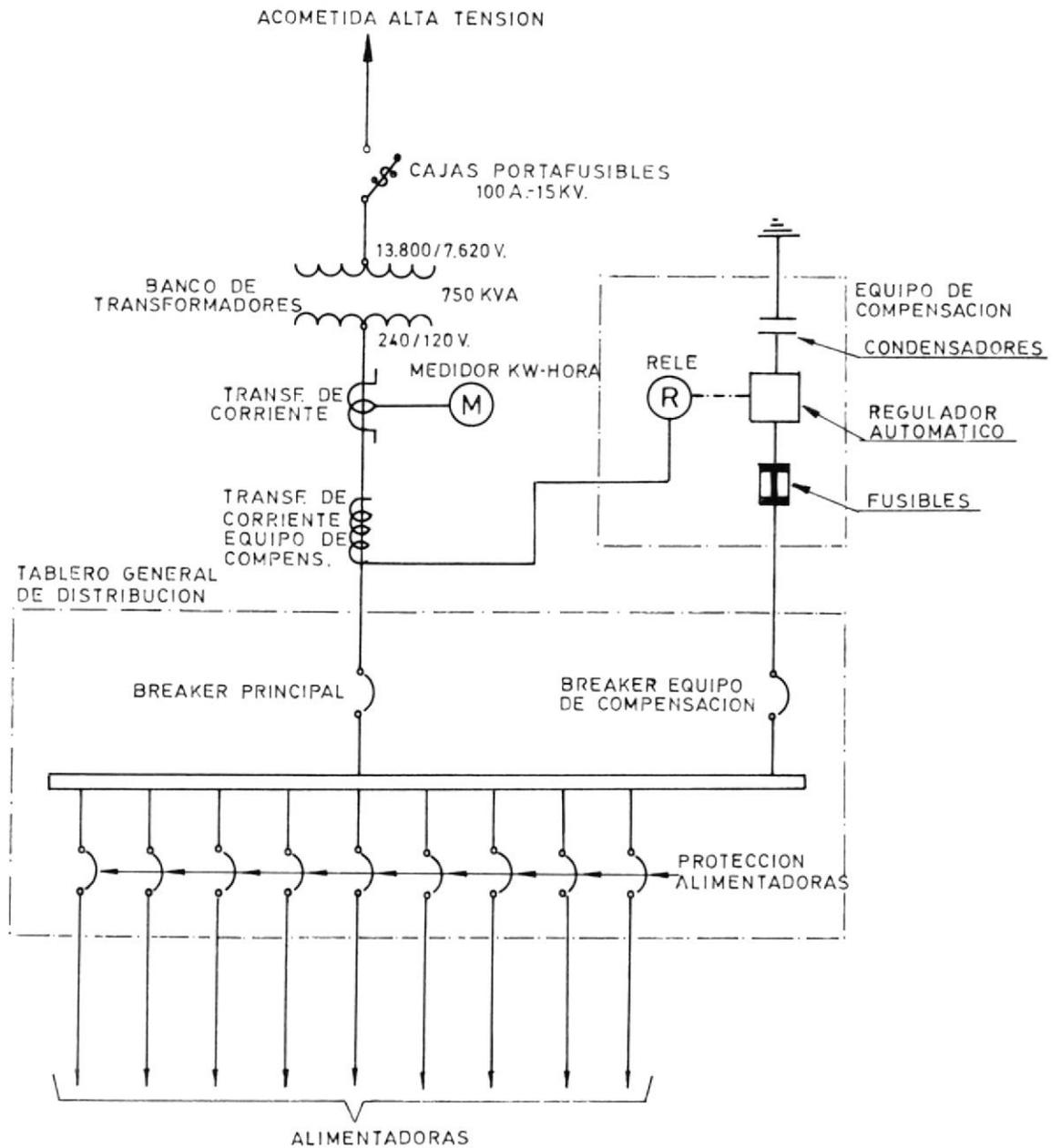


FIG. # 14

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.-

Generalmente se cree que la instalación de compensación del factor de potencia y los gastos que comporta sólo sirven para eliminar una pesada imposición de las compañías de distribución que recurren a los recargos previstos para percibir cantidades superiores a las que pagaría normalmente el usuario, lo cual no corresponde a la realidad, ya que la compañía no hace más que cobrar una indemnización por el perjuicio efectivo que le causa el usuario que consume mal y que obliga a la compañía a utilizar máquinas de potencia muy superior a la suficiente para proveer a las necesidades efectivas de las instalaciones alimentadas y no permite el completo aprovechamiento de las redes de distribución. De hecho el 90% de los casos la causa determinante de la aplicación de una instalación de compensación del factor de potencia es el recargo impuesto por un  $\cos \phi$  bajo, pero hay que considerar que no sólo está impuesta por este hecho, sino que constituye la única solución que permite resolver un determinado problema, irresoluble de cualquier otra manera.

En nuestro caso (Banco Continental), de acuerdo a los resultados obtenidos, tenemos que además de evitar los recargos económicos en las planillas de consumo de energía eléctrica, se aumenta la capacidad de potencia activa del Banco de Transformadores (712,50KW),

y como es lógico aumenta la capacidad de reserva de potencia activa de 120 Kw. a 195 Kw. o sea que podremos aumentar máquinas eléctricas hasta una capacidad de 195 Kw. sin que tenga que aumentar la capacidad del Banco de transformadores o de añadir alguna otra línea a la alimentadora al tablero general de distribución, reducción de las pérdidas (Kw) en las líneas alimentadoras y por lo tanto mejora la calidad del voltaje puesto que se reduce la caída de voltaje de las mediciones efectuadas durante un día laborable (21 de Diciembre), en una época del año que hay mayor demanda de energía eléctrica, el valor promedio de la corriente permaneció constante, y siendo la mayoría de los motores de mediana y pequeña potencia se decidió a utilizar el método de compensación centralizada con sistema de regulación automática.

En este caso el banco de condensadores debe instalarse en el punto de entrada de la línea de alimentación al tablero general de distribución, de acuerdo al diagrama unifilar.

De todo lo descrito anteriormente se concluye que con la mejora del factor de potencia siempre habría una economía considerable que se notará con el tiempo y permite una utilización más racional de la instalación.

## BIBLIOGRAFIA

- Guía para corrección del Factor de Potencia para el ingeniero de Planta (Dpto. de Capacitores Industriales).  
SPRAGUE ELECTRIC COMPANY.
- Manual Standar del Ingeniero Eléctrico  
(A.E. KNOWLTON).
- Instalaciones eléctricas de iluminación y fuerza motriz (ENZO COPPI).
- Motores eléctricos industriales y dispositivos de control (F.T. BARTHO).
- Código Eléctrico Nacional Americano.



A.F. 142675