

**CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA**

**DE LA**

**INDUSTRIA TEXTIL "SAN VICENTE"**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO**

**EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA DE LA**

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

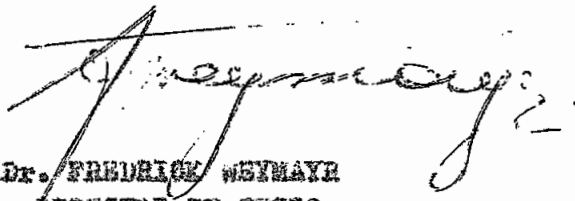
**QUITO, MAYO DE 1.964**

—oocoo)—o—(oooc—



A MIS PADRES Y HERMANOS

CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS FUE REALIZADA POR EL SEÑOR RAUL A. BONILLA HERNANDEZ.



Dr. FREDRICK WEIMAYR  
DIRECTOR DE TESIS

—000000)—0—(000000—

INDICE DE MATERIAS

PAG.

PITULO I

Consideraciones generales sobre el Factor de Potencia su influencia en la Industria Eléctrica . . . . .	2
Consideraciones Generales . . . . .	2
Transformadores a vacío o parcialmente cargados.	7
Hornos eléctricos para altas temperaturas sean - de arco o de inducción . . . . .	9
Motores de Inducción de rotor en cortocircuito .	15
Influencia en la Industria Eléctrica de un Factor de potencia bajo . . . . .	24

PITULO II

Diagrama y análisis del circuito existente en esta fá- brica . . . . .	31
Primer Pabellón . . . . .	31
Segundo Pabellón. . . . .	31
Tercer Pabellón . . . . .	32
Cuarto Pabellón . . . . .	32
Análisis del circuito . . . . .	33
Instalaciones . . . . .	38
Primer Pabellón. . . . .	38
Segundo Pabellón . . . . .	42
Tercer Pabellón. . . . .	43
Cuarto Pabellón. . . . .	44

PITULO III

Determinación del Factor de Potencia por secciones y total bajo las condiciones eléctricas actuales . . .	49
Selección del lugar de corrección . . . . .	49
Realización de las medidas. . . . .	55

CAPITULO IV

Sistemas existentes para corrección del Factor de Po- tencia. Elección del método más ventajoso . . . . .	79
Sistemas existentes para la corrección del Factor de potencia . . . . .	79
Condensadores estáticos. . . . .	82
Máquinas sincrónicas . . . . .	85
Efectos de la variación en la carga de una má- quina sincrónica. . . . .	91
Efectos de variar la excitación de las máquinas sincrónicas . . . . .	94
Generadores de inducción . . . . .	99
Motores de inducción sobreescitados . . . . .	102
Elección del método más ventajoso. . . . .	108
Motores asincrónicos de inducción sobreescitados	108
Generadores de inducción. . . . .	108
Máquinas sincrónicas. . . . .	110
Condensadores estáticos . . . . .	112
) Cálculo de la corrección . . . . .	115
Primer Pabellón . . . . .	116
Segundo Pabellón. . . . .	116
Tercer Pabellón . . . . .	117
Cuarto Pabellón . . . . .	118

CAPITULO V

Selección del sistema de control para el equipo de - corrección del Factor de Potencia y características del mismo. . . . .	122
Tipos de control automático. . . . .	123
Control de tensión. . . . .	123
Control de corriente. . . . .	124
Control de potencia reactiva. . . . .	125
Control de tiempo . . . . .	128
Control de temperatura. . . . .	128

	PAG.
Plan del control más adecuado a esta industria	129
de control . . . . .	131
Primer Pabellón . . . . .	131
Segundo Pabellón. . . . .	134
Tercer Pabellón . . . . .	136
Cuarto Pabellón . . . . .	137
Instalación . . . . .	138
Conexión . . . . .	140
Medios de conexión . . . . .	142

VI

Plan del coste de la instalación recomendada - secuencia del estudio anterior . . . . .	146
Selecciones . . . . .	146
General . . . . .	146
Condensadores . . . . .	147
Elevadores, contactores, pulsadores, luces pi- to . . . . .	147
Transformadores de intensidad . . . . .	148
del equipo . . . . .	148

VII

Medidas y recomendaciones . . . . .	154
Medidas . . . . .	154
Precauciones. . . . .	157
Resistencias de descarga. . . . .	157
Terminología . . . . .	165

## INDICE DE TABLAS, ESQUEMAS Y DIAGRAMAS

	PAQ.
Diagrama del circuito eléctrico . . . . .	47
Tablas de medida de carga y factor de potencia. .	57
Diagramas de carga y factor de potencia . . . . .	77
Diagramas funcionales de la compensación. . . . .	139
Esquema de alabrado del control automático . . .	144
Esquema de instalación del primer pabellón. . . .	162
Esquemas de instalación, pabellones segundo y ter cero . . . . .	163
Esquemas de instalación cuarto pabellón . . . . .	164

**CAPITULO PRIMERO**

---

---



120

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR DE POTENCIA Y SU INFLUEN  
CIA EN LA INDUSTRIA ELECTRICA.

Los circuitos de corriente alterna traen consigo el problema del desfaseamiento entre corrientes y tensiones.

Este desfaseamiento es el ángulo de diferencia, en fase de tiempo, en los valores instantáneos de las magnitudes mencionadas, éste es el ángulo  $\varphi$ .

En corriente alterna son muy raros los casos en los que la tensión y la intensidad están en fase, esto solamente sucede en los circuitos resistivos puros, en este caso el ángulo  $\varphi$  es igual a cero y éste es idéntico a un circuito resistivo por el que circula corriente continua.

Este caso, en la práctica, es muy raro que suceda, se podría comparar más bien a un caso de equilibrio mecánico inestable, pequeños valores de capacidad o inductancia dentro del circuito son suficientes para que este equilibrio desaparezca y el circuito se vuelva capacitivo o inductivo, respectivamente.

Si consideramos ahora un circuito de corriente alterna como un estado transitorio de un circuito de corriente continua por el que circule una corriente sinusoidal y que contenga los parámetros  $L$  o  $C$  podemos deducir qué valor y qué ángulo de fase tiene la corriente con respecto a la tensión:

$$e = -L \frac{di}{dt} = V_m \sin \omega t$$

$$di = - \frac{V_m}{L} \sin \omega t dt$$

Integrando:

$$i = \frac{V_M}{L} \cos \omega t = \frac{V_M}{L} \operatorname{sen} (\omega t - 90^\circ)$$

$$i = I_M \operatorname{sen} (\omega t - 90^\circ)$$

En esta última ecuación se puede ver que la corriente atrasa un ángulo de  $90^\circ$  eléctricos con respecto a la tensión.

Haciendo algo similar en un circuito que contenga capacidad tiene que:

$$v = \frac{q}{C} = V_M \operatorname{sen} \omega t.$$

$$q = V_M \operatorname{sen} \omega t \cdot C$$

Derivando con respecto al tiempo:

$$\frac{dq}{dt} = C V_M \omega \cos \omega t$$

Però:

$$\frac{dq}{dt} = i$$

Luego:

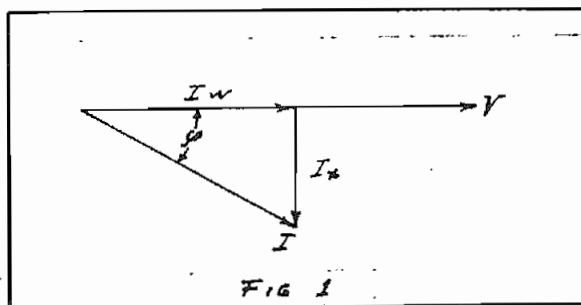
$$i = \omega C V_M \operatorname{sen} (\omega t + 90^\circ) \text{ y si } I_M = \frac{V_M}{\frac{1}{\omega C}} \text{ queda:}$$

$$i = I_M \operatorname{sen} (\omega t + 90^\circ)$$

En este caso la corriente adelanta  $90^\circ$  con respecto a la tensión. ①

Ninguno de los casos mencionados ocurren en la práctica salvo raras excepciones, lo que más comúnmente se encuentra en los circuitos, son combinaciones de estos parámetros que dan ángulos de desfase que pueden variar entre  $90^\circ$  en adelante,  $0^\circ$  y  $90^\circ$  en retraso.

Si representamos en un diagrama vectorial, una corriente desfasada un ángulo  $\varphi$  cualquiera, tomando la tensión como vector de referencia, veremos que la corriente puede descomponerse según los ejes en dos componentes:  $I_w$  en fase con la tensión, e  $I_x$  en cuadratura con ella, sea que el ángulo  $\varphi$  se encuentre en adelanto o en atraso con respecto a la tensión. El valor de cada una de ellas dependerá del valor del ángulo  $\varphi$ .



La componente  $I_w$  es la corriente efectiva del sistema, la que realiza trabajo eléctrico, en cambio la componente en cuadratura, fluctúa solamente entre los generadores y el punto de consumo ocupando las líneas y demás partes componentes del circuito eléctrico.

Considerando ahora la potencia activa en el circuito, tenemos que:

$$P = E \cdot I_w$$

Pero:

$$I_w = I \cos \varphi$$

Luego:

$$P = E \cdot I \cos \varphi$$

El valor  $\cos \varphi$  que es un multiplicando en esta fórmula, es lo

se conoce con el nombre de factor de potencia del circuito, -  
 sendo este valor variar entre 0 y 1, según el valor del ángulo -

De lo anterior se deduce que cuando el ángulo  $\varphi$  es grande el  
 uito no está trabajando en buenas condiciones, sea que la co-  
 nte adelante o atrasa con respecto a la tensión.

Si un circuito tiene un factor de potencia igual a 1 o cerca  
 la unidad indica que toda la corriente que ocupa los conduc-  
 e y demás componentes del circuito está desempeñando un traba-  
 efectivo. Un  $\cos \varphi$  bajo, en cambio, indica que un porcentaje -  
 ño de la corriente que ocupa las partes constitutivas del -  
 uito realiza trabajo efectivo, pero que sigue tan cargado co-  
 m el caso anterior, por tanto, un factor de potencia bajo pro-  
 desventajas en el circuito. Estas desventajas son:

Los conductores por los que circula la corriente tienen mayg  
 pérdidas de potencia ( $I^2 R$ ) debido a que la corriente es ma-  
 a la que realmente se utiliza.

El aislamiento de conductores y aparatos tiene una vida más  
 a porque su temperatura aumenta.

Esto es debido a la disipación en forma de calor de las pér-  
 as  $I^2 R$  que maltratan notablemente las características físicas  
 físicas de estos compuestos, los cuales siempre son afectados  
 la temperatura aún que los aislantes inorgánicos lo sean de -  
 or grado.

La caída de tensión en los conductores y barras ómnibus es :

$$e = I R \cos \varphi + I X \operatorname{sen} \varphi$$

En esta fórmula se puede ver que el término  $I R \cos \varphi$  disminuirá de valor, aparentemente, por la disminución del valor de  $\cos \varphi$  pero en realidad el aumento del valor de la corriente es mayor que la disminución del otro multiplicando. Además, el término  $I X \sin \varphi$  aumenta bastante porque aumentan los valores de  $I$  y de  $\sin \varphi$  para una disminución de  $\cos \varphi$  como resultado se tiene que la caída de tensión se hace mayor en el circuito.

-- Como consecuencia del apartado anterior, la regulación en el sistema se hace mayor ya que la caída de tensión para plena carga es mayor.

-- La corriente mayor produce más pérdidas en el sistema, con lo cual disminuye el rendimiento de conductores, aparatos y motores.

-- Como la intensidad de iluminación de las lámparas incandescentes varía con el cuadrado de la tensión, para una regulación de tensión mayor, será mayor la variación de intensidad luminosa.

-- El torque de los motores de inducción es directamente proporcional al  $\cos \varphi$ , esto significa que rebaja cuando el  $\cos \varphi$  disminuye, disminuyendo también la eficacia del motor.

Debemos considerar que para los efectos, es igualmente desventajoso un factor de potencia malo sea éste en adelante o en atraso.

En la práctica casi no se encuentran sistemas que tengan factor de potencia en adelante, salvo en líneas de transmisión de gran longitud y que trabajen a tensiones muy altas, en líneas subterráneas largas y en algún otro caso.

El más común es el circuito inductivo o factor de potencia en fase que se presenta en casi todo aparato eléctrico, sobre todo equipo industrial.

Todos los aparatos cuyo principio de funcionamiento incluyan circuitos magnéticos tienen factor de potencia inductivo, esto no quiere decir que necesariamente el valor de factor de potencia es bajo.

En la industria eléctrica la mayoría de los aparatos se los busca para trabajar en buenas condiciones dentro de ciertos límites de factor de potencia en atraso (0,80 - 0,85) sobre todo en generadores y transformadores.

El cos  $\phi$  tiene diferente comportamiento según el aparato que se considere. En un transformador disminuye de valor cuando está a vacío o parcialmente cargado.

Otros aparatos por su principio mismo de funcionamiento tienen un factor de potencia bajo como sucede con los hornos eléctricos para altas temperaturas sean de arco o de inducción, y los motores de inducción sean de rotor bobinado o en corto circuito.

Analizando cada uno de estos casos en el aspecto relacionado con el factor de potencia adelantado, se verán las características que posee cada uno de ellos y sus consecuencias en el sistema.

TRANSFORMADORES A VACIO O PARCIALMENTE CARGADOS.



Para analizar más fácilmente el comportamiento de los transformadores en estas condiciones, se hace referencia al diagrama característico de este aparato.

$I_0$  es la corriente magnetizante.

$V_1$  es el voltaje impreso en el primario.

$E_1$  y  $E_2$  son las f.e.m.s. del primario y secundario, respectivamente.

$I_2$  es la corriente en la carga que es menor de la nominal - ya que se hace el análisis para carga parcial.

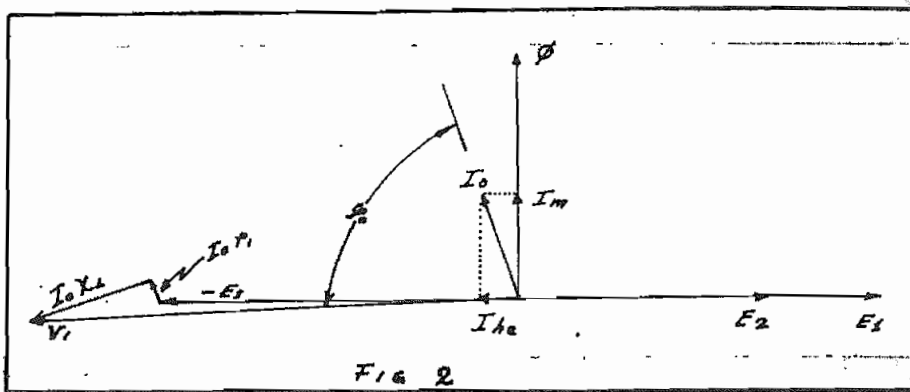


Fig. 2

En el caso del transformador a vacío, el ángulo de desfase - miento entre la tensión y la corriente es el formado entre  $V_1$  e  $I_0$ . El factor de potencia en este caso es malo, ya que lo determina - únicamente la corriente a vacío que en magnitud es pequeña pero es casi exclusivamente corriente inductiva, razón por la que atrasa - a la tensión.

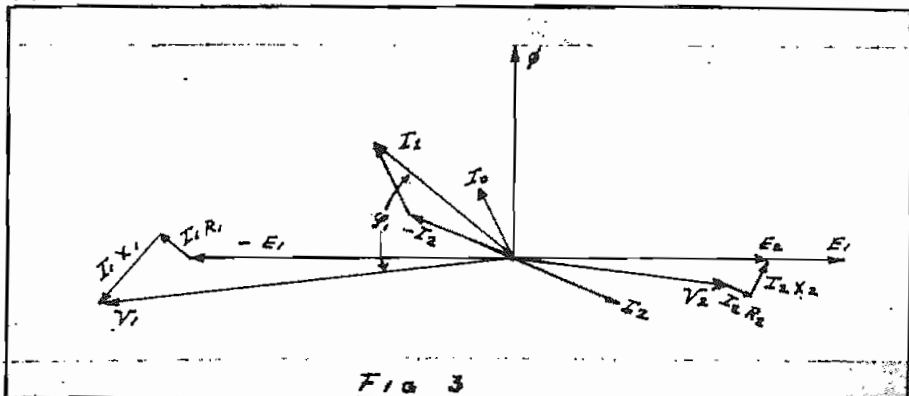


Fig. 3

En el caso de un transformador parcialmente cargado el ángulo  $\varphi$  es menor que en el caso anterior; pero, sin embargo, es excesivo porque la magnitud de la corriente magnetizante es considerable frente a la corriente de la carga que en este caso es pequeña,

lo cual el ángulo  $\varphi$  no será el formado entre la corriente en carga y la tensión en ella sino algo mayor, ya que es la resultante de  $I_0$  y  $-I_2$ .

Estos dos casos realmente no tienen importancia porque si se comparan con las desventajas que produce el factor de potencia, se puede ver que ninguna de éstas se cumple.

Las pérdidas  $I^2R$  son más grandes de las que se producirían tener un  $\varphi$  bueno, pero como los conductores están diseñados para soportar una corriente más alta (la nominal) el problema tiene importancia.

Como el valor de corriente es pequeño, el reducido aumento de temperatura no deteriora los aislantes.

La caída de tensión es nula, a vacío, porque la corriente es cero, en carga parcial habría una pequesísimas caída de tensión al mayor de la normal, pero como en este período la tensión de nominales es alta, lejos de dañar la tensión del sistema se puede decir que lo mejora ya que produce una autoregulación de tensión que sería de valor mínimo.

El rendimiento en estas condiciones sería disminuido en una cantidad muy pequeña, pero es el período en el cual no está el aparato en su potencia nominal, que es cuando se considera la eficiencia del aparato.

LOS ELECTRICOS PARA ALTAS TEMPERATURAS SEAN DE ARCO O DE INDUCCIÓN.

Esta clase de hornos son los utilizados para fundir metales



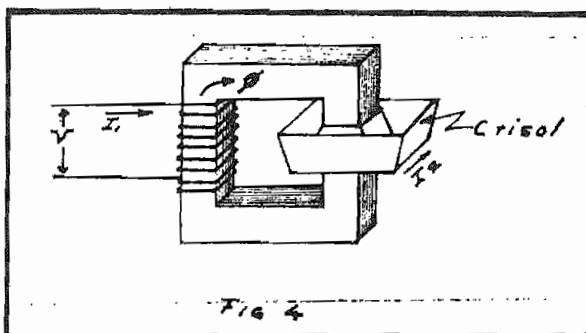
o para realizar procesos de mejoramiento de calidad a partir de los metales recibidos de los altos hornos; tienen aplicación amplia para procesar metales ferrosos y no ferrosos.

Los hornos de arco utilizan electrodos de grafito o carbón metalizado por los que circulan corrientes muy grandes, realizando la fusión de la carga con el arco que entre ellos se produce al circular semejantes corrientes.

Los hornos de inducción, en cambio, pueden ser de dos tipos: uno de ellos es aquel que utiliza un arrollamiento primario en un núcleo de hierro laminado, con muchas espiras; y la carga hace de arrollamiento secundario formado por un crisol toroidal que aloja el material a fundir, el mismo que puede ser ferroso o no.

En los transformadores se cumple la ecuación  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$  de donde:

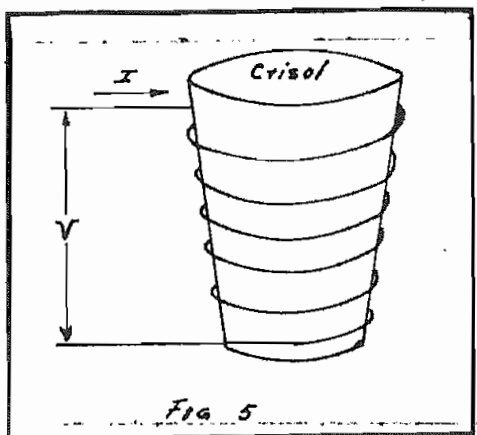
$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$



Como por construcción  $N_2 = 1$  y además  $I_1$  es grande porque la potencia que interviene es elevada,  $I_2$  será del orden de las decenas de kilampereos. Esta corriente circulando por el material a procesar es capaz de elevar la temperatura a valores tan altos como se deseen, el único factor que limita este crecimiento de temperatura es el punto de fusión del material que forma el crisol.

El otro tipo de horno de inducción realiza el aumento de temperatura por pérdidas por histéresis.

Esté formado por una bobina de conductor de sección transversal grande, generalmente tubos, por cuyo interior circula agua para refrigeración del conductor.



Esta bobina rodea al crisol en el que se halla el material a procesar.

En este tipo de horno se usa a veces la misma frecuencia de red de suministro, pero es más común el uso de frecuencias mayores (50 a 20.000 ciclos por seg.), con el fin de producir grandes pérdidas por histéresis en el núcleo o sea en el material a fundir. En este horno, como en el anterior, el aumento de temperatura es teóricamente ilimitado. Prácticamente lo limita el punto de fusión del material que forma el crisol.

Estos dos tipos de hornos de inducción son usados, entre otras ventajas, porque el sentido de circulación de las corrientes dentro del material a procesar crea fuerzas electrodinámicas que producen un movimiento desde el centro hacia la periferia del material que tiende a dar una mezcla uniforme, evitando además calentamientos localizados que son dañinos para los procesos metalúrgicos.

gicos, no producen gases, por lo que no dañan las cualidades de los materiales procesados, y son instalaciones realmente simples para montaje y operación.

Todos los tipos de hornos antes mencionados funcionan con tensiones bajas, máximo 350 Volts. Se limitan a estos valores de tensión porque en los hornos de arco no interesa que el arco sea de gran longitud sino más bien corto, para dar seguridad a los operarios y para que la temperatura desarrollada en el arco tenga mayor penetración en el material a fundir, sin producir calentamientos localizados excesivos y no uniformes.

En los hornos de inducción, en cambio, se utilizan corrientes grandes porque económicamente no interesa tener grandes arrollamientos con altas tensiones, sino, más bien, unas pocas vueltas de conductor de sección grande, lo cual brinda seguridad a los obreros, a la vez que las fuerzas magnetométricas generadas (EI) son grandes.

Para transportar estas grandes corrientes desde el transformador de bajada al horno mismo, se utilizan conductores y barras colectoras de dimensiones exageradamente grandes.

Aunque estas barras deben ser, por su costo, de la menor longitud posible, al estar atravesadas por altas corrientes crean fuertes campos magnéticos en su periferia y en el campo adyacente, produciéndose, en consecuencia, una pérdida grande debido a la inducción mutua. Esta pérdida es una reactancia inductiva propia de este circuito, apareciendo, por tanto, una causa para que esta clase de aparatos tenga un factor de potencia bajo.

Considerando ahora un horno de inducción, el que generalmente trabaja a una frecuencia mayor que la de la red, frecuencia -

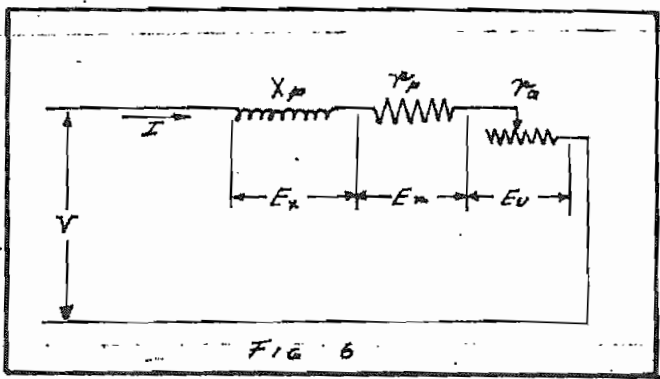
tiene relación directa con la reactancia inductiva ( $X_L = 2\pi fL$ )  
 pues aparece una segunda causa que justifica el factor de potencia bajo de los hornos.

El transformador de bajada que alimenta los hornos, diseñado especialmente para trabajar a corto circuito en el secundario, abbe una corriente magnetizante más grande que desmejora el factor de potencia del conjunto.

Por último, con el fin de limitar el valor del pico de la corriente de trabajo que es del mismo valor de la corriente de cortocircuito (inrush current) se intercalan en el circuito reactores limitadores, lo que equivale a intercalar más reactancia inductiva en el circuito, dando como resultado el  $\cos \varphi$  bajo, ya mencionado.

Tomando en cuenta todas estas causas, se hace un ligero examen analítico para tener un valor de  $\cos \varphi$  de referencia para esos aparatos.

El circuito equivalente para un horno es el siguiente:



Para hornos de arco  $r_a$  sustituye a la resistencia variable que presenta el arco entre los electrodos.

Para hornos de inducción se reemplaza el valor de  $r_a$  por una resistencia y  $r_a$  será igual a cero.

La corriente en este circuito es:

$$I = \frac{E}{\sqrt{X_p^2 + (r_p + r_a)^2}} \quad (1)$$

La potencia:

$$P = I^2 (r_p + r_a) \quad (2)$$

Reemplazando (1) en (2)

$$P = \frac{E^2 (r_p + r_a)}{X_p^2 + (r_p + r_a)^2} \quad (3)$$

Diferenciando con respecto a  $(r_p + r_a)$  e igualando a cero la derivada, tenemos la condición para la cual la ecuación (3), será un máximo.

$$\frac{d}{d(r_p + r_a)} = \frac{E^2 (r_p + r_a) \cdot 2 (r_p + r_a) - E^2 [X_p^2 + (r_p + r_a)^2]}{[X_p^2 + (r_p + r_a)^2]^2}$$

$$E^2 [2 (r_p + r_a)^2 - X_p^2 - (r_p + r_a)^2] = 0$$

$$(r_p + r_a)^2 = X_p^2$$

$$X_p = r_p + r_a \quad (4)$$

Reemplazando este valor de (4) en (3) tenemos:

$$P_{\max} = \frac{E^2 X_p}{X_p^2 + X_p^2} = \frac{E \cdot X_p}{2X_p^2} = \frac{E}{2X_p} \quad (5)$$

El cos  $\varphi$  de este circuito es:

$$\cos \varphi = \frac{r_p + r_a}{\sqrt{X_p^2 + (r_p + r_a)^2}} \quad (6)$$

El  $\cos \varphi$  para la potencia máxima lo obtenemos reemplazando en la ecuación ( 6 ) el valor de la ecuación ( 4 ) y queda:

$$\cos \varphi = \frac{X_p}{\sqrt{X_p^2 + X_p^2}} = \frac{X_p}{\sqrt{2 X_p^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad \textcircled{2}$$

Como se puede ver, en los hornos de arco, el  $\cos \varphi$  para la potencia máxima es bajo teniendo en cuenta que el arco es una carga resistiva pura. Naturalmente para un horno de inducción, para el cual la carga es fuertemente inductiva, el factor de potencia es de menor valor.

#### MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR EN CORTO CIRCUITO.

Los motores asincrónicos de inducción, sobre todo los polifásicos, poseen características que los hacen preferidos a cualquier otro tipo de motor eléctrico, esta preferencia en la industria se debe a las siguientes causas:

- ) Son máquinas eléctricas sumamente sencillas de construirse.
- ) Como todos estos motores carecen de colector, punto débil de los motores de otros tipos, su mantenimiento y reconstrucción es fácil.
- ) La relación de potencia a peso es muy reducida, por esta razón, económicamente son los más usados, aún para fines en los que no son los más recomendados.
- ) Como el campo magnético generado es rotativo, posee un par mecánico propio.
- ) El torque de arranque y el de trabajo son elevados.
- ) Al conectarse a la línea el motor llega rápidamente a su velocidad nominal.

g) Esta velocidad dentro de límites prácticos se la puede considerar constante, aún para variaciones considerables de carga.

Estas propiedades son suficientes para justificar el uso tan generalizado de estos motores. Las desventajas más serias que se pueden anotar para estos motores son: que absorbe una corriente - muy alta en el arranque del motor, generalmente de cinco a diez - veces la corriente nominal.

Esta corriente es marcadamente inductiva, por lo cual tiene un factor de potencia bajo, en atraso. Este factor de potencia - disminuye mientras menor es la velocidad nominal.

Cuando un motor de este tipo trabaja a baja carga su  $\cos \varphi$  - desmejora notablemente.

Estas características de los motores de inducción se pueden variar y de hecho se varían, construyendo motores de características especiales.

Las causas para que un motor de este tipo tenga un  $\cos \varphi$  bajo son perfectamente conocidas, pero al diseñarlos el constructor está en un compromiso en el que tiene que sacrificar algún aspecto ventajoso para mejorar las características mecánicas y poner - las en un equilibrio razonable. Por ejemplo, para una baja corriente de arranque la reactancia del motor debe ser alta, pero para tener un torque máximo alto, la reactancia del motor debe ser baja. En el rotor se necesita un pequeño entrehierro y ranuras pequeñas y cercanas para que la corriente magnetizante sea baja y por consiguiente el factor de potencia de operación sea alto, pero en este caso disminuye el camino del flujo de magnetización, aumenta - la reactancia de todo el motor y desmejora el  $\cos \varphi$  de todo el motor.

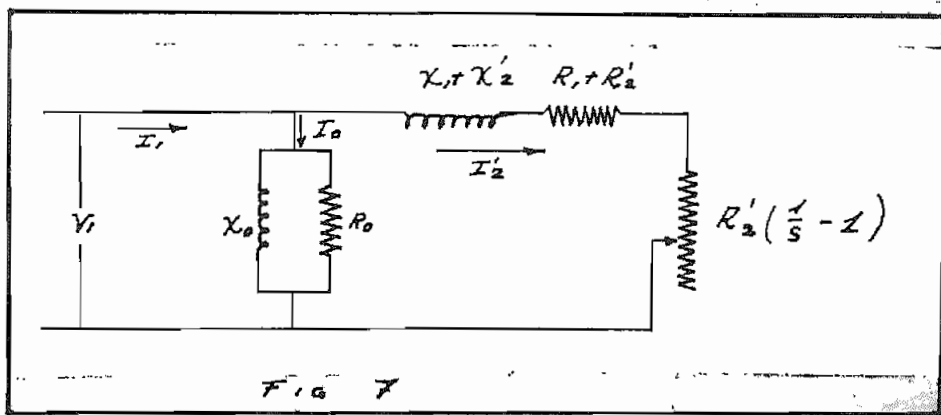
Entre tantos factores opuestos solamente puede conseguir, el motor, un equilibrio que considere ventajoso para el fin al que se destina el motor.

Debido a la importancia de estas máquinas y al objeto de es-  
tudio, vale la pena hacer un estudio más detenido, sobre to-  
das las desventajas que estos motores presentan, en el aspecto  
relacionado únicamente con el factor de potencia ya que un estu-  
dio general estará mejor tratado en textos sobre máquinas eléctri-

Para el estudio propuesto reemplazamos al motor por su cir-  
cuito equivalente, que puede ser representado por un circuito "T"  
con carga (carga mecánica en el eje) sea una resistencia varia-  
ble.

El circuito "T" es el equivalente de un motor de inducción -  
suponiendo que los parámetros de dicho motor se consideren constan-  
tes, esto es, si no se considera la saturación en la máquina. So-  
bajo esta hipótesis el lugar geométrico será un círculo. Este lugar  
está suficientemente aproximado porque el funcionamiento del motor,  
en condiciones normales, se limita a un tercio, aproximadamente  
de este círculo.

El circuito equivalente es:





En el cual:

$X_0$  = Reactancia mutua del motor a vacío.

$R_0$  = Resistencia mutua del motor a vacío.

$X_1$  = Reactancia del estator.

$X_2^1$  = Reactancia del rotor referida al estator.

$R_1$  = Resistencia del estator.

$R_2^1$  = Resistencia del rotor referida al estator.

$\bar{I}_1$  = Corriente de entrada al motor. =  $\bar{I}_0 + \bar{I}_2^1$

$\bar{I}_0$  = Corriente magnetizante del motor (a vacío).

$\bar{I}_2^1$  = Corriente del rotor referida al estator.

$R_2^1 (1/s - 1)$  = Resistencia que representa la carga.

$\bar{V}$  = Tensión a los bornes del motor.

Nos proponemos conocer la variación del  $\cos \varphi$  a partir del arranque para los puntos correspondientes a la potencia máxima desarrollada por el motor, para el punto de torque máximo, para el punto de torque  $T_1$  correspondiente a la carga, para el punto de  $\cos \varphi$  máximo, y para el motor a vacío.

Toda la variación la podemos estudiar a partir del diagrama vectorial en la fig. 8.

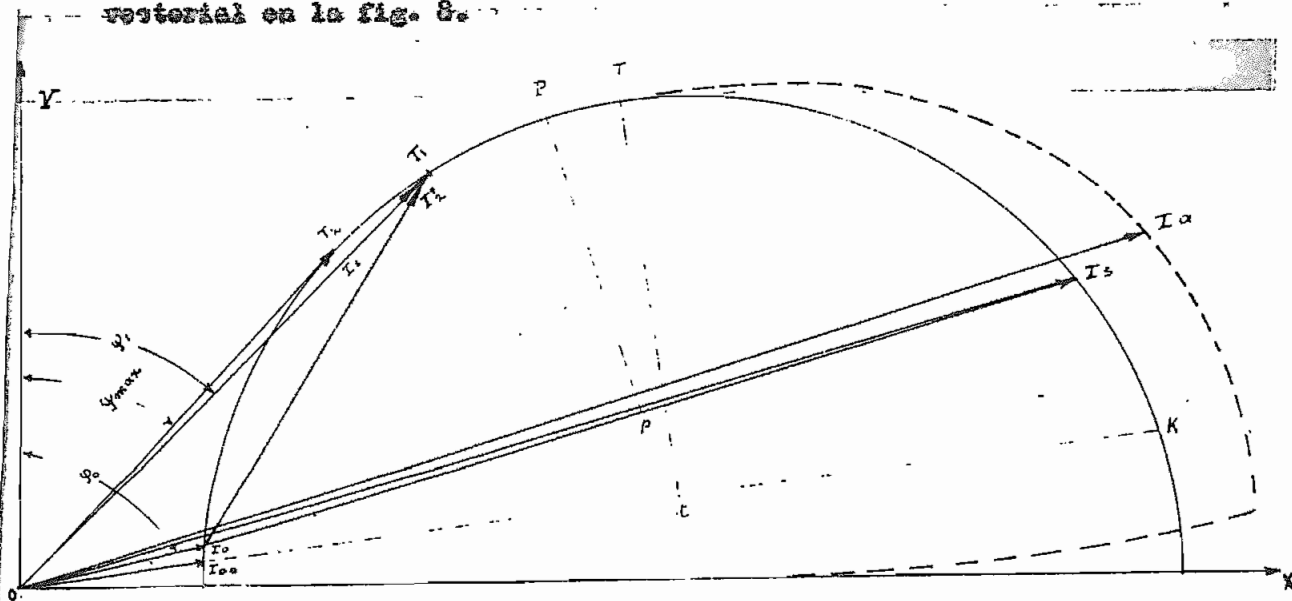


FIG. 8

La construcción misma del diagrama no es el objetivo, por -  
to sólo conoceremos las denominaciones de cada magnitud.

$0-I_0$  representa la corriente que el motor absorbe a vacío.

$0-I_{00}$  es la corriente a vacío cuando el motor gira a veloci-  
sincrónica, o sea cuando  $s = 0$

La línea de potencia máxima se la obtiene trazando una per-  
dicular en el punto medio de la línea  $I_0-I_{00}$ , es la línea  $P-p$ ,  
de el punto  $P$  nos da el valor de la corriente para la potencia  
máxima.

El punto de torque máximo se puede obtener trazando una per-  
dicular en el punto medio de la línea  $I_{00}-K$ , es la línea  $T-t$ ,  
al intersectar el lugar nos da el valor de la corriente para  
torque máximo en el punto  $t$ .

El ángulo  $\varphi$  es el formado por el eje de las ordenadas  $V$ , ten-  
ida a los bornes del motor, y la corriente de entrada del motor  $I_1$ .

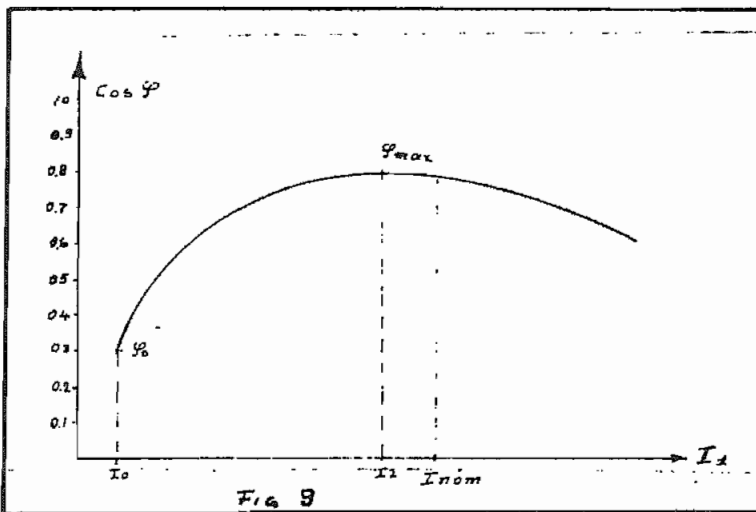
Para el arranque la corriente es muy grande y muy inductiva  
no se encontrará sobre la línea  $0 - I_{00}$ , porque desviará un  
poco debido a la saturación por lo que será un poco mayor y seguirá  
como lugar geométrico la envolvente (línea punteada) y no el  
círculo, pero sin considerar tanto refinamiento podemos suponer -  
que la corriente sigue el círculo como lugar geométrico y a partir  
de la corriente de arranque  $I_0$  llegaremos al punto  $f$  en el que el  
ángulo  $\varphi$  va disminuyendo de valor. En el punto  $T_1$  está su carga nomi-  
nal, y podemos apreciar claramente que la carga nominal no está -  
en el punto de potencia máxima, ni en el de torque máximo, ni  
en el  $\cos \varphi$  máximo.

Cuando la corriente  $I_1$  es tangente al círculo tenemos el factor de potencia máximo y está más o menos a un 85 % de la carga nominal.

El motor no trabaja en el punto de potencia máxima ni en el de torque máximo, porque para estos puntos el deslizamiento es muy grande aún para pequeñas variaciones de la carga.

A partir de  $T_2$  ( $\cos \varphi$  máximo) el factor de potencia disminuye rápidamente para, en la corriente a vacío, tomar un valor muy bajo.

La variación del factor de potencia en función de la corriente de entrada la podemos ver claramente en la curva (9) que se le ha dibujado a partir de los valores de corriente  $I_1$  del diagrama de la fig. 8.



En el arranque, lo mismo que cuando el motor trabaja a vacío, el ángulo  $\varphi$  es muy grande, esto se debe a que toda la corriente absorbida, excepto la correspondiente a pérdidas por efecto Joule, rozamiento y ventilación, que son reducidas, se pierde en magnetizar el circuito magnético que recorre el flujo resultado de lo -

esta corriente es fuertemente reactiva, lo que justifica el  
 or de potencia más, en el período de arranque y en funciona-  
 te a vacío de los motores de este tipo.

Suponemos ahora que tenemos dos motores de diseño similar.

Vamos a demostrar por qué un motor de baja velocidad tiene -  
 factor de potencia menor que uno de alta velocidad.

Estos motores tienen el mismo voltaje impuesto, la misma fre-  
 cuencia de la red, la misma salida de potencia y que la velocidad  
 un motor sea dos veces la velocidad del otro.

Haciendo:

$T$  = Torque

$I$  = Corriente de rotor.

$Z$  = Número total de barras inductoras del rotor.

$r$  = Radio del rotor.

$B$  = Densidad de flujo promedio en el entrehierro, y

$L$  = Longitud axial de las barras del rotor.

Y suponiendo que el sub-índice 2 pertenezca al motor de baja  
 velocidad y el sub-índice 1 al motor de alta velocidad.

También se supone que los motores están diseñados para la -  
 misma densidad de flujo y que el número de barras inductoras por  
 longitud de periferia de la superficie del rotor sean iguales. Su-  
 poniendo, además, que la relación de la longitud axial del hierro  
 del rotor con relación a los radios de los rotores sea la misma e  
 igual a  $q$  y haciendo que  $P_2$  y  $P_1$  sea el número de polos donde --

/  $P_1 = 2$  entonces:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{K \cdot Z_2 \cdot I_2 \cdot \omega_2 \cdot L_2 \cdot \beta_2}{K \cdot Z_1 \cdot I_1 \cdot \omega_1 \cdot L_1 \cdot \beta_1}$$

$K$  = constante de proporcionalidad.

Para la misma salida;  $I_1$  e  $I_2$  son iguales,  $\sqrt{\beta_1}$  y  $\sqrt{\beta_2}$  se suponen que sean iguales para una salida mecánica igual.

$$\frac{T_2}{T_1} = 2 \quad \text{Ya que la relación de velocidad es de 1:2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2 = \frac{(Z_1 \cdot q) (\omega_1 \cdot q) (L_1 \cdot q)}{Z_1 \cdot \omega_1 \cdot L_1} = q^3$$

$$q^3 = 2; \quad q = \sqrt[3]{2}; \quad q = 1,26$$

Si  $E_1$  y  $E_2$  son los voltajes inducidos en los rotors referidos a la frecuencia del estator, éstos deben ser aproximadamente iguales, ya que los voltajes impresos son iguales.

$$\frac{E_2}{E_1} = 1 = \frac{2,22 (Z_2 \cdot k_2) f \cdot \mathcal{P}_2}{2,22 (Z_1 \cdot k_1) f \cdot \mathcal{P}_1}$$

Donde:

$k = k_d + k_1$ . ( $k_d$  = factor de paso;  $k_1$  = factor de amplitud)  
y se supone que son iguales para los dos motores.

$\mathcal{P}_2$  y  $\mathcal{P}_1$  son los flujos por polo.

$$1 = \frac{(Z_1 \cdot q) \left( \frac{\mathcal{P}_1 \cdot q^2}{2} \right)}{Z_1 \cdot \mathcal{P}_1}$$

Simplificando:

$$q^3 = 2; \quad q = 1,26$$

Con lo cual se comprueba el valor de  $q$  obtenido de la consideración de los torques, y justifica la suposición de un número - al de barras inductoras por pulgada de periferia del rotor.

$$\beta = \frac{\frac{Z}{2} \cdot k I_{\varphi}}{\sum \frac{l}{\mu}}$$

Donde  $I_{\varphi}$  es la componente magnetizante de la corriente que surge el motor; es la componente que interesa.

Como una aproximación suponemos que la longitud efectiva del entrehierro es la misma y que la reluctancia de las partes de hierro es despreciable frente a la reluctancia del entrehierro, en - acea:

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = 1 = \frac{\left( \frac{Z_2}{2} \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot k \right) I_{\varphi 2}}{\left( \frac{Z_1}{2} \cdot k \right) I_{\varphi 1}}$$

$$\frac{\left( \frac{Z_2}{2} \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot k \right) I_{\varphi 2}}{\left( \frac{Z_1}{2} \cdot k \right) I_{\varphi 1}} = 1 = \frac{\left( \frac{Z_1}{2} \cdot q \cdot k \right) I_{\varphi 2}}{\left( \frac{Z_1}{2} \cdot k \right) I_{\varphi 1}} = \frac{q}{2} \cdot \frac{I_{\varphi 2}}{I_{\varphi 1}}$$

De donde:

$$I_{\varphi 2} = \frac{2 \cdot I_{\varphi 1}}{q} = \frac{2}{1,26} I_{\varphi 1} = 1,58 I_{\varphi 1}$$

O sea que el valor de la corriente magnetizante en el motor será 58 % mayor que en el motor 1. ③

Si suponemos que un motor tiene un factor de potencia de 0,50 el valor de la corriente magnetizante es de 0,60 de su corriente plena carga.

El factor de potencia de un motor idéntico de baja velocidad es:

$$\cos \left( \operatorname{tg}^{-1} \frac{0,60}{0,80} \cdot 1,58 \right) = \cos \left( \operatorname{tg}^{-1} 1,18 \right) = 0,65$$

#### INFLUENCIA EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA DE UN FACTOR DE POTENCIA BAJO.

Todos los aparatos o partes de un sistema eléctrico por el que circula una corriente alterna, que sean dimensionados para que a través de ellos pase la intensidad del circuito, tienen su potencia nominal en KVA.

Según lo anterior, los generadores, los aparatos de maniobra (cierro, corte) las barras ómnibus, los conductores, los transformadores, caen dentro de esta clasificación. Por tanto, la potencia nominal de estos aparatos no depende de la potencia activa del circuito, sino de la potencia aparente.

Un factor de potencia bajo, copará las partes del circuito con poca potencia activa, mientras que un factor de potencia alto significa que un porcentaje mayor, y aún un 100 % de los elementos están en uso con potencia activa.

Pero debemos recordar que la energía pagada por los consumidores es la energía activa (KWH). Existe entonces un desacuerdo entre la compañía que hace el suministro de energía eléctrica y la pagada por el abonado.

Un estudio detenido del problema pone de manifiesto que para las compañías de suministro de energía eléctrica, es muy importante este detalle por las siguientes razones:

- a) La inversión por KW suministrado es un mínimo para un factor



de potencia igual a 1 y va en aumento según el factor de potencia disminuye de valor.

El cos  $\phi$  bajo aumenta el costo de operación y mantenimiento por kWh vendido.

Demuejoran las condiciones del servicio mismo, presentándose en el sistema mala regulación y parpadeo, que causan muchas molestias en los consumidores, predisponiendo a los clientes contra la compañía.

Todas estas causas han obligado a las empresas de suministro buscar una forma para disminuir el consumo, en los clientes industriales sobre todo, de la energía reactiva, o cobrar por este mismo, ya que para la compañía representa un costo efectivo es- clase de energía.

La cláusula sobre el factor de potencia que aparece en las - millas de cobre de las empresas de suministro es la forma más - mún de reembolso del costo de esta energía.

Estas cláusulas son muy diferentes en el principio mismo del - bre así como en la forma de aplicarlas. Algunos de estos funda - - tos los damos a continuación:

Si el cos  $\phi$  de cierto consumidor es menor que el límite fija - por la compañía, se incluye en la planilla de cobre un valor - ional que tiene el carácter de una multa, mas no es el costo - la energía reactiva.

Otro tipo de cobre es el que fija un límite de factor de po - ncia mínimo, todos los consumidores que tengan el factor de po - ncia menor a este valor fijado, deben pagar un precio mayor por - consumido. Este precio mayor en la tarifa, lo da un coeficien - que es el cociente del cos  $\phi$  fijado por la compañía dividido



para el  $\cos \varphi$  real del consumidor que multiplica el valor de la planilla.

Algunas compañías cobran la energía reactiva (KVARH) a partir de cierto valor medido. Esto sólo es aplicable para consumidores industriales grandes, los cuales pueden pagar el valor del contador de energía reactiva que generalmente es costoso.

Para algunos clientes se fija una cantidad de KVARH que puede consumir libremente, de acuerdo con la demanda o la potencia instalada. Toda la energía reactiva que exceda de este valor se cobra a un precio que por lo regular es poco menor que el costo de la energía activa.

Otras compañías cobran una especie de multa por un  $\cos \varphi$  bajo, pero dan una bonificación o premio, que generalmente es una rebaja en la planilla de cobro, para los clientes que tengan un factor de potencia mayor que el fijado por ellas. Este factor de potencia puede ser estricto a la unidad pero en atraso, sin que sea permitido el factor de potencia en adelanto. Otras compañías sí permiten el  $\cos \varphi$  en adelanto, o sea capacitivo.

Como se puede ver, hay diversos criterios de aplicación y cobro de la energía reactiva, sin que éstos sean todos los que existen, sino solamente para dar una idea de su variedad.

Ninguna de ellas, eso sí tiene un fundamento científico, sino más bien un fin económico o solamente el deseo de limitar el consumo de energía reactiva (KVARH) por las condiciones desventajosas que para todo el sistema presenta.

Hasta hace poco tiempo en el Ecuador, ninguna empresa eléctrica limitaba o regulaba el factor de potencia de sus abonados por

le la cláusula, en la planilla, que limite el factor de potencia para los consumidores industriales sobre todo, los cuales en ninguna importancia al asunto porque para ellos representaba desembolso de dinero para el equipo de corrección el cual no tiene ningún significado para ellos.

Esta falta de preocupación por parte de las empresas eléctricas para limitar el factor de potencia, y en general para con las tarifas se debe a dos causas principales:

Ninguna empresa eléctrica hacía un estudio para saber cuánto costaba realmente el kWh de energía producida por ellas, cuánto se amortizaba anualmente para reponer máquinas y equipo - envejeciendo, el costo de operación, etc. Es decir, ninguna empresa trataba a la empresa eléctrica como lo que es: una industria que debe mejorar y crecer y que económicamente se basta a sí misma, sino que se consideraba como un apéndice del Municipio, que no podía conseguir partidarios políticos rebajando las tarifas, aumentándolas, según las repercusiones políticas que puede tener este gesto ante sus electores, sin tener en cuenta lo absoluto la función de servicio que presta.

Porque en realidad los consumidores industriales, que son los que, por lo general, tienen bajo factor de potencia, eran reducidos que no presentaban mayor problema para las empresas suministradoras.

Con el auge que está tomando la industria, en estos últimos años, en nuestro país, se hacía necesario poner en vigencia, para limitar el uso de energía reactiva, y efectivamente, en Quito, se puso en vigencia una cláusula para el factor de potencia bajo del mes de Enero de 1.964, para todos los clientes industriales, estableciendo como límite el factor de potencia de 0,85.

Con el nuevo sistema de tarifas que como en Quito, se va a im-  
 plantar en toda la República, especialmente en aquellas empresas  
 en las cuales el Instituto de Electrificación entró como accionis-  
 ta, llevarán todas alguna cláusula para limitar el cos  $\phi$  bajo, so-  
 bre todo, donde los centros industriales sean numerosos, debido a  
 que el sistema de tarifas que expida INECEL, llevará ya un estu-  
 dio económico del costo real de la energía eléctrica con el fin -  
 de que la empresa eléctrica, en cualquier ciudad, sea una indus-  
 tria dinámica y no se halle condenada a desaparecer dentro de po-  
 cos años de servicio, como sucedía hasta ahora, sino que sea ca-  
 paz de ampliar sus instalaciones de acuerdo con el crecimiento de  
 la ciudad a la cual sirve.

Vistas en forma general las desventajas que produce un factor  
 de potencia bajo, a qué tipo de máquinas afecta, y cómo las afec-  
 ta por un lado, y por otra parte, cuál es la importancia para las  
 empresas distribuidoras, que sus clientes tengan un factor de po-  
 tencia alto y de qué medios se valen para obligarles a que lo me-  
 joren en caso de que sea bajo, falta hacer un pequeño comentario  
 sobre el fin que persigue este trabajo en la Textil "San Vicente".

Como se verá en el Tercer Capítulo de este Tesis, el cos  $\phi$   
 de todos los pabellones de esta fábrica están por debajo del fac-  
 tor de potencia límite fijado por la Empresa Eléctrica Quito. Por  
 tanto, el equipo de corrección se amortizará rápidamente por el -  
 ahorro en el pago de la energía reactiva y el recargo por demanda  
 que aparece en la actual planilla de pago, a más de las ventajas  
 adicionales que se consiguen y que a su debido tiempo se estudia-  
 rán. Por otra parte, como la fábrica posee su propia planta genera-  
 dora a diesel, que hoy se encuentra en reparación, totalmente ce-  
 pada, se trata de disminuir los KVA generados corrigiendo el fac-  
 tor de potencia, para evitar los problemas que en la generación -

presentan, como son la salida de sincronismo de las máquinas -  
uradoras, el disparo de los interruptores automáticos por sobrecarga que obligan a parar a los obreros en horas de trabajo, -  
nipo que debe pagar la fábrica; además, las telas, a consecuencia  
de los apagones, llevan fallas en el tejido, que significan pérdidas  
para la fábrica, porque el producto fallado no puede venderse  
al mismo precio del producto de calidad uniforme. Y, sobre todo,  
como el motor primario produce en el generador KVA, y éstos -  
n más de los que se utilizan, disipándose el resto en pérdidas, -  
gnifica que se está desperdiciando combustible. Corrigiendo el  
ctor de potencia se disminuye el precio del KVAh generado, este  
erro permite también amortizar en un tiempo corto el costo del  
tipo de corrección.

Como deducción de lo expuesto, se ve que la corrección del -  
ctor de potencia está ampliamente justificada, sea que la fábrica  
siga con el servicio de la Empresa Eléctrica Quito, que haga -  
ncionar sus propios generadores o que emplee un servicio mixto,  
nciando funcionar los generadores entre las 18 y las 21 horas, -  
ando el precio del kWh es más caro (0,55 kWh) como consta en la  
enilla para consumidores industriales clasificada como I-3Tr, -  
a vigencia desde comienzos de este año.

**CAPITULO SEGUNDO**



## DIAGRAMA Y ANALISIS DEL CIRCUITO EXISTENTE EN ESA FABRICA

La fábrica está compuesta por cuatro pabellones cuyas funciones se las puede describir así:

### PRIMERO PABELLON.-

Recibe el algodón en pacas y en su primera sección le somete proceso de desmotado, cardado y limpieza. Pasa a la otra sección ubicada a continuación de la anterior, donde se lo reduce al dón a un pavilo del grosor justo para el hilo, pero que no se torcido alguno. Este pavilo pasa a las hilas donde se lo se para darle resistencia y el grosor del hilo necesario para telares.

Con este hilo en otras máquinas se forman cenes, que es la ma como sale el producto de este pabellón.

El hilo producido aquí es apenas el necesario para consumir en los telares de la misma fábrica.

En la parte posterior de este mismo pabellón hay una sección dedicada a la fabricación de hilo de lana para consumo interno de misma fábrica, y que más o menos sigue el mismo proceso de fabricación.

### SEGUNDO PABELLON.-

Este está dispuesto para la fabricación de telas de seda y algodón.

Las telas de algodón se las fabrica a partir del hilo producido en el primer pabellón, las telas de seda artificial a partir de hilo de celulosa importado de Colombia.

Una vez terminada la tela sea de seda o algodón, se la envía al cuarto pabellón para que se la someta al proceso de acabado. - Este pabellón está capacitado para a partir del hilo efectuar el tejido de las telas, para el efecto cuenta con urdidoras, engomadoras, cenilladoras y más o menos unos 150 telares que pueden fabricar telas de hasta un metro de ancho.

#### TERCER PABELLON.-

Este pabellón tiene idéntica clase de maquinaria que el anterior, pero en este caso se fabrican tejidos de algodón y lana.

El hilo de lana que se utiliza es el producido por el primer pabellón y se lo destina a diferentes clases de telas, como casimires, paños, mantas, etc. Estos tejidos exigen el empleo de telares más grandes y más complicados; de éstos hay más o menos unos 60 telares; en estos se pueden hacer telas de hasta dos metros de ancho. Hay también unos 80 telares del tipo pequeño. En este pabellón hay la posibilidad de instalar algunos telares más ya que hay espacio suficiente para ello.

La falta de capacidad del primer pabellón para proveer de hilo era lo que impedía hacer esta ampliación; pero como hoy tiene montadas algunas máquinas más, la producción de hilo será mayor y se puede pensar que dentro de poco tiempo se aumentará el número de telares.

Las telas tejidas aquí se entregan al cuarto pabellón para su acabado.

#### CUARTO PABELLON.-

A este pabellón se entregan los productos de los tres pabell<sub>o</sub>

anteriores para procesos que no pueden efectuarse en éstos.

Del primer pabellón viene cierta cantidad de hilo que debe ser lavado y tinturado antes de entrar en los telares; existe pues una sección dedicada a este proceso.

De los pabellones segundo y tercero vienen las telas crudas en bruto para el proceso de acabado.

Este proceso comprende más o menos lo siguiente: eliminación de la pelusa, revisión manual de la tela cruda antes de someterla a los tratamientos posteriores, lavado y blanqueado del tejido, tinte en caliente, secado al vapor, proceso de estiramiento y enguapeado, estampado, alisado en calandrios y una nueva revisión manual. Después se la mide y empaqueta para entrega a los almacenes.

Algunos tipos de tejido se someten a procesos adicionales pero de manera general estos son los tratamientos que se le da al tejido antes de salir de este pabellón.

Aparte de las cuatro construcciones que albergan a los pabellones, que son las más grandes, existe otra en la parte posterior del cuarto pabellón, donde están instalados dos calderos que suministran el vapor a los pabellones segundo, tercero y cuarto; una construcción dedicada a bodegas; una casa de máquinas donde están instalados tres grupos electrógenos a diesel; y, varias bodegas pequeñas.

#### ANÁLISIS DEL CIRCUITO.-

Esta descripción servirá para mencionar los problemas eléctricos que se presentan en toda la fábrica, se relacionen o no con el factor de potencia.



Como punto de partida se ha escogido la planta generadora de la fábrica.

Está constituida por tres grupos eléctricos diesel, cuyas características de los generadores son:

	TENSION VOLTS.	CORRIENTE AMPS.	VELOCIDAD R.P.M.	POTENCIA	COS $\phi$
Alternador General Electric	600	725	360	750 KVA	0,80
Excitatriz General Electric	125	120	360	15 KW	
Alternador Cerlikon	6,140	75,3	450	800 KVA	0,80
Excitatriz Cerlikon	105	85	450	8,9 KW	
Alternador A.E.G.	220	1.020	360	280 KVA	0,80
Excitatriz A.E.G.	100	67	360	6,7 KW	

Hay un tablero de mandos para cada generador y un tablero para sincronización.

El tablero de mandos contiene:

- 1 Voltímetro
- 1 Conmutador de voltímetro
- 3 Amperímetros
- 1 Medidor de kilovatios-hora
- 1 Voltímetro de corriente directa para la excitatriz
- 1 Amperímetro de corriente directa para la excitatriz
- 1 Resetate de ajuste
- 1 Regulador automático de tensión
- 1 Switch automático con protección termomagnética.

El tablero para sincronización contiene:

óhmetro doble para sincronización 0 - 6 Kv.

ecusnoímetro doble

icroscopio

h para sincronizar.

El generador de 750 KVA genera a 600 volts., tiene un transformador de subida a 6 Kv. para a esta tensión sincronizar con el de 6 Kv.

El generador de 280 KVA. no puede sincronizar con los otros por razones que se explican más adelante.

De las barras ónibus de los generadores sincronizados salen las alimentaciones para los pabellones tercero y cuarto, y en caso de avería para el primer pabellón, el cual normalmente era alimentado por la Empresa Eléctrica Quito.

Cuando los dos generadores acoplados están cargados con los pabellones se sobrecargan y salen de sincronismo por inestabilidad de las máquinas, muy a menudo.

Aún cuando estén funcionando acoplados, cargados con los pabellones tercero y cuarto ocurren estas salidas de sincronismo - cuatro o cinco veces al día. La carga sumada de los dos pabellones no alcanza a la potencia nominal de un generador, por lo que las salidas de sincronismo tienen otras razones y no se debe hacer recarga de los generadores.

Las razones son:

Mal mantenimiento de los motores primarios haciendo que su eficiencia disminuya notablemente, hasta más o menos un 60 % de potencia nominal.

2o.- Diferente característica frecuencia-carga de los grupos eléctricos, debido a la diferente velocidad nominal de sus motores primarios, 360 R.P.M. para el uno y 450 R.P.M. para el otro. Esto hacía que para una sobrecarga cualquiera por pequeña que sea un generador tome más carga que el otro, disparándose el interruptor del más cargado, sacándolo de sincronismo debido a la acción combinada del cambio de frecuencia y sobrecarga aparente.

Una vez fuera de sincronismo un generador, toda la carga se transfería al otro generador el cual se sobrecargaba en realidad y se salía del circuito por apertura de su interruptor automático.

3o.- Arranque coincidente de varios motores de inducción sobre todo en el cuarto pabellón donde existen motores grandes de ese tipo, que trabajan en forma intermitente, llegando en ocasiones a duplicar y aún a triplicar la potencia absorbida por el cuarto pabellón.

Todas estas causas tenían un efecto acumulativo determinando la pérdida frecuente del sincronismo entre estos dos generadores.

El generador pequeño de 280 KVA., alimenta a la tensión de generación, 220 Volts., a las barras ómnibus de la subestación del segundo pabellón.

Este generador no se sincroniza con los otros por estos motivos:

1o.- Se necesita un transformador de subida de 220/6000 V de una potencia igual a la del generador, para sincronizarlo a 6 KV.

2o.- Con sincronizaciones de prueba que se han hecho, se presenta un penduleo tan grande que lo saca de sincronismo casi inmediatamente, esto se debe a los momentos de inercia diferentes en-

las masas volantes de éste y los otros dos generadores, que no se que la velocidad angular permanezca constante durante ca-  
lo.

El motor primario de este grupo es de 6 cilindros, mientras  
los motores primarios de los otros dos grupos son de 8 cilin-

sta diferencia en los tiempos activos del motor primario pue  
otra causa para que se presente penduleo, pero la causa de  
ante o que se hace más notoria por la acumulación de las en  
es es el devanado amortiguador muy pobre que posee este ge-  
r.

Desde ya debemos indicar que este último grupo está siendo -  
tado para trasladarlo a Guayaquil donde se lo instalará de  
definitiva.

Como solamente se tienen disponibles dos generadores es pro-  
que éstos se dejen como generadores de emergencia ya que el  
lo para toda la fábrica se lo recibe hoy de la Empresa Eléct  
Quito.

causa de un accidente sufrido en los tableros de mando de  
sta se encuentra actualmente en reparación, pero aún después  
se halle lista para el funcionamiento, estos grupos se deja  
no generadores de emergencia debido al alto costo del kWh.  
de con motores diesel sobre todo para la altura de Quito.

La Empresa Eléctrica Quito, antes que entrara en funcionamien  
etapa Gumbayá I suministraba energía para el alumbrado de -  
la fábrica y para el servicio de fuerza del primer pabellón.  
ba su servicio debido a la carestía de energía eléctrica -

que había en Quito en esa época. Solo esta limitación obligaba a esta industria a generar y consumir energía eléctrica tan cara.

Actualmente la Empresa Eléctrica Quito suministra toda la energía para la fábrica, tanto para alumbrado como para fuerza; - lo hace por medio de dos acometidas: la una que llega a la subestación de hilatura (primer pabellón) para alimentar a los pabellones primero y segundo; la otra acometida llega a la subestación del tercer pabellón para servir a éste y al de acabado.

Las dos acometidas llegan a 6 KV. por cables subterráneos que vienen desde la calle.

#### SUBESTACIONES.-

Existen cuatro subestaciones de distribución, una para cada pabellón; el detalle de cada una es este:

##### Primer Pabellón.-

En la subestación de hilatura están colocados los contadores de energía de fuerza y de alumbrado para los pabellones primero y segundo.

Como se puede ver en el esquemático, los contadores están conectados a 6 KV. por medio de transformadores de medida para tensión y corriente.

En el circuito de fuerza está en servicio un transformador de 480 KVA, 6000/220, trifásico.

El alumbrado de este pabellón se lo hace por medio de lámparas de mercurio, el factor de potencia de este sistema es mayor - que el fijado por la Empresa, por lo que no nos ocuparemos de es-

Las barras de baja tensión del transformador de 480 KVA. van al cuadro de distribución en baja tensión que contiene: 1 switch de contactos al aire, 1 voltímetro 0-250 Volts., 1 conmutador de potencia, 3 amperímetros de 0 - 1,2 Kilocamperios, y 6 amperímetros de 0 - 500 amps., para otros tantos alimentadores que por medio de fusibles salen a las máquinas. De este mismo cuadro salen los alimentadores que solo pasan por los amperímetros principales por medio de fusibles salen a las máquinas.

Según la lectura de los amperímetros principales la carga del transformador está por los 300 KVA., que equivaldría a un 60% de su carga nominal, esto sería en régimen permanente. Pero el transformador está sometido a constantes aumentos de corriente instantáneos debido al arranque continuo de los motores de industria que en forma exclusiva constituyen la carga de este transformador.

El período semanal de trabajo de este pabellón es de lunes a viernes, 24 horas diarias, y en temporadas aún el medio día del domingo.

La carga de este transformador permanece más o menos constante durante el día y la noche.

Este horario de trabajo bastante fuerte y la carga constante y poco alta, han determinado un aumento en la temperatura del transformador, que hacia el fin de semana llega a fluctuar entre 65° C., tomada en la superficie de la carcasa. Esta temperatura aún dentro del range normal, obliga a pensar en algún medio para evitar que esta temperatura vaya en aumento lo que podría poner en peligro el transformador.

Para disminuir la temperatura del transformador se puede pensar en dos soluciones: 1o. Poner otro transformador de menor potencia que el actual, en paralelo con éste; 2o. Corregir el factor de potencia para, disminuyendo los KVAR., disminuir también los KVA de carga del transformador.

Al mismo tiempo debemos considerar otro aspecto, como se podrá deducir de las medidas (capítulo tercero), el factor de potencia de este pabellón es bastante menor que el límite dado por la Empresa Eléctrica. Debido a este factor de potencia malo se está pagando un porcentaje de recargo en la planilla.

Se pueden solucionar estos dos problemas: aumento de temperatura del transformador y factor de potencia bajo, simultáneamente, corrigiendo el  $\cos \phi$  en baja tensión entre la carga y el transformador.

La otra solución: colocar otro transformador en paralelo con el ya existente; solucionará el problema del sobrecalentamiento del transformador, pero, de ninguna manera mejoraría el factor de potencia, necesitándose en este caso, otro equipo adicional para corregir el factor de potencia.

Otra razón por la que no es aconsejado aumentar otro transformador en este pabellón, es su espacio disponible; si se piensa hacer una ampliación, actualmente no hay sitio para colocar nuevas máquinas dentro del pabellón, cualquier ampliación que se haga será en locales adyacentes que hoy son bodegas, donde, ya está proyectada y construida una nueva subestación, faltando sólo equipo para que entre en funcionamiento.

Por consiguiente, si se consigue dar un buen servicio a este pabellón con el transformador ya existente, sin arriesgarlo a un

alentamiento, se haría una economía considerable.

Con la corrección del factor de potencia se podría cargar la ampliación reciente de 80 KVA. al mismo transformador, porque esta ampliación, aunque en un local adyacente, está cercana a esta subestación. Las ampliaciones posteriores, sin embargo deben alimentarse desde la otra subestación que se piensa instalar.

Ultimamente y como medida provisional se ha colocado en la subestación de hilatura un transformador de 200 KVA. para alimentar una ampliación reciente hecha en locales donde antes había bodegas.

Este transformador está actualmente cargado con 80 KVA. pero cuando las máquinas que se están ya instalando llegará la carga a unos 100 KVA.

Como se tienen más locales disponibles esta ampliación irá aumentando, pero en este caso se pondrá en funcionamiento una nueva subestación que funcionará con una tercera acometida de la Empresa Eléctrica Quito.

Según la ampliación actual se la pensaba alimentar desde esta subestación, pero para equiparla se debía gastar en una nueva acometida, contadores, switch de alta y baja tensiones, aisladores, etc., que elevan bastante el costo del equipo como inversión para servir una carga tan reducida como la actual, 80 KVA.

Están en servicio siete grupos de condensadores estáticos, - estáticos de 8,3 KVAR., cada uno conectados directamente a los terminales del motor principal de 7 hilas para compensar, siquiera en parte, el factor de potencia bajo de este pabellón.



La distribución de la subestación a las máquinas de la hace por medio de cables triples alojados en ductos de cemento y en algunas alimentadoras se han usado cables triples con aislamiento - papel-aceite colocados directamente en el piso.

Los alimentadores terminan en un interruptor con protección térmica o termomagnética que protegen directamente al motor de la máquina.

Estos interruptores están provistos, en algunas máquinas grandes, de mandos a distancia.

#### Segundo Pabellón.-

De las barras ómnibus de alta del primer pabellón sale por medio de un fusible seccionador y cable triple subterráneo la alimentación a la segunda subestación, donde están en funcionamiento un transformador de 300 KVA para fuerza y uno de 50 KVA para alumbrado.

El transformador de alumbrado no presenta ningún problema por lo que no se lo mencionará en adelante.

La carga del transformador de fuerza de este pabellón es baja y el período de trabajo no es más que de 16 horas diarias, lo que deja un margen suficiente para que el calor no se acumule como sucede con el transformador del primer pabellón.

Existe un interruptor automático en alta tensión y uno manual en baja tensión antes de entrar en las barras ómnibus. De las barras salen derivaciones a 17 alimentadores, cada uno de los cuales tiene interruptor de cuchillas con cartuchos fusibles encerrados en caja metálica. La subestación se encuentra a unos 50 mtrs. del centro de carga.

La distribución continúa con cables triples alojados en ductos y termina en cajas de repartición de piso que contienen los para cada derivación de máquinas.

Las derivaciones de la caja de piso van a un interruptor con acción térmica para cada telar o máquina en general.

En esta subestación no existe ningún aparato de medida, apagar las medidas hechas para esta Tesis, no se conoce cual es la de este pabellón durante todo el tiempo.

El factor de potencia de este pabellón es menor del fijado a Empresa Eléctrica, por lo que es necesaria una corrección elevarlo de valor.

### Tercer Pabellón.-

La segunda acometida de la Empresa Eléctrica Quito, llega a subestación para alimentar a éste y al cuarto pabellón.

La acometida de 6 KV. llega a un cuadro donde hay 3 amperímetro que miden la corriente total de los dos pabellones; por medio de transformadores de corriente y tensión se sacan derivaciones para los contadores de energía de luz y fuerza. En este mismo cuadro hay un interruptor automático general para la acometida.

Del barraje de alta tensión sale una derivación a otro interruptor automático y de aquí por cable triple subterráneo la alimentación para el cuarto pabellón.

Un transformador de 50 KVA, 6000/220 V, trifásico, alimenta circuito de alumbrado.

El circuito de fuerza está servido por un transformador de - 480 KVA, 6000/220 V, trifásico.

En este pabellón el período de trabajo es de 16 horas al día, con lo que tiene un tiempo suficiente para enfriamiento diario y además, la carga de este transformador es baja con lo cual no produce mayor calentamiento.

No existen aparatos de medida y el factor de potencia es menor del permitido, haciéndose necesaria una corrección.

La distribución hasta las máquinas, en líneas generales, es idéntica a la del segundo pabellón. La carga la constituyen exclusivamente motores de inducción al igual que en el pabellón anterior; para los telares se usan motores trifásicos de 1 a 2 H.P. Para las otras máquinas hay variedad de potencias, pero en todo caso, mayores que los motores usados para los telares. En este pabellón hay un rectificador exafásico de mercurio para alimentar un motor de corriente continua para la engomadora.

#### Cuarto Pabellón.-

La alimentación la recibe de la tercera subestación a 6 KV. El cable subterráneo termina en un fusible seccionador que está en los bornes de alta del transformador. Las barras de baja tensión del transformador terminan en 15 derivaciones para alimentadores con otros tantos interruptores de cuchillas con cartuchos fusibles encerrados en cajas metálicas.

El transformador es de 480 KVA, 6000/220 V., trifásico que alimenta a los circuitos de fuerza y alumbrado.

La carga para este transformador fluctúa por los 150 KVA, en

na permanente. Esta carga actualmente es baja dada la capacidad del transformador, pero se deben considerar tres aspectos a la hora de decidir si el transformador está sobredimensionado:

Existe bastante espacio libre en este pabellón en el que ya se están instalando nuevas máquinas.

En la sección dedicada a calderas alimentada por este transformador existen motores de inducción grandes con potencias van de 30 a 100 H.P. Estos motores mueven las bombas de inyección de agua a los calderos, bombas de combustible, y los ventiladores que inyectan aire a presión a los quemadores. Su condición de funcionamiento hace que tengan períodos breves de trabajo y cuando se arranca a plena carga, en estas condiciones la corriente de arranque es elevada dándose el caso de alimentadores que trabajan normalmente con una corriente de 50 Amps., suban violentamente a 600 Amps., durante 2 o 3 segundos.

Estos picos de corriente obligan a emplear un transformador de potencia bastante alta, para que no perforen el aislamiento o se vuelvan peligrosos.

El factor de diversidad de este pabellón es bastante bajo, debido a las grandes secciones de maquinaria dedicadas a efectuar el acabado de un tipo específico de tejido, digamos por ejemplo casimires, en caso de que no haya demanda de estos tejidos, la sección entera permanece paralizada. Esto ocurre con varias secciones de acabado especializado, de aquí el factor de diversidad de este pabellón, pero que, tomando en cuenta la potencia instalada, se debe tener capacidad de reserva en el transformador para el caso de trabajo coincidente de varias de estas secciones.

En este pabellón se deben resolver los siguientes problemas:

- 1o.- Separar el circuito de alumbrado del circuito de fuerza colocando otro transformador pequeño con este fin.
- 2o.- Proveer de aparatos de medida a este pabellón.
- 3o.- Corregir el factor de potencia a un valor superior al límite fijado por la Empresa Eléctrica Quito.

En esta breve descripción del circuito se nota la necesidad de aumentar el factor de potencia de la fábrica, problema común para los cuatro pabellones. El cálculo mismo de la corrección se lo hace en el Capítulo IV.

Acompaña a esta descripción del circuito un diagrama esquemático de toda la industria.

### CAPITULO TERCERO

-----

**MEASURACION DEL FACTOR DE POTENCIA POR SECCIONES Y TOTAL, BAJO  
LAS CONDICIONES ELECTRICAS ACTUALES.**

En 1960 la Compañía Siemens por medio de uno de sus técnicos  
realizó las medidas del factor de potencia en cada subestación, y  
en la planta generadora en las barras de alta y baja tensión, cuando  
la fábrica estaba alimentada por sus grupos diesel eléctricos;  
afortunadamente estos valores no se encontraron, aún en el caso  
de obtenerlos sólo podían tener cierto valor informativo, pero  
evidentemente no se los podía tomar como base para la compensación  
porque cada año se hacen cambios, modificaciones y ampliaciones  
de los pabellones, variando, por consiguiente, el valor del  
factor de potencia.

Así bien el método de corrección se decide en el Capítulo IV,  
donde se decide que el punto de compensación debía decidirse antes de efectuar las  
medidas para que la corrección sea lo más precisa posible, y el costo  
del equipo de corrección sea el estrictamente necesario.

**SELECCION DEL LUGAR DE CORRECCION.--**

En un caso como el presente, en el que la finalidad de la  
compensación es economizar el porcentaje de pago adicional en la planta  
por factor de potencia bajo, la compensación debe, ante todo,  
realizarse en el punto que la componente reactiva de la corriente del circuito,  
se inyecte directamente en los contadores al sistema de suministro.

El lugar de compensación será aquel punto del circuito entre  
los contadores y la carga que brinde mayores ventajas eléctricas  
económicas.

Los puntos posibles de compensación serían:

- a).- En los bornes de cada motor.
- b).- En cada Alimentador.
- c).- En las barras de baja tensión a la salida del transformador.
- d).- En las barras de alta tensión entre los contadores y el transformador.

Se analizarán ahora las ventajas y desventajas de la compensación en cada uno de estos puntos.

a).- Si la compensación se la hace en los bornes mismos del motor la componente reactiva de la corriente del circuito no circula por los conductores de alimentación, ni por los interruptores, ni por el transformador; pero en cambio, la capacidad de condensadores es mayor porque cada máquina debe llevar un condensador, se halle funcionando o no. La inversión en el costo de un gran número de condensadores pequeños, necesarios para compensar motores de potencias reducidas, aparte de que es difícil conseguirlos, aumenta mucho si se compara con el costo de una capacidad equivalente en unidades grandes.

Otra de las desventajas de la compensación unitaria es la falta de espacio libre entre las máquinas. En toda la fábrica el espacio libre entre dos máquinas es solamente el necesario para que el operario se pueda mover, colocar un condensador en este espacio es reducirle el mismo al operario o exponerle continuamente a un contacto accidental, como que estos condensadores deberían colocarse en el piso, sitio por el que se hace la distribución eléctrica.

También habría un ahorro en sección del conductor, pero este ahorro es ficticio, porque una vez compensado el factor de potencia no se van a cambiar los alimentadores para ponerlos de menor sección, esto sencillamente, costaría en cables y mano de obra, -



veces el costo del equipo de compensación, la sección del  
 es inversión ya hecha y se ahorra más dejándola como está.  
 los cables no están dimensionados para la corriente que -  
 a por su sección, sino para la caída de tensión que se produ  
 ellos.

lo dicho para la sección de los cables vale también para los  
 ruptores.

lo expuesto anteriormente quedarían sin valor los argu -  
 en favor de una compensación unitaria y se debería buscar  
 sitio apropiado para la compensación.

el próximo lugar sería cada alimentador por separado.

Para este tipo de corrección habrían los siguientes inconveni-  
 entes:

no hay espacio para localizar los condensadores junto a cada  
 alimentador.

es difícil la conexión en los alimentadores porque entre el  
 switch y el ducto hay un espacio muy reducido y en algunas -  
 ciones como la de hilatura, por ejemplo, es físicamente im  
 posible llegar a varios de ellos por estar el cuadro de baja ten-  
 sión lleno de conductores.

Como para conexión y desconexión de todas las máquinas de un  
 alimentador no se manobra el interruptor de éste, sino sólo  
 interruptores unitarios, cada alimentador debería tener un -  
 interruptor automático para el equipo de corrección, lo que elevaría  
 el costo a un costo prohibitivo.

4.- Como hay alimentadores que trabajan solamente parte del día y algunos solamente ciertos días y cada uno de ellos debería ir compensado, el equipo de corrección costaría más porque no se aprovecha el factor de diversidad de la instalación.

A cambio de todas estas desventajas, la única ventaja que se conseguiría es impedir que la componente reactiva de la corriente del circuito pase por los interruptores de cada alimentador, lo cual no justifica ni eléctrica ni económicamente las desventajas.

c).- Se considerarán las ventajas y desventajas que existen al hacer la corrección del factor de potencia en los bornes de baja tensión en la salida del transformador hacia la carga.

La componente reactiva de la corriente del circuito circularía desde las barras de baja por los alimentadores hasta la carga. En este recorrido no se tendría ningún ahorro en pérdidas  $I^2R$ , ni en sección del conductor.

En cambio se tienen algunas ventajas en favor de este método, ellas son:

Se aprovecha la diversificación de la carga obteniéndose un ahorro considerable en equipo de corrección.

Se disminuye la corriente que circula por los transformadores porque la componente reactiva de la corriente no va más allá de las barras de baja tensión.

La conexión misma del equipo de corrección es simple.

Es fácil colocar un solo equipo automático de control del factor de potencia para la compensación total.

caso de usarse control automático no se necesitarían trans-  
res de tensión, sino solamente de corriente para sacar las  
des de referencia.

ra el barraje de alta tensión como posible sitio de corre-  
ón se tienen las siguientes ventajas:

me la capacidad en condensadores necesarios para la corre-  
ría con el cuadrado de la tensión, esta capacidad sería me-  
a la necesaria en baja tensión; esto no quiere decir, sin -  
e, que el costo del equipo disminuye con el cuadrado de la  
a a la que se conectan los condensadores, porque el costo -  
slamiento y del dieléctrico en los condensadores y de la -  
ación completa aumenta mucho con la tensión de servicio, -  
do sí habría una economía en el costo de los condensadores  
nte.

a desventaja que deja sin valor la economía que se haga en  
te de los condensadores es que la componente reactiva de la  
nte del circuito circula por los transformadores, deja sin  
la economía en el equipo de corrección porque en el primer  
ón se debería poner un transformador en paralelo con el eje  
El costo de este transformador, 3 fusibles seccionadores y  
erruptor de baja que se necesitarían para ponerlo en servicio  
en mucho la economía que se hace en el equipo de toda la -  
sa.

si se piensa poner un control automático para el banco de con-  
tores se necesitan transformadores de tensión y de corriente  
sacar las magnitudes de referencia, que representan un costo  
ic.

No se puede escoger ningún otro lugar más allá de los contadores porque en este caso no se conseguiría ninguna disminución en la planilla de pago.

Después de este análisis el lugar más indicado es el barraje de baja tensión para conectar el equipo de compensación porque a más de disminuir el porcentaje de recargo en la planilla de pago se consigue descargar los transformadores de la componente reactiva de la corriente, esta capacidad de los transformadores se la podría usar para carga adicional o para disminuir la carga actual, como es el caso del primer pabellón.

Escogido el sitio de corrección que será también el lugar de las medidas, queda por decidir el aparato de medida a usarse.

No se podían intercalar transformadores de medida durante las horas de trabajo porque esto sería interrumpir las labores de la fábrica y hacer desperdiciar el tiempo a los obreros.

Gracias a la gentileza de la Empresa Eléctrica Quito, se pudo disponer de un fasímetro de pinza de su propiedad, para la realización de las medidas.

El fasímetro de pinza hace medidas exactas siempre que la carga sea equilibrada y los valores de tensión y corriente no sean muy pequeños.

En esta industria todos los motores conectados al circuito de fuerza son trifásicos. Hay también dos transformadores trifásicos para los rectificadores en los pabellones tercero y cuarto.

Los circuitos de alumbrado son separados excepto en el cuarto

ón en el que después de poco tiempo se hará esta separación, mismo, no hay peligro de cargas desequilibradas y las medi-  
n dignas de crédito; el equilibrio de las cargas se compro-  
cada lectura.

ampoco hay peligro de valores de tensión y corriente muy pe-  
porque como se verá en las tablas, todos los valores son  
es y en la mayoría de los casos muy superiores a los 100 KVA.

#### ACION DE LAS MEDIDAS.-

ome ya se dijo al elegir el sitio, las medidas se realiza -  
las barras de baja tensión a la salida de los transforma -  
de cada pabellón hacia los alimentadores con toda la fáabri-  
funcionamiento normal.

e tomaron lecturas de tensión, corriente, y factor de poten

ara tener una curva semanal de la demanda y una variación -  
s  $\phi$  de acuerdo con esta demanda se efectuaron lecturas cada  
hora durante los cuatro primeros días de la semana, para -  
s días restantes como la carga no difería de las lecturas de  
as miércoles y jueves, se hicieron solamente lecturas de -  
bación cada dos horas.

continuación se incluyen tablas con los valores de poten -  
tiva, aparente, reactiva y los valores de  $\cos \phi$  y  $\sin \phi$  para  
los pabellones.

lenás se incluyen curvas de carga y de factor de potencia -  
ifa típico para los cuatro pabellones, y para toda la fáabri

Conocer el factor de potencia de toda la fábrica tiene solamente un valor informativo.

En el primer pabellón hay siete condensadores estáticos en servicio, como nos interesa conocer el factor de potencia real del circuito se han sumado a los KVAR totales medidos en este pabellón, los correspondientes a los condensadores.

En los otros pabellones no hay ninguna complicación.

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## PRIMER PABELLON

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
325	176	273	0,54	0,842
283	155	237	0,55	0,835
356	198	296	0,555	0,832
346	195	286	0,56	0,83
341	195	280	0,57	0,82
391	225	320	0,577	0,816
377	205	316	0,545	0,84
375	208	312	0,555	0,832
399	230	326	0,577	0,816
413	243	334	0,59	0,807
393	230	319	0,584	0,812
404	233	330	0,576	0,817
385	228	310	0,59	0,807
423	254	338	0,60	0,80
415	244	335	0,59	0,807
402	227	332	0,565	0,825
361	208	295	0,58	0,814
372	216	303	0,58	0,814
387	222	317	0,57	0,821
375	213	308	0,57	0,821
383	223	312	0,58	0,814

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## SEGUNDO PABELLON

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	---	---	---	---	---
8:00	161	108	119	0,67	0,74
8:30	---	---	---	---	---
9:00	164	102	120	0,68	0,73
9:30	160	109	117	0,68	0,73
10:00	155	104	114	0,67	0,74
10:30	155	107	112	0,69	0,72
11:00	155	99	119	0,64	0,77
11:30	---	---	---	---	---
12:00	---	---	---	---	---
12:30	151	101	112	0,67	0,74
1:00	158	108	116	0,68	0,73
1:30	160	109	117	0,68	0,73
2:00	158	106	117	0,67	0,74
2:30	154	104	112	0,68	0,73
3:00	165	112	121	0,68	0,73
3:30	154	103	114	0,67	0,74
4:00	152	100	114	0,66	0,75
4:30	143	96	106	0,67	0,74
5:00	144	94	109	0,65	0,76
5:30	160	106	120	0,66	0,75
6:00	170	117	122	0,69	0,72
6:30	154	106	111	0,69	0,72



## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## TERCER PABELLON

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 1963

RA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
30	---	---	---	---	---
00	194	118	153	0,61	0,79
30	---	---	---	---	---
00	182	116	140	0,64	0,77
30	212	136	163	0,64	0,77
00	184	112	146	0,61	0,79
30	183	112	144	0,61	0,79
00	161	98	127	0,61	0,79
30	121	66	100	0,55	0,83
00	128	72	105	0,56	0,82
30	180	117	137	0,65	0,76
00	180	117	137	0,65	0,76
30	210	138	158	0,66	0,75
00	166	106	128	0,64	0,77
30	155	101	118	0,65	0,76
00	172	110	132	0,64	0,77
30	195	131	144	0,67	0,74
00	181	116	140	0,64	0,77
30	184	118	142	0,64	0,77
00	171	108	133	0,63	0,78
30	174	111	134	0,64	0,77
00	179	115	138	0,64	0,77
30	182	118	138	0,65	0,76

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## CUARTO PABELLON

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	---	---	---	---	---
8:00	116	79	85	0,68	0,73
8:30	---	---	---	---	---
9:00	118	81	85	0,69	0,72
9:30	108	65	86	0,60	0,80
10:00	110	69	86	0,63	0,78
10:30	116	75	88	0,65	0,76
11:00	130	87	96	0,67	0,74
11:30	85	38	76	0,45	0,89
12:00	103	48	91	0,47	0,88
12:30	120	80	89	0,67	0,74
1:00	143	93	108	0,65	0,76
1:30	115	77	84	0,68	0,73
2:00	135	89	89	0,71	0,71
2:30	156	104	115	0,67	0,74
3:00	116	80	83	0,69	0,72
3:30	122	78	88	0,64	0,77
4:00	116	73	90	0,63	0,78
4:30	141	97	102	0,69	0,72
5:00	127	86	93	0,68	0,73
5:30	114	74	87	0,65	0,76
6:00	116	76	87	0,66	0,75
6:30	134	90	99	0,67	0,74

MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

PRIMER PABELLON

MARTES 10 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
00	392	237	312	0,60	0,80
00	398	241	317	0,60	0,80
00	419	256	332	0,61	0,79
00	414	247	332	0,60	0,80
00	432	264	342	0,61	0,79
00	420	248	332	0,60	0,80
00	414	252	328	0,61	0,79
00	417	254	331	0,61	0,79
00	405	230	334	0,57	0,82
00	406	234	332	0,58	0,815
00	---	---	---	---	---
00	---	---	---	---	---
00	---	---	---	---	---
00	414	252	328	0,61	0,79
00	422	257	334	0,61	0,79
00	404	245	321	0,61	0,79
00	429	258	343	0,60	0,80
00	409	245	328	0,60	0,80
00	421	257	334	0,61	0,79
00	405	237	328	0,58	0,815
00	400	242	318	0,60	0,80
00	423	269	327	0,63	0,777
00	411	252	326	0,61	0,79

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## SEGUNDO PABELLON

MARTES 10 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	176	130	121	0,73	0,68
8:00	174	125	120	0,72	0,69
8:30	172	118	124	0,69	0,72
9:00	182	128	130	0,70	0,715
9:30	170	122	116	0,72	0,69
10:00	174	124	124	0,71	0,71
10:30	167	120	115	0,72	0,69
11:00	174	122	124	0,70	0,715
11:30	---	---	---	---	---
12:00	---	---	---	---	---
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	175	124	124	0,71	0,71
2:30	164	115	117	0,70	0,715
3:00	168	116	121	0,69	0,72
3:30	174	122	124	0,70	0,715
4:00	170	121	121	0,71	0,71
4:30	180	130	124	0,72	0,69
5:00	165	116	118	0,70	0,715
5:30	170	117	122	0,69	0,72
6:00	166	113	121	0,68	0,73
6:30	167	119	119	0,71	0,71

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## TERCER PABELLON

MARTES 10 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
0	185	133	130	0,72	0,70
0	216	146	157	0,68	0,73
0	188	122	143	0,65	0,76
0	206	134	156	0,65	0,76
0	208	136	158	0,65	0,76
0	202	129	156	0,64	0,77
0	214	146	156	0,68	0,73
0	195	129	146	0,66	0,75
0	162	87	136	0,54	0,84
0	163	90	137	0,55	0,83
0	---	---	---	---	---
0	---	---	---	---	---
0	---	---	---	---	---
0	201	129	155	0,64	0,77
0	183	122	131	0,68	0,73
0	150	97	114	0,65	0,76
0	202	133	152	0,66	0,75
0	184	124	136	0,67	0,74
0	184	124	136	0,67	0,74
0	202	135	150	0,67	0,74
0	192	131	140	0,68	0,73
0	202	139	146	0,69	0,72
0	191	130	140	0,68	0,73

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## CUARTO PABELLON

MARTES 10 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	116	88	75	0,76	0,65
8:00	123	87	87	0,71	0,71
8:30	137	97	97	0,71	0,71
9:00	139	88	108	0,63	0,78
9:30	162	114	116	0,70	0,715
10:00	140	101	97	0,72	0,69
10:30	128	90	91	0,70	0,715
11:00	165	120	112	0,73	0,68
11:30	98	66	71	0,68	0,73
12:00	90	57	70	0,63	0,78
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	143	97	104	0,68	0,73
2:30	152	102	112	0,67	0,74
3:00	171	116	124	0,68	0,73
3:30	140	98	100	0,70	0,715
4:00	142	87	112	0,61	0,79
4:30	146	101	105	0,69	0,72
5:00	131	79	105	0,60	0,80
5:30	202	142	144	0,70	0,715
6:00	123	87	87	0,71	0,71
6:30	140	96	100	0,69	0,72

03  
 MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

PRIMER PABELLON

MIÉRCOLES 11 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

KVA	KW	KVAR	$\cos \phi$	$\text{SEN } \phi$
---	---	---	---	---
404	241	324	0,60	0,80
424	259	336	0,61	0,79
384	220	315	0,57	0,82
412	255	324	0,62	0,785
400	238	321	0,60	0,80
403	245	320	0,61	0,79
395	231	320	0,58	0,815
395	235	318	0,60	0,80
405	238	328	0,57	0,82
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
433	265	342	0,61	0,79
412	247	330	0,60	0,80
390	228	316	0,59	0,807
427	268	332	0,63	0,777
405	250	318	0,62	0,785
393	238	313	0,61	0,79
386	228	311	0,59	0,807
393	230	319	0,59	0,807
335	194	273	0,58	0,815

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## SEGUNDO PABELLON

MIÉRCOLES 11 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	---	---	---	---	---
8:00	140	94	104	0,67	0,74
8:30	150	97	114	0,65	0,76
9:00	123	84	90	0,68	0,73
9:30	130	86	97	0,66	0,75
10:00	120	80	89	0,67	0,74
10:30	124	82	93	0,66	0,75
11:00	131	90	94	0,69	0,72
11:30	---	---	---	---	---
12:00	---	---	---	---	---
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	---	---	---	---	---
2:30	134	91	98	0,68	0,73
3:00	126	84	93	0,67	0,74
3:30	128	83	95	0,65	0,76
4:00	154	103	114	0,67	0,74
4:30	135	89	101	0,66	0,75
5:00	128	86	95	0,67	0,74
5:30	113	77	82	0,68	0,73
6:00	125	84	92	0,67	0,74
6:30	111	72	84	0,65	0,76



## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## TERCER PABELLON

MIÉRCOLES 11 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

ORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
30	—	—	—	—	—
00	167	108	126	0,65	0,76
30	173	118	126	0,68	0,73
00	179	124	129	0,69	0,72
30	157	112	112	0,71	0,71
0	200	138	144	0,69	0,72
30	192	130	140	0,68	0,73
00	170	118	122	0,69	0,72
30	78	43	65	0,55	0,83
00	100	57	82	0,57	0,82
30	—	—	—	—	—
00	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—
00	—	—	—	—	—
30	177	120	129	0,68	0,73
00	196	131	145	0,67	0,74
30	211	152	146	0,72	0,69
00	184	127	132	0,69	0,72
30	218	148	160	0,68	0,73
00	164	115	117	0,70	0,715
30	182	126	131	0,69	0,72
00	164	110	121	0,67	0,74
30	192	130	140	0,68	0,73

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## CUARTO PABELLON

MIÉRCOLES 11 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	---	---	---	---	---
8:00	104	73	74	0,70	0,715
8:30	128	87	93	0,68	0,73
9:00	135	80	109	0,59	0,81
9:30	147	91	115	0,62	0,785
10:00	120	78	91	0,65	0,76
10:30	124	82	93	0,66	0,75
11:00	131	84	101	0,64	0,77
11:30	116	61	99	0,53	0,85
12:00	108	69	83	0,64	0,77
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	---	---	---	---	---
2:30	130	87	96	0,67	0,74
3:00	121	79	92	0,65	0,76
3:30	130	90	94	0,69	0,72
4:00	122	79	93	0,65	0,76
4:30	114	73	88	0,64	0,77
5:00	154	97	120	0,63	0,78
5:30	128	83	97	0,65	0,76
6:00	125	79	98	0,63	0,78
6:30	117	72	92	0,62	0,785

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## PRIMER PABELLON

JUEVES 12 DE SEPTIEMBRE DE 1. 963

KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SIN $\phi$
425	251 ✓	343 ✓	0,59	0,81
435	266 ✓	344	0,61	0,79
428	257	342	0,60	0,80
413	251	328	0,61	0,79
405	238	328	0,59	0,81
426	265 ✓	334	0,62	0,785
419	255	332	0,61	0,79
404	241	324	0,60	0,80
413	250	328	0,61	0,79
416	245	336	0,59	0,81
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
405	237	328	0,58	0,815
415	244	335	0,59	0,81
405	242	325	0,60	0,80
387	234	308	0,61	0,79
420	252	336	0,60	0,80
405	238	328	0,59	0,81
390	232	314	0,59	0,81
401	235	325	0,59	0,81
378	231	299	0,61	0,79
398	237	320	0,59	0,81

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## SEGUNDO PABELLON

JUEVES 12 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	165	109	124	0,66	0,75
8:00	160	102	124	0,64	0,77
8:30	162	105	123	0,65	0,76
9:00	160	108	118	0,68	0,73
9:30	165	114	119	0,69	0,72
10:00	156	104	112	0,68	0,73
10:30	160	106	120	0,66	0,75
11:00	164	110	121	0,67	0,74
11:30	---	---	---	---	---
12:00	---	---	---	---	---
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	155	108	111	0,70	0,715
2:30	170	112	128	0,66	0,75
3:00	169	115	124	0,68	0,73
3:30	167	115	120	0,69	0,72
4:00	168	116	121	0,69	0,72
4:30	166	114	119	0,69	0,72
5:00	164	110	121	0,67	0,74
5:30	156	108	112	0,69	0,72
6:00	160	109	117	0,68	0,73
6:30	92	52	75	0,57	0,82

1

MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

TERCER PABELLON

JURVES 12 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
240	156	182	0,65	0,76
236	158	180	0,66	0,75
214	139	162	0,65	0,76
208	129	164	0,62	0,785
182	111	144	0,61	0,79
144	86	115	0,60	0,80
220	141	170	0,64	0,77
211	137	160	0,65	0,76
125	74	101	0,59	0,81
116	67	95	0,58	0,82
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
200	122	158	0,61	0,79
204	126	160	0,62	0,785
212	131	167	0,62	0,785
182	109	146	0,60	0,80
200	120	160	0,60	0,80
150	91	118	0,61	0,79
182	115	154	0,60	0,80
240	151	187	0,63	0,78
200	114	166	0,57	0,83
218	131	174	0,60	0,80

## MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

## CUARTO PABELLON

JUEVES 12 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	113	79	81	0,70	0,715
8:00	138	94	101	0,68	0,73
8:30	110	69	86	0,63	0,78
9:00	133	90	97	0,68	0,73
9:30	120	73	90	0,61	0,79
10:00	140	92	105	0,66	0,75
10:30	117	78	86	0,67	0,74
11:00	115	75	87	0,65	0,76
11:30	104	62	83	0,60	0,80
12:00	96	56	79	0,58	0,82
12:30	—	—	—	—	—
1:00	—	—	—	—	—
1:30	—	—	—	—	—
2:00	114	82	79	0,72	0,69
2:30	110	67	87	0,61	0,79
3:00	118	72	93	0,61	0,79
3:30	94	61	71	0,65	0,76
4:00	105	66	82	0,63	0,78
4:30	200	130	152	0,65	0,76
5:00	143	86	114	0,60	0,80
5:30	137	96	98	0,70	0,715
6:00	176	114	134	0,65	0,76
6:30	159	106	118	0,67	0,74

## PARA TODA LA FABRICA

LUNES 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

KVA	KW	KVAR	00S $\phi$	SEN $\phi$
799	481	630	0,60	0,80
738	454	582	0,62	0,786
834	508	662	0,61	0,79
794	480	632	0,60	0,80
793	489	624	0,62	0,786
835	509	662	0,61	0,79
581	309	492	0,53	0,85
605	328	508	0,54	0,84
849	528	664	0,62	0,786
893	561	695	0,63	0,78
875	554	678	0,63	0,78
852	534	664	0,63	0,78
847	537	655	0,63	0,78
874	556	674	0,64	0,77
879	556	681	0,63	0,78
850	516	676	0,61	0,79
828	519	645	0,63	0,78
813	504	638	0,62	0,786
834	513	658	0,69	0,72
837	521	655	0,68	0,73
851	537	660	0,67	0,74

MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA  
 PARA TODA LA FABRICA  
 MARTES 10 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	868	588	638	0,68	0,73
8:00	907	599	681	0,66	0,75
8:30	914	593	696	0,65	0,76
9:00	940	597	726	0,64	0,77
9:30	971	636	734	0,65	0,76
10:00	930	602	709	0,65	0,76
10:30	920	608	690	0,66	0,75
11:00	948	625	713	0,66	0,75
11:30	663	383	541	0,58	0,815
12:00	660	381	539	0,58	0,815
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	937	602	711	0,64	0,77
2:30	915	596	694	0,65	0,76
3:00	890	574	680	0,65	0,76
3:30	943	611	719	0,65	0,76
4:00	905	577	697	0,64	0,77
4:30	929	612	699	0,66	0,75
5:00	902	567	701	0,63	0,78
5:30	961	632	724	0,66	0,75
6:00	913	608	681	0,66	0,75
6:30	919	613	685	0,67	0,74



MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA

PARA TODA LA FABRICA

MIÉRCOLES 11 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

KVA	KW	KVAR	$\cos \phi$	$\text{SEN } \phi$
---	---	---	---	---
775	516	570	0,68	0,73
830	561	611	0,67	0,74
775	508	585	0,66	0,75
802	544	590	0,68	0,73
794	534	587	0,67	0,74
798	539	588	0,68	0,73
780	523	579	0,67	0,74
543	339	424	0,62	0,78
567	364	435	0,64	0,77
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
828	563	607	0,68	0,73
809	541	602	0,67	0,74
811	553	593	0,68	0,73
842	577	613	0,68	0,73
827	560	609	0,68	0,73
795	536	587	0,67	0,74
762	514	563	0,67	0,74
762	503	572	0,66	0,75
708	468	531	0,66	0,75

MEDIDAS DE DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA  
 PARA TODA LA FABRICA  
 JUEVES 12 DE SEPTIEMBRE DE 1.963

HORA	KVA	KW	KVAR	COS $\phi$	SEN $\phi$
7:30	897	587	678	0,65	0,76
8:00	925	610	695	0,66	0,75
8:30	868	570	655	0,66	0,75
9:00	869	578	649	0,67	0,74
9:30	822	536	623	0,65	0,76
10:00	818	547	608	0,67	0,74
10:30	871	580	650	0,67	0,74
11:00	848	563	634	0,67	0,74
11:30	596	386	454	0,65	0,76
12:00	583	368	452	0,63	0,78
12:30	---	---	---	---	---
1:00	---	---	---	---	---
1:30	---	---	---	---	---
2:00	825	546	618	0,66	0,75
2:30	865	563	657	0,64	0,77
3:00	873	581	651	0,67	0,74
3:30	790	529	587	0,67	0,74
4:00	858	570	641	0,66	0,75
4:30	888	595	659	0,67	0,74
5:00	861	571	645	0,66	0,75
5:30	889	585	669	0,66	0,75
6:00	889	593	663	0,67	0,74
6:30	828	538	629	0,65	0,76

**CAPITULO CUARTO**

---

---

ASISTENTES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA. ELEC  
CION DEL METODO MAS VENTAJOSO.

EXISTENTES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.-

Para corregir el factor de potencia existen varios métodos.-  
Ellos están basados en la habilidad que tienen ciertas má -  
para entregar a la línea del circuito al que se encuentran  
las, Kvar en adelanto o sea capacitivos.

Considerando un circuito eléctrico que tenga reactancia induc  
ecuación de la impedancia será:

$$Z = R + jX_L$$

cos  $\phi$  de esta ecuación es:

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|}$$

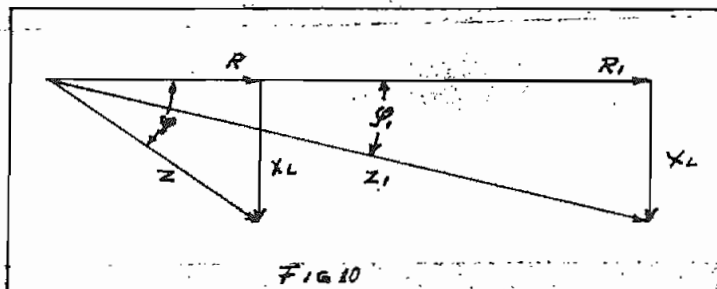
partir de esta ecuación se puede ver que solamente hay dos  
de aumentar el valor del cos  $\phi$  estas son: aumentar el va -  
o disminuir el valor de  $|Z|$  procurando que el denominador  
sea a resistencia pura para que el cociente valga uno, va  
me al que puede llegar el cos  $\phi$ .

primer método o sea el de aumentar la resistencia del cir  
puede efectuar en muy raras casos.

algunas industrias en las que se desea utilizar energía -  
eléctrica, para ciertos procesos, para los cuales, otras  
de energía térmica (carbón, gases, petróleo) sean desventa  
sea porque despiden gases, porque es más difícil contro-  
temperatura, por falta de espacio, etc., se pueden usar re  
las eléctricas.

Al usar estas resistencias como ventaja adicional se obtendría la mejora del factor de potencia. Es cierto que al aumentar la resistencia aumenta también la impedancia, pero como esta última es la media cuadrática de la resistencia y la reactancia aumenta más lentamente que la resistencia.

En el triángulo de impedancias se aprecia más claramente la variación del ángulo  $\varphi$  debido al aumento de la resistencia del circuito.



Donde:

$R$  = Resistencia inicial del circuito.

$R_1$  = Resistencia final con el aumento.

$X_L$  = Reactancia propia del circuito.

$\varphi$  = Ángulo de desfase propio del circuito.

$\varphi_1$  = Ángulo de desfase resultante, después del aumento de resistencia.

Se debe aclarar que la mejora del factor de potencia es solamente una ventaja adicional que viene con la utilización de las resistencias. Usar resistencias con el fin exclusivo de mejorar el factor de potencia, es antieconómico desde todo punto de vista porque hay una disipación constante de energía la cual se debe pagar a la empresa que distribuye la energía eléctrica.

Otra desventaja es que el factor de potencia nunca puede llegar a valer 1, porque siempre existirá la reactancia  $X$  para impedirlo.

se estudiará el método de mejorar el factor de potencia  
reduciendo la impedancia.

La ecuación de la impedancia en forma general es:

$$Z = R + j( X_L - X_C )$$

donde:

- = Impedancia del circuito.
- = Resistencia del circuito.
- = Reactancia inductiva del circuito.
- = Reactancia capacitiva del circuito.

Como se puede ver, la reactancia capacitiva tiene signo contra  
reactancia inductiva, por tanto, en cualquier circuito in  
si se introduce una reactancia capacitiva, puede disminuir  
segundo término de la impedancia hasta llegar a anularlo y  
cambiarle de signo con tal de aumentar en el circuito sufi -  
cientemente la reactancia capacitiva.

Lo que ahora interesa es, intercalar en el circuito máquinas  
que presenten reactancia capacitiva para conseguir la  
reducción de la impedancia antes mencionada.

Entre las máquinas que presentan reactancia capacitiva o, lo  
que es lo mismo, son capaces de entregar al circuito potencia reac  
tante adelantada, podemos agruparlas en dos tipos:

1. Máquinas que por principio mismo de funcionamiento poseen  
reactancia capacitiva como es el caso de los condensadores -

2. Máquinas que sin tener, por principio, reactancia capaci

tiva, son capaces, bajo ciertas condiciones, de liberar potencia reactiva en adelanto, comportándose entonces, como máquinas del tipo anterior, como es el caso de las máquinas sincrónicas, motores asincrónicos de inducción sobreescitados, y los generadores de inducción.

A continuación se hace un estudio especial de las máquinas - incluidas en los dos apartados, para conocer qué principio de funcionamiento hace que estas máquinas presenten reactancia capacitiva para mejorar el factor de potencia. Los principios y leyes fundamentales no serán objeto de este estudio, sino sólo en los aspectos que interesan.

#### CONDENSADORES ESTÁTICOS.

Los condensadores estáticos son máquinas eléctricas que por su principio de funcionamiento presentan reactancia capacitiva al ser conectados a un circuito por el que circule una corriente alterna. Esto se debe a que los condensadores son capaces de almacenar en su campo electrostático cierta cantidad de energía, la cual se descarga al circuito con una corriente que está  $90^\circ$  en adelanto a la tensión, en fase de tiempo, (~~Cap~~ - 1).

Físicamente un condensador está compuesto por hojas metálicas muy finas separadas por un dieléctrico que puede ser aire, papel, mica, porcelana. Si el dieléctrico es papel, éste puede ser seco o impregnado en algún líquido que mejore sus cualidades dieléctricas.

El proceso por el cual los condensadores estáticos mejoran el factor de potencia es el siguiente: supóngase un circuito inductivo por el que está circulando una corriente alterna sinusoidal y que tiene un condensador conectado en paralelo. Durante el primer

de ciclo, cuando la tensión aumenta de un valor cero a un -  
positivo, el condensador almacena energía en su campo elec-  
tástico, mientras que la inductancia, en este mismo instante, -  
la energía acumulada en su campo electromagnético. Al si -  
de cuarto de ciclo, cuando la tensión disminuye de su valor -  
positivo a su valor cero, la inductancia almacena energía -  
campo electromagnético, mientras el condensador comienza a -  
rgarse, o sea a entregar al circuito la energía acumulada en  
po electrostático. La energía fluctúa del condensador a la -  
tencia siempre que hayan estos dos elementos en el circuito ;  
no existe condensador, la corriente magnetizante absorbida  
a inductancia tiene que ser suministrada por la red que ali -  
al aparato con las consiguientes desventajas.

A los condensadores, se los puede considerar como generadores  
tencia reactiva constante e independiente del circuito exter-  
a potencia de los condensadores depende de su capacidad, pará  
propio del condensador, y no se la puede variar por ningún -  
como no sea cambiándolo la tensión de alimentación.

Existe una posibilidad de mejorar el factor de potencia que -  
mita a líneas de transmisión solamente, pero en estos días en  
ue la transmisión de potencia se hace en gran escala, a gran-  
distancias y con tensiones altas, el costo de una línea de -  
misión es elevado e interesa, por tanto, tener un máximo ren-  
to de ellas, ocupándelas en un 100 % con potencia activa.

Visto ya el derroche que se hace en la inversión cuando la po  
a a transmitirse tiene factor de potencia bajo, se ha tratado,  
todos los medios, de mejorar el factor de potencia en las lí -  
de transmisión.

Como se sabe, en toda línea de transmisión si es aérea, lo -

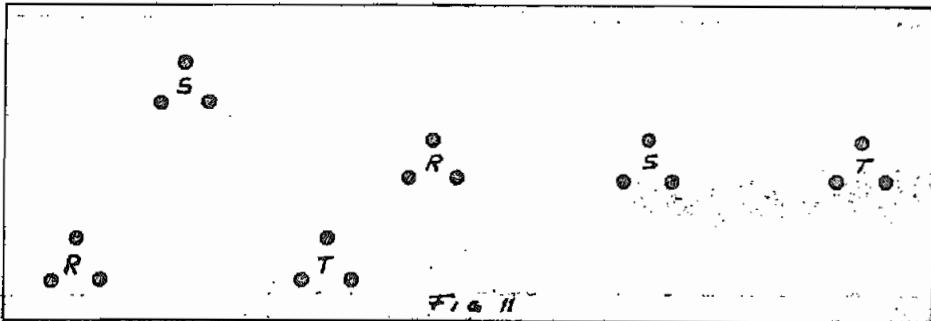


que sucede en casi todos los casos, existe inducción mutua entre los conductores, existe también una pequeña capacidad entre ellos, ya que como se dijo al hablar de los condensadores estáticos, un capacitor no está compuesto sino de dos materiales conductores separados por un dieléctrico.

En una línea de transmisión los materiales conductores son - las fases de la línea, el dieléctrico: el aire. Por tanto, hay un condensador aún que su efecto para líneas cortas y de tensiones - no muy altas es despreciable, en líneas largas y de altas tensiones, puede ser su efecto el que cuente y no el inductivo.

Pues, en las líneas de transmisión de diseño moderno se trata de incrementar este parámetro de la línea: la capacitancia, aún - en líneas cortas y de tensiones bajas para que haya una autoregulación del  $\cos \varphi$  de la potencia que se transmite.

Se consigue aumentar la capacitancia en las líneas de transmisión separando cada fase en varios conductores, los que se disponen simétricamente. Lo común es arreglar tres conductores formando un triángulo equilátero por fase. Con esto el potencial al que se encuentra cada fase, se distribuye en un espacio mayor.



Como que la capacidad de un condensador es directamente proporcional a su superficie.

$$C = k A$$

ndet

- = Capacidad.
- = Constante de proporcionalidad.
- = Area de las placas que forman el condensador.

El área aumenta notablemente porque no sólo representa área conductor neta, sino, además, el espacio comprendido en - conductores de la misma fase, que por ser menor que el es que separa a las dos fases se ionizará desempeñando el pa - área neta del conductor.

Una ventaja adicional que se tiene cuando se abre en varios toros la misma fase en una línea de transmisión es que el - para construcción y mantenimiento se hace más fácil aún - el costo de la línea (conductores, aisladores) aumenta ligera . Esto constituye una ventaja porque no se tiene que manejar toros extremadamente gruesos y pesados cuando las potencias transmisión son grandes, sino conductores más livianos y delga

Estas dos características hacen que este método se vaya impo o rápidamente en la construcción de líneas de transmisión.

Desafortunadamente, este método tan fácil de corregir el fae e potencia, como se dijo al comienzo, se limita tan sólo a - a de transmisión.

#### MAS SINCRONICAS.

El principio de construcción y funcionamiento de las máquinas ónicas es el mismo, ya sea generador, motor o condensador sin co, poseen los mismos elementos: un arrollamiento por el que

circula corriente continua llamado excitación y un arrollamiento por el que circula corriente alterna.

Si una máquina sincrónica recibe energía mecánica de un motor primario, que puede ser motor a diesel, hidráulico o turbina de vapor y entrega potencia eléctrica, está actuando como generador sincrónico.

Si la misma máquina recibe energía eléctrica de una red y entrega potencia mecánica en su eje, está actuando como motor sincrónico.

Si esta máquina recibe de la red de energía eléctrica la potencia necesaria para cubrir sus pérdidas solamente (pérdidas por cobre, rozamiento y ventilación) y no desarrolla ningún torque en su eje, entonces está actuando como condensador sincrónico.

En todos los casos estas máquinas no pueden actuar sino a una sola velocidad: la sincrónica, siempre que la frecuencia se considere constante.

En un generador la frecuencia es función de la velocidad del motor primario, en un motor o en un condensador sincrónico la velocidad es función de la frecuencia.

En todos los casos las masas volantes y los devanados amortiguadores se emplean con el mismo fin: evitar el penduleo.

Para estudiar este tipo de máquinas es necesario referirse al diagrama vectorial que es la manera más fácil de "visualizar" el comportamiento dinámico de las máquinas eléctricas en general.

Los motores sincrónicos, salvo raras excepciones, y los genera-

Los sincrónicos de baja velocidad se construyen: de polos salientes los generadores sincrónicos de alta velocidad, y los condensadores sincrónicos se construyen de rotor cilíndrico.

Las dos clases de rotor dan una diferencia notable en su comportamiento y construcción. El rotor cilíndrico no tiene arrolladores amortiguadores, ni masas volantes, ya que como tales utiliza la energía cinética de sus partes móviles y además carece de distorsión del inducido, o mejor dicho, la reacción del inducido no produce distorsión en la onda de flujo; esto para una máquina sin polos salientes no es verdad, porque los efectos tanto de la reacción como de la reacción del inducido son notables.

Se utiliza el diagrama vectorial de una máquina de rotor cilíndrico que es bastante más simple que el de las máquinas de polos salientes. No se podría hacer esto si se desearan resultados exactos del diagrama vectorial, pero como para este tema interesa más las posiciones relativas de los vectores antes que las magnitudes exactas de ellos, podemos hacer esta aproximación con seguridad de tener las posiciones correctas sin recurrir a reacciones exageradas que son más laboriosas y no traen ninguna ventaja adicional.

Que el diagrama vectorial pueda usarse sea como que la máquina sincrónica funcione como motor, condensador o generador se verifica ampliamente analizando los diagramas vectoriales siguientes.

Donde:

$V$  = Aumento de voltaje de terminales por fase para el caso en que la máquina funcione como generador.

$-V$  = Caída de tensión de terminales, funcionamiento de la máquina como motor.

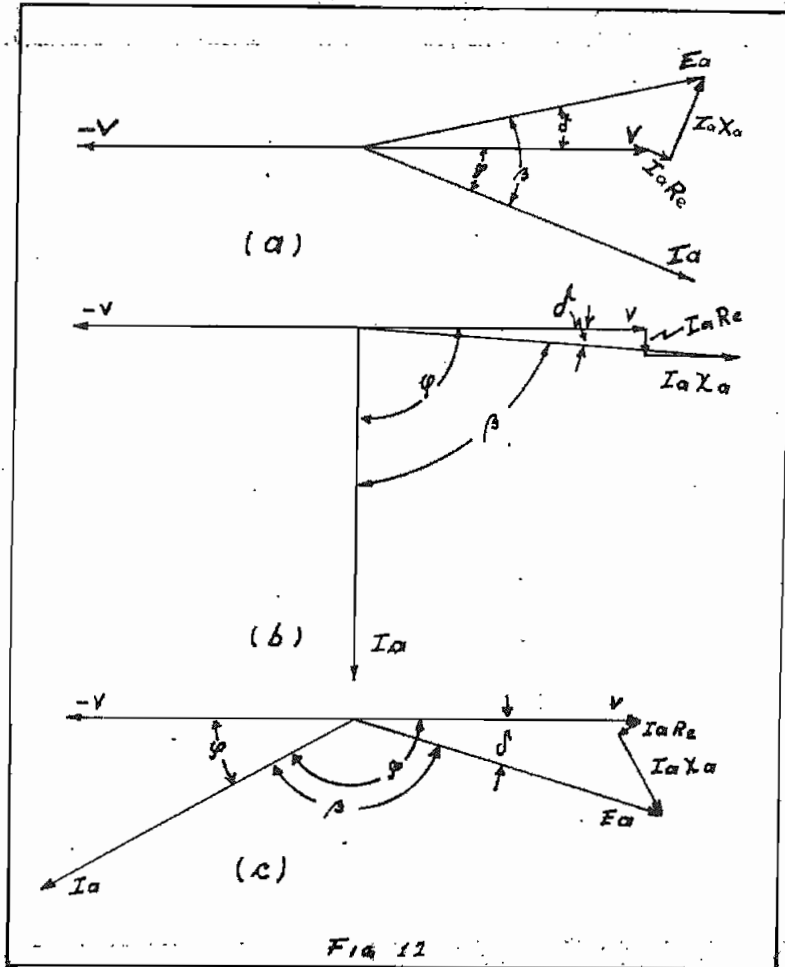
$I_a$  = Corriente de fase.

$E_a$  = f.e.m. inducida por el flujo del entrehierro.

$R_e$  = Resistencia efectiva de armadura por fase.

$X_e$  = Reactancia mutua de armadura por fase.

$n$  = Número de fases.



Se va a suponer que una máquina sincrónica está funcionando como generador, alimentando a una carga que tiene una corriente en atraso. Fig. 12 (a). Mientras el generador funcione bajo las condiciones establecidas al trazar el diagrama vectorial ninguna causa puede hacer variar la frecuencia ni el voltaje de terminales, mientras la excitación y la velocidad del motor primario permanezcan

es.

estas condiciones la potencia de entrada es:

$P_{in} = E_a I_a \cos \beta$  (igual a la salida eléctrica más las pérdidas por rozamiento, núcleo, ventilación).

La potencia mecánica aplicada al eje por el motor primario es, la salida eléctrica instantánea del generador más las pérdidas. Si las pérdidas son mayores que la entrada mecánica, el equilibrio dinámico antes preveía, desaparece. El vector  $E_a$  frena momentáneamente pero como el vector  $V$  sigue girando a velocidad constante, el avance de  $E_a$  lo acerca al vector  $V$ , esto hace que el ángulo  $\delta$ , de potencia disminuya de valor disminuyendo la salida eléctrica hasta que se establezca nuevamente el equilibrio dinámico, la potencia mecánica sigue igual a la salida eléctrica más las pérdidas pero las posiciones relativas de los vectores no son las que ocupaban antes del cambio en la carga.

Si la potencia mecánica de entrada disminuye hasta que la potencia sea cero. Fig. 12 (b).

Para que la salida de terminales sea cero, la corriente  $I_a$  debe estar desfasada un ángulo de  $90^\circ$  con respecto a la tensión  $V$ .

En este caso la máquina sincrónica no funciona ni como motor, ni como generador, simplemente fluctúa en la red sin consumir ni producir energía eléctrica. La potencia mecánica que consume es necesaria para cubrir sus pérdidas. En este caso ha variado el ángulo de potencia  $\delta$  y los demás vectores se han ajustado hasta ajustarse a esta nueva condición.

La máquina trabajaría en las mismas condiciones si las pérdidas se cubren la red a la que se halla conectada y no el motor.

primario, desempeñando entonces las funciones de un generador de potencia reactiva. Esto es exactamente lo que acontece cuando una máquina sincrónica trabaja como condensador sincrónico. Como las pérdidas las está cubriendo la red de energía eléctrica, el eje no está desarrollando torque alguno.

La corriente que se encuentra a  $90^\circ$  en atraso con respecto a la tensión de terminales  $V$  está también a  $90^\circ$  en adelanto con respecto a la caída de tensión de terminales  $(-V)$  que es la que cuenta, porque es la diferencia de potencial de la red la que se hace presente en los terminales de la máquina. La máquina sincrónica - en estas condiciones desempeña el papel de una reactancia capacitiva pura.

Ahora la máquina sigue conectada a la red del sistema eléctrico pero la potencia mecánica de entrada ha sido reemplazada por una carga mecánica en el eje para que sea movida por la máquina y que este cambio es instantáneo. En el primer momento la salida mecánica más las pérdidas consumen una energía que es suministrada por la energía cinética de las partes móviles de la máquina la cual frenará momentáneamente hasta que el ángulo de potencia  $\delta$  aumente de valor y todos los vectores cambien de posición hasta que se establezca el equilibrio. Con este frenaje, el vector  $E_g$  desliza con respecto al vector  $V$  el cual sigue girando a la velocidad sincrónica, la corriente  $I_g$  deslizará también con respecto a  $V$  ó, lo que es lo mismo, se acercará, en fase, al vector  $(-V)$ .  
Fig. 12 (c).

En estas condiciones la máquina sincrónica está trabajando como motor sincrónico.

Con este ligero análisis se demuestra que el diagrama vectorial es el mismo para los tres casos y que, por tanto, su estudio

puede hacer de una manera general, como que las reacciones  
 las mismas, variando solamente las posiciones relativas de  
 los vectores.

④

#### ESENCIA DE LA VARIACION EN LA CARGA DE UNA MAQUINA SINCRONICA.

La ecuación de la velocidad de este tipo de máquinas es:

$$V = \frac{2 f}{p} \quad 60 \quad (\text{R.P.M.})$$

donde:

- = Velocidad de la máquina en revoluciones por minuto.
- = Frecuencia de la red.
- = Número de polos de la máquina.

En la velocidad no intervienen sino la frecuencia, característica  
 externa a la máquina, el número de polos, característica de  
 construcción. No depende, por tanto, ni directa ni indirectamente  
 de la carga de la máquina.

En los motores asincrónicos de inducción hay cambios en la  
 velocidad cuando varía la carga.

Si se aumenta la carga en un motor tipo shunt de corriente  
 alterna, disminuye la f.c.e.m., con lo que disminuye la velocidad.  
 Si se aumenta la corriente de armadura lo suficiente para que  
 el motor se adapte a la nueva condición de carga.

En un motor tipo serie de corriente continua, la variación de  
 velocidad con la carga es más notable todavía.

En las máquinas sincrónicas no existe esta válvula de escape,  
 por lo que la velocidad cuando varía la carga, puesto que si se



si aumenta la carga variará la velocidad instantánea pero la velocidad promedio permanece constante. Si la carga sigue aumentando la máquina se vuelve inestable o se sale de sincronismo y se para.

El efecto de la variación de la carga en una máquina sincrónica se ve a continuación.

La corriente que circula por una máquina sincrónica está dada por la ecuación:

$$I_a = \frac{V - E_a}{R_a + jX_a} = \frac{V - E_a}{Z_a}$$

Y si  $E_a = V - E_a$  entonces queda:

$$I_a = \frac{E_a}{Z_a}$$

Todas son cantidades vectoriales.

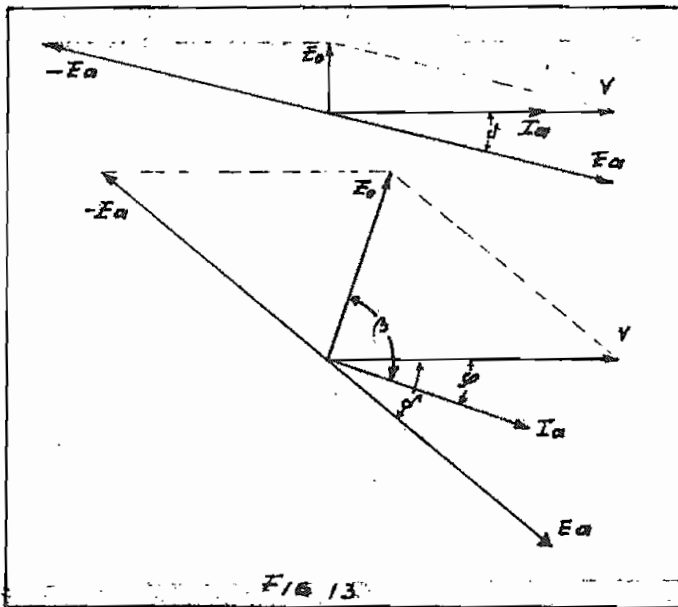
Se supone que la excitación es la normal y permanece constante para todos los cambios en la carga, en ese caso la corriente  $I_a$  estará en fase con la tensión  $V$ .

El ángulo  $\beta$  es constante porque depende de los parámetros de la máquina y vale aproximadamente  $90^\circ$  porque  $X_a$  es mucho mayor que  $R_a$ . Para este caso se supone que vale  $90^\circ$ .

La f.c.m. es la componente de tensión de terminales que equilibra a la f.c.e.m. ( $E_a$ ) para estas condiciones establecidas se ha dibujado el diagrama vectorial de la Fig. 13 a.

Si aumenta la carga de la máquina Fig. 13 b, la f.c.e.m. ( $-E_a$ ) atrasa un cierto ángulo que depende de la magnitud de la carga. La tensión de terminales permanece constante, a consecuencia del des-

ento de la f.c.e.m. aparece una tensión  $E_0$  que tiene una pe diferente que en el caso anterior. La corriente  $I_a$  estará a la tensión  $E_0$ . Ya no estará en fase con la tensión  $V$  sino apará una posición diferente forzando con la tensión  $V$  un án cuyo coseno será el factor de potencia de la máquina.



En lo anterior se ve claramente que variando la carga en una máquina síncrona, se puede variar su factor de potencia y el de la fuente que lo alimenta. Su velocidad, con los cambios en la carga, no varía, sigue siendo la velocidad síncrona.

El análisis anterior se hizo para un motor o un condensador síncrono; para un generador, los desplazamientos de los vectores  $E_0$  y  $I_a$  respecto a  $V$  son a la inversa; pero, en resumen, son los mismos.

Regular el factor de potencia de una máquina síncrona variando la carga, es un medio antieconómico por las siguientes razones:

1. desperdicia la potencia de la máquina porque la carga está sujeta a la demanda de energía reactiva.

2o.- Si se trata de regular la carga de máquinas grandes, se deben maniobrar potencias grandes, las cuales son difíciles de manejar.

3o.- Es difícil encontrar cargas que se puedan variar a voluntad.

4o.- El margen de regulación por este método es bastante limitado.

Por todas las desventajas enunciadas no se usa la variación de la carga como medio para regular el factor de potencia de la máquina y compensar la red.

Otra causa que no ha permitido que se preste atención a este método de compensar el  $\cos \varphi$  es que hay otra manera más fácil y más amplia de regular el factor de potencia de las máquinas sincrónicas variando la excitación de la máquina, método del cual nos ocuparemos a continuación.

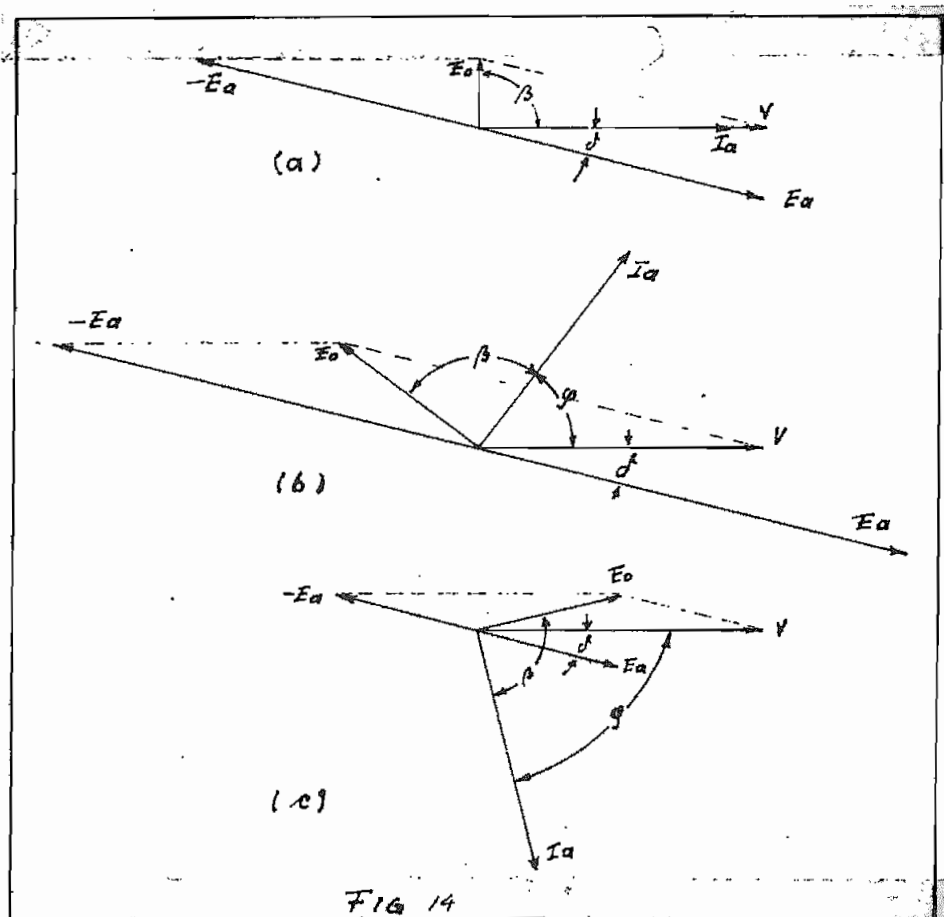
#### EFFECTOS DE VARIAR LA EXCITACION DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS.

Para estudiar los efectos de variar la excitación de las máquinas sincrónicas podemos referirnos al diagrama vectorial del caso (a) de la figura anterior. Supóngase, ahora, que se mantiene constante la carga y que la excitación es la normal con lo cual la corriente  $I_a$  estará en fase con  $V$ .

Si aumentamos la excitación quiere decir que estamos aumentando la magnitud de la f.c.e.m. ( $-E_a$ ). La tensión en terminales permanece constante,  $E_o$  que es la resultante de  $V$  y ( $-E_a$ ) aumentará de magnitud y disminuirá su ángulo de atraso con respecto a ( $-E_a$ ).

A  $\beta^\circ$  de  $E_o$  se encuentra  $I_a$ . El ángulo  $\beta$  no varía porque depende de los parámetros de armadura; pero entre la tensión de termina

y la corriente  $I_a$  hay ahora un ángulo  $\varphi$  en adelanto con res-  
 pecto a  $V$ . Case (b).



Si a partir de las condiciones iniciales disminuimos la exci-  
 tación de la máquina, en este caso se disminuye la magnitud de la  
 EMF ( $E_a$ ) y como la tensión de terminales permanece constante,  
 el resultante  $E_0$  de  $V$  y  $(-E_a)$ , disminuirá de magnitud y quedará con  
 un ángulo de atraso mayor con respecto a  $(-E_a)$ . La corriente  
 que se halla a  $\beta^\circ$  de  $E_0$  quedará con un ángulo  $\varphi$  en atraso con  
 respecto a  $V$ . Case (c) de la Fig. 14 El factor de potencia estará  
 dado por el  $\cos \varphi$  el cual para una disminución de la excitación es  
 menor y la corriente quedará en atraso con respecto a la tensión de terminales.

Se ha tomado la excitación normal como condición inicial de la variación, solamente para que se vea más fácilmente su efecto, las mismas reacciones ocurren sea que la corriente se encuentre en fase con la tensión o en cualquier otra posición.

En resumen: variando la excitación de las máquinas sincrónicas se puede regular el factor de potencia de la máquina y por consiguiente de la red o sistema eléctrico al que se encuentra conectada la máquina.

Las ventajas que presenta este método de regulación son:

- 1o.- Como la excitación es de corriente continua, la regulación de la excitación se la puede hacer con un simple reóstato.
- 2o.- Como la potencia que absorbe la excitación de una máquina sincrónica es pequeña, el equipo para controlar potencias pequeñas aún que sea automático es barato.

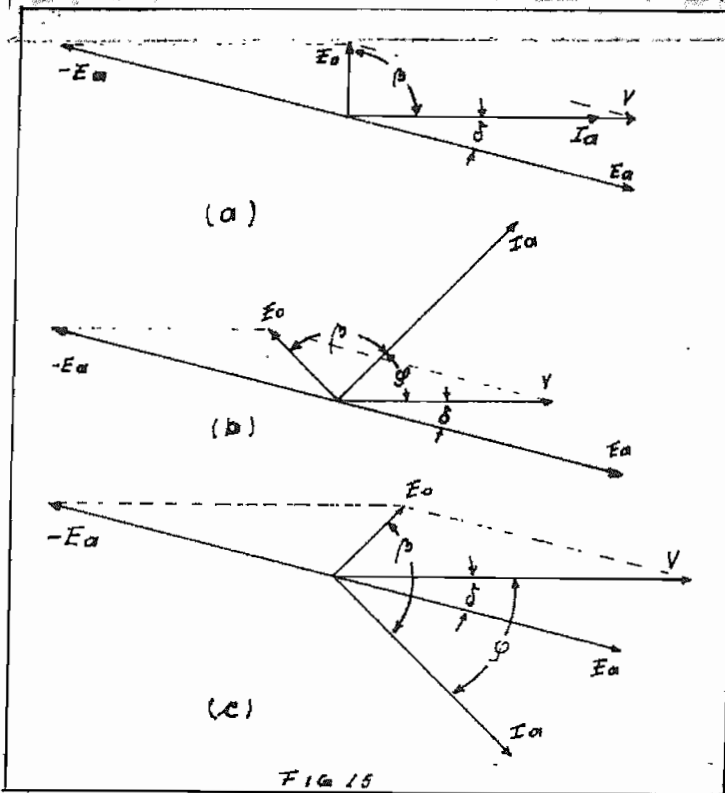
La potencia de excitación es pequeña porque sólo cubre las pérdidas por cobre ( $I^2R$ ) de su propio arrollamiento. Las pérdidas por cobre de armadura, pérdidas por hierro, rozamiento, ventilación las cubre la red a la que se halla conectado, si es motor o condensador y el motor primario en el caso de un generador sincrónico.

- 3o.- El margen de variación del factor de potencia es tan amplio que puede hacerse trabajar a la máquina como generador de potencia reactiva para sea en adelanto o en atraso.

- 4o.- Para regular la tensión de excitación solo se necesita controlar su magnitud, no hay que cuidar relación de fase ni nada parecido.

La simplicidad del control del factor de potencia por medio de la excitación no es la única ventaja que hace de las máquinas sin-

tensión de la red absorbiendo más potencia de la que requiere.



Es decir que la máquina sincrónica hace las veces de un volante estabilizador de la tensión, dando a la red una regulación automática del parpadeo o flicker. Esto es muy ventajoso para redes que alimentan cargas instantáneas grandes como arranques de motores de inducción, soldadoras, etc.

Existe una propiedad que se limita solamente a los motores sincrónicos de polos salientes polifásicos, los cuales al ser conectados a sistemas desequilibrados de tensiones son capaces de absorber potencia de la fase o fases con voltaje alto para entregarlas a la fase o fases con voltaje bajo o sobrecargadas actuando de este modo como un compensador de fases. Este efecto se debe principalmente a su devanado amortiguador que actúa para las fases con voltaje bajo como generador de inducción entregando potencia a éstas, potencia que absorbe de la fase o fases con voltaje alto para las cuales desempeña el papel de motor de inducción.

Todas estas propiedades hacen de las máquinas sincrónicas las más preferidas para mejorar el factor de potencia de un sistema al mismo tiempo que ayudan a la estabilidad de la red y equilibran los sistemas.

#### GENERADORES DE INDUCCIÓN.

El generador de inducción no es sino un motor asincrónico de inducción que se halla trabajando con una velocidad superior a la sincrónica.

Si se considera que un motor de inducción trabaja con un deslizamiento positivo cuando trabaja con una velocidad inferior a la sincrónica, un generador de inducción trabajará con un deslizamiento negativo porque trabaja con una velocidad superior a la sincrónica. Este deslizamiento negativo se lo dará aceptándole al de la máquina un motor primario que lo arrastre a la velocidad deseada, la carga será en este caso la red a la que se encuentra conectado el generador.

Si se considera que una máquina de inducción está trabajando como motor, la corriente en el rotor estará dada por:

$$I_2 = \frac{E_2 s}{R_2 + jX_2 s}$$

Racionalizando esta expresión, tenemos:

$$I_2 = E_2 \left( \frac{R_2 s}{R_2^2 + s^2 X_2^2} - j \frac{s^2 X_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} \right)$$

Donde:

$I_2$  = Corriente en el rotor.

$E_2$  = f.e.m. inducida en el circuito del rotor.

$R_2$  = Resistencia de las barras inductoras del rotor.

$X_2$  = Reactancia del circuito del rotor referida a la frecuencia del estator.

$s$  = Deslizamiento del motor.

La corriente por tanto tiene la ecuación de la forma general:

$$I_2 = A - jB$$

Ahora la misma máquina funciona como generador de inducción, como su deslizamiento es negativo bajo estas condiciones, la ecuación de la corriente en el rotor es:

$$I_2 = E_2 \left( \frac{(-s) R_2}{R_2^2 + (-s)^2 X_2^2} - j \frac{(-s)^2 X_2}{R_2^2 + (-s)^2 X_2^2} \right)$$

$$= E_2 \left( - \frac{s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} - j \frac{s^2 X_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} \right)$$

En este caso la corriente tiene la ecuación de la forma general.

$$I_2 = -A - jB$$

Es una corriente que adelanta a la tensión.

También en este caso se tiene una máquina que siendo inductiva por principio de funcionamiento al ser arrastrada a una velocidad super sincrónica desempeña en la red el papel de una reactancia capacitiva.

Se debe tener en cuenta que no es la naturaleza del circuito la que cambia de inductiva a capacitiva, porque el circuito rotorico del generador de inducción sigue siendo inductivo, sino que



riente del rotor cambia de signo si, y solamente si se la -  
za con el campo magnético giratorio del rotor. Esto es que  
velocidad con la que gira el rotor es mayor a la velocidad con  
gira el campo magnético del estator (velocidad que depende  
frecuencia de la red), por esta razón la corriente del rotor  
que atrasando a la tensión del rotor pasará por su valor -  
en el estator antes que la tensión del estator, dando como  
de una corriente adelantada a la tensión.

el generador tiene una relación de 1 : 1 entre el estator  
rotor y se desprecia la corriente magnetizante y las caídas  
resistencia y reactancia del estator el factor de potencia del  
rotor estará dado por:

$$\cos \varphi = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + s^2 X_2^2}}$$

tonces el factor de potencia estará determinado por los pa  
de del rotor y el deslizamiento del generador, siendo con -  
te independiente del factor de potencia de la carga.

que el deslizamiento es pequeño, el segundo término del deno  
se puede despreciar y nos quedaría que el  $\cos \varphi = 1$ .

re la corriente de excitación no se la puede despreciar por  
ne un valor alto, así como tampoco se puede despreciar la  
or resistencia y reactancia en el estator. En este caso el  
de potencia del generador es de 0,90 para plena carga y a  
s menor.

racterística peculiar de este tipo de aparatos es que entre  
encia a la carga (la red a la que se encuentran conectados)  
te si ésta tiene una componente en atraso capaz de absorber  
brar la corriente en adelanto producida por el generador -

de inducción. Si la carga no absorbe esta corriente, el generador pierde su excitación y su voltaje se reduce a cero inmediatamente. Este hecho obliga a emplear máquinas sincrónicas para que trabajen en paralelo con el generador de inducción, para que sea la máquina sincrónica la que absorba la componente de corriente en adelante producida por el generador, cuando la carga no puede absorber toda esta componente.

La máquina sincrónica, por tanto, debe trabajar a un factor de potencia menor que la carga. La máquina sincrónica sirve también para estabilizar la tensión y la frecuencia del generador de inducción.

Desde todo punto de vista el uso de los generadores de este tipo tiene un campo de aplicación más restringido y su utilización no es ni más económica ni más adaptable que cualquiera de los métodos anteriores para corregir el factor de potencia; las únicas ventajas que talvés contarían son:

- 1o.- No es necesario sincronizarlos.
- 2o.- Están libres de penduleo.
- 3o.- Son de construcción más simple.

El uso de los generadores de inducción, obliga utilizar una máquina sincrónica para que trabaje en paralelo con él, a más del motor primario que debe mover al generador y esto para tener un factor de potencia que no se adapta a las necesidades de la carga.

#### MOTORES DE INDUCCION SOBRESALCIDOS.-

Los motores de inducción de rotor en cortocircuito tienen los parámetros del rotor constantes, el deslizamiento varía única

con la carga, la corriente que absorbe será en atraso y no manera de intervenir en los parámetros del rotor ni en la corriente o f.e.m. inducida para controlar el factor de potencia de las máquinas. La única manera de controlarlo es con medios externos, pero lo que interesa ahora es encontrar medios para controlar el factor de potencia dentro de la máquina.

El tipo de motores de inducción de rotor bobinado es el único que se presta para controlar el factor de potencia interviniendo en los anillos rozantes del rotor para inyectar una f.e.m. externa de frecuencia igual a la frecuencia del rotor o, lo que es lo mismo, de frecuencia igual al deslizamiento, de magnitud variable y cuyo ángulo de fase se encuentre a  $90^\circ$  de la corriente del rotor o en cuadratura con la f.e.m. inducida en el rotor  $e_{i_2}$  para obtener un ángulo de fase resultante ya sea en adelanto o en atraso.

Esto se explica por sí mismo si nos referimos al diagrama vectorial del motor de inducción.

Suponiendo un motor de inducción trifásico, de relación 1:1 entre el rotor y el estator y considerando solamente valores por unidad de los parámetros, voltajes y corrientes, el diagrama vectorial es el que se indica a continuación. Donde:

$R_2$  = Resistencia del rotor.

$X_2$  = Reactancia del rotor.

$I_2$  = Corriente del rotor.

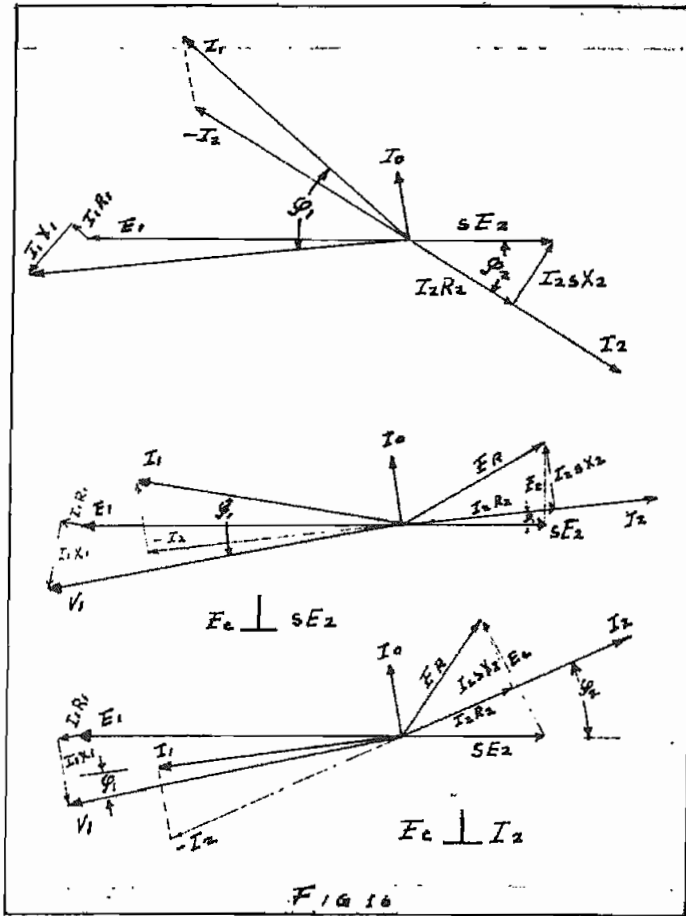
$s$  = Deslizamiento.

$E_1$  = f.c.e.m.

$I_m$  = Corriente de excitación a vacío.

$I_1$  = Corriente de línea.

$V_1$  = Tensión de terminales.



En funcionamiento normal, la corriente  $I_2$  atrasa a la f.e.m.  $E_2$  del rotor, en estas condiciones el factor de potencia que tiene el motor es en atraso, y en terminales la corriente  $I_1$  atrasará a la tensión  $E_1$  formando un ángulo  $\phi_1$ .

Si se inyecta una f.e.m.  $E_2'$  al rotor y que esta f.e.m. se halle en cuadratura con la corriente  $I_2$  en tal forma que neutralice

caída de tensión por reactancia ( $jI_2X_2$ ) en este caso quedaría  
se la corriente  $I_2$  con la tensión  $sE_2$ .

Si la f.e.m. tiene una magnitud mayor que la supuesta en el  
anterior, el factor de potencia en el rotor será en adelanto.

La caída de tensión por resistencia y reactancia en el esta-  
de debe sumarse en cualquiera de los dos casos con lo que el -  
factor de potencia en terminales, cuando la tensión  $E_2$  está en fa-  
se con la corriente  $I_2$ , será en atraso pero tendrá un valor menor  
cuando no se inyectaba la f.e.m.

Si el factor de potencia del rotor es adelantado la corrien-  
te en el estator puede estar en fase con el estator o en adelanto  
siempre será menor que el factor de potencia del rotor porque  
se resta la caída de tensión por impedancia del estator.

Se debe cuidar que la f.e.m. inyectada al rotor tenga la mis-  
ma frecuencia que éste y que se halle en cuadratura ya sea con la  
tensión  $E_2$  o con la f.e.m. inducida en el rotor, variando sola-  
mente su magnitud.

Si la f.e.m. inyectada varía en fase o en frecuencia habrá -  
un componente de esta f.e.m. que se suma o se resta con la caída  
de tensión por resistencia en el rotor ( $I_2R_2$ ). Como que la carga  
de un motor de inducción equivale a una resistencia pura interes-  
ante en el circuito rotórico (Capítulo I, motores de inducción)  
se se hace es variar el deslizamiento de la máquina, al mismo  
tiempo, se varía la caída de tensión por reactancia.

Como el deslizamiento determina la velocidad a la que gira -  
el rotor, se varía la velocidad simultáneamente con la variación  
del factor de potencia, llegando la máquina a girar aún a veloci-

dad supersincrónica si la f.e.m. inyectada tiene la magnitud suficiente para ello.

La acción de un motor de inducción sobreescitado que gira a velocidad supersincrónica, sin embargo, no debe confundirse con la acción de un generador de inducción, porque en este caso el motor de inducción sigue funcionando con carga mecánica en el eje y la potencia es la suma de la que se transfiere magnéticamente del estator al rotor y una pequeña potencia que se transmite, por conducción, desde el sistema eléctrico que inyecta al f.e.m. en los anillos rozantes, al eje del motor.

En el generador de inducción la potencia se transfiere desde el motor primario al eje y de éste al estator en cuyos terminales está conectado el sistema que se compensa.

Para sobreescribir un motor asincrónico de inducción se requiere tener un control de la magnitud de la f.e.m., un dispositivo capaz de comparar la frecuencia de la f.e.m. inyectada y de la f.e.m. inducida en el rotor, y que varíe la frecuencia de acuerdo con el deslizamiento. Debe, además, haber un control de la relación de fase entre estas dos f.e.m.s.

Todo esto hace pensar en un equipo delicado y bastante sensible, y como se deben regular varias magnitudes simultáneamente, cosa difícil de hacerlo a mano, el equipo debe ser automático.

Este método quedará limitado a corregir el factor de potencia de grandes motores de inducción, por ejemplo, los que se utilizan en laminadoras de acero, para el control del factor de potencia - hacerlo en los motores individualmente.

Con este método no se puede pensar en corregir el factor de potencia de un sistema por las siguientes razones:

107

Por el costo del equipo de regulación; y,  
Porque no se puede inyectar una f.e.m. muy grande al rotor,  
pues las pérdidas en el hierro calentarían al rotor demasiado.  
Esta f.e.m. grande, apenas si se llegaría a un pequeño factor  
potencia en adelante, restando las pérdidas por impedancia en  
el estator.

Con este estudio se da por terminada la exposición de los métodos  
existentes para corregir el factor de potencia.

Todos los métodos presentan una reactancia capacitiva a la que  
se hallan conectados, eliminando la componente reactiva  
en atraso de la corriente del circuito, consiguiéndose las siguientes  
ventajas:

Reducen la corriente en atraso componente del circuito.

Aumenta el voltaje de la carga.

Mejoran la regulación de voltaje, si las máquinas destinadas  
a corregir el factor de potencia están bien controladas.

Reducen las pérdidas de potencia ( $I^2R$ ) del sistema a causa  
de la reducción de corriente.

Reducen los KVAs de pérdida ( $I^2X$ ) en el sistema debido a la  
reducción de corriente.

Aumentan el factor de potencia de los generadores.

Disminuyen los KVA de carga de los generadores los cuales pueden  
cargarse con KVs adicionales, si la capacidad de la turbina o motor  
primario lo permite.

Por la disminución de carga en los generadores y circuitos  
mejoran las condiciones de sobrecarga del circuito, o permiten  
un aumento de capacidad para un crecimiento de carga adicional.

Con el fin de reducir la demanda en KVA donde la potencia es

limitada puede ser necesaria la corrección del factor de potencia a un 100 %, lo cual puede ser económico en algunos casos.

10.- Reducen la inversión del sistema por KW de carga suministrado. ⑤

Estas ventajas enunciadas se derivan de una esencial que es la reducción de la corriente del circuito.

#### ELECCION DEL METODO MAS VENTAJOSO:

Una vez estudiados los métodos para corregir el factor de potencia, se tratarán uno por uno relacionándolos con el caso particular, la Textil San Vicente. Se elegirá aquel método que resulte más ventajoso y adaptable, para luego calcular la corrección.

#### MOTORES ASINCRONICOS DE INDUCCION SOBRESALICITADOS:

Dadas las dimensiones de esta fábrica se debería tener en cada pabellón un motor o motores de rotor bobinado por una potencia equivalente a 400 o 500 H.P. para poderse pensar en la corrección por este método. Disponiendo de los motores de este tipo y por esa potencia, se ahorraría el costo inicial del equipo de corrección y no quedaría sino comparar el costo del equipo de control del factor de potencia en los motores que, lógicamente, deberían estar moviendo una carga mecánica en el eje y como ventaja adicional conseguir la mejora del factor de potencia del sistema.

Pero como no se dispone de motores de este tipo en toda la fábrica, de hecho este método de corrección, que es uno de los más complicados, quedaría eliminado.

#### GENERADORES DE INDUCCION:



tencia de esta industria se debería disponer del siguiente -

os:

4 motores de inducción asincrónicos de jaula entre 200 a 400 H.P.

4 motores primarios cuya velocidad nominal sea mayor que la velocidad sincrónica del motor que se lo va a usar como generador.

4 sistemas de demultiplicación mecánicos capaces de reducir la velocidad del motor primario a una velocidad un poco superior a la sincrónica del motor a usarse como generador y -- que además sea posible cambiar su relación de velocidad para variar el deslizamiento y así su factor de potencia en adelante.

4 sistemas de control que los ponga fuera de servicio a cualquiera de los generadores en caso de que la carga no absorba su potencia reactiva, además que sea capaz de poner en funcionamiento un generador sincrónico a diesel en paralelo para estabilizar su tensión y frecuencia y que, en caso de necesidad, absorba la potencia reactiva de los generadores de inducción.

Además, analizando el diagrama esquemático del circuito de -- brica se puede ver que se deberían usar mandos a distancia, un funcionamiento muy complicado porque hay transformadores, aéreas, subterráneas, disyuntores de alta tensión, etc., -- pedirían que la corrección del sistema sea efectiva.

Si se piensa hacer funcionar un generador sincrónico como generador de potencia reactiva en atraso, por qué no hacerlo funcionar como generador de potencia reactiva en adelante, evitándose -- el complejo problema del generador de inducción.

En este método es en el que más razones se tienen para desaharlo, es el método menos aconsejable para corregir el factor de potencia de esta industria.

#### MAQUINAS SINCRONICAS:

Las únicas máquinas sincrónicas disponibles en esta industria son los dos alternadores sincrónicos de los grupos diesel-eléctricos de 750 y 800 KVA, respectivamente. Se podría pensar en hacerlos funcionar como generadores de potencia reactiva en adelante.

Aparentemente se obtendrían para el circuito todas las ventajas inherentes a las máquinas sincrónicas. Pero analizando detenidamente el diagrama de esta industria se puede ver que la compensación para los pabellones primero y segundo se la haría a 6 KV, directamente a las barras de alta tensión del primer pabellón. Naturalmente la componente reactiva de la corriente no circularía por los contadores con lo que se consigue la disminución en la planilla de pago en lo referente a la cláusula por factor de potencia bajo, pero se presentarían los siguientes inconvenientes:

La componente reactiva de la corriente del circuito circularía por los transformadores obligando a poner un transformador en paralelo con el existente en el primer pabellón para disminuir su temperatura.

Solamente el costo de este transformador sería ya una razón económica suficiente para poner en duda las ventajas que se consiguen por este método.

La compensación sería la misma para los dos pabellones. Como los horarios de trabajo y las demandas de potencia activa y reac-

son bastante diferentes, habrían períodos de tiempo en los que sobrecompensaría el segundo pabellón, especialmente en los períodos de baja carga a la hora del almuerzo.

La compensación para los pabellones tercero y cuarto se debe hacer en las barras de alta tensión del tercer pabellón, va desde la línea que va desde la planta generadora al cuarto pabellón.

Se necesitaría un regulador automático para la excitación del generador para variar la potencia reactiva a base de las magnitudes de referencia que se sacarían de las barras de alta del primero o del tercer pabellón.

Como la excitación para el generador reactivo es única, y son ramales para la compensación, se tendría el peligro de sobrecompensar alguno de los dos ramales.

Como las magnitudes de referencia se deberían sacar de las barras del primero o del tercer pabellón el sistema de mandos a distancia sería complicado, costoso y la respuesta bastante limitada.

Si se miran ahora las pérdidas que se producen en el motor sincrónico, en el generador, en el transformador, y las líneas como consecuencia de este tipo de corrección sería preferible seguir manteniendo el porcentaje de recargo a la Empresa Eléctrica, que sería más económico que hacer funcionar el generador.

En el Capítulo II se dijo que el rendimiento de los motores sincrónicos a causa del mal mantenimiento es bajo. Esto en otras palabras significa que las pérdidas que se producen en ellos son altas. Es cierto que este motor haciendo funcionar el alternador es

no generador de potencia reactiva debe cubrir solamente las pérdidas que se producen en su interior, en el alternador, en la excitación, en el transformador de subida, y en las líneas hasta el punto de compensación. Pero todas estas sumadas darán un consumo bastante alto de combustible.

Como este grupo generador debe permanecer trabajando todo el tiempo, necesita personal permanente en la planta generadora para mantenimiento y operación, elevando el costo de la compensación. En algún momento se dará el caso que la Empresa eléctrica suspenda su servicio, en estas circunstancias los dos grupos deben entrar a funcionar como generadores de potencia activa, dando apenas servicio a las máquinas indispensables para que la industria no se paralice, en este caso interesaría tener el factor de potencia más alto posible para que los generadores y el circuito se ocupen con potencia activa solamente. De usarse este método sucedería todo lo contrario, porque no habría ningún aparato que compense el factor de potencia, o sea que en la situación más crítica no se podría disponer de compensación.

Con todas estas consideraciones el método de compensación por medio de los generadores sincrónicos se le debe rechazar por antieconómico.

#### CONDENSADORES ESTÁTICOS:

El método de compensar el factor de potencia por medio de condensadores estáticos es el más aconsejado para esta industria por que brinda varias ventajas económicas simultáneas; tiene también como todo método técnico algunas desventajas, pero en un balance global queda mucho a favor de este método de compensación.

Este método de corrección es aconsejable:

Porque en la fábrica se dispone de un banco de 58 KVAR. Esta batería de condensadores no es suficiente para compensar toda la fábrica, pero se puede interpretar como que parte de la inductancia inicial está hecha.

Porque un banco de condensadores es un equipo de alto rendimiento (99 % o más) para potencias pequeñas como la de esta fábrica.

Para la operación eficiente de una batería de condensadores no se necesita combustible alguno y la energía eléctrica que consume a consecuencia de sus pérdidas es muy reducida, generalmente menos de 3 vatios por KVAR.

El mantenimiento para un equipo de esta clase es pequeño o casi nulo y la eficiencia de los condensadores no disminuye con el tiempo. Después de quedar bien instalados, una revisión anual es suficiente.

La conexión del equipo al circuito es sencilla; se la hace directamente a las barras de baja tensión e la salida de los transformadores, como se vió ya en el tercer capítulo, al escoger el tipo correcto para la compensación.

En todas las subestaciones hay sitio disponible para la batería de condensadores y el equipo accesorio.

Se aprovecha el factor de diversificación de la carga y se libera potencia en los transformadores.

Como cada pabellón llevará su equipo automático para operación de los condensadores, su funcionamiento es simple. La vida de los condensadores dependerá de las necesidades de su instalación y no hay necesidad de interconectar controles ni usar cables a distancia.

Es el equipo que más rápidamente se amortiza, como no hay gas

tos de operación y mantenimiento, se debe reponer solamente la in versión inicial.

Los condensadores estáticos son inadecuados para la compensación del factor de potencia de esta industria:

1.- Porque su capacidad es fija, no se adapta a las necesidades de la carga. Esto se soluciona maniebrando el banco por secciones de acuerdo a la demanda de KVAR.

2.- Quando el circuite está descargado o con cargas pequeñas, pueden aparecer ondas armónicas grandes por estar en resonancia el transformador con los condensadores, pueden ocurrir especialmente para la 5a. y 7a. armónicas de la tensión, apareciendo un calentamiento excesivo en los condensadores. La solución es desconectar los condensadores o dejar en el circuite el menor número posible de ellos para que no aparezca resonancia. Esta tiende a presentarse cuando el factor de potencia a baja carga se acerca a 1, que no es el caso de esta industria porque en estas circunstancias el cos  $\phi$  en esta fábrica tiende a disminuir de valer.

3.- Cuando se perfora el dieléctrico del condensador por cualquier causa se produce un cortocircuito interior que descompone el líquido impregnante originando gran cantidad de gases que produce la explosión del tanque del condensador. Para evitar esto se usan fusibles rápidos individuales dimensionados para un 170 % de la corriente de trabajo del condensador que lo deja fuera de servicio inmediatamente que se presenta el cortocircuito.

Como se puede ver todas las desventajas tienen una solución fácil, las que de hecho se aplicarán en la compensación.

En resumen, la corrección del factor de potencia de esta fábrica se la hace por medio de condensadores estáticos, de 220 voltios,

ados en las barras de baja tensión de los transformadores -  
 a subestación, controlados automáticamente, con fusibles in-  
 ales para cada condensador.

a corrección necesaria para cada pabellón se hace con el si-  
 e método se toma una carga promedio con su correspondiente  
 se calcula la corrección para esta carga y se estudia la  
 ión para las cargas mayores, cuidando que todos estos valo-  
 factor de potencia sean superiores al valor dado por la En-  
 eléctrica. quita.

#### D DE LA CORRECCION:

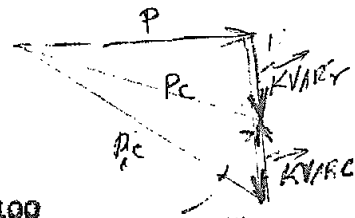
- = Potencia promedio en Kilovatics.
- = Potencia reactiva en adelante correspondiente a los con-  
 densadores.
- = KVAH del circuito menos los KVAH de los condensadores.
- = Potencia aparente en KVA despues de conectar los conde-  
 sadores.
- = Factor de potencia corregido.
- = Corriente correspondiente a la potencia corregida en Amps.
- = Corriente que se disminuye con la corrección.
- = Potencia en KVA ahorrada gracias a la corrección con re-  
 lación a la potencia inicial.

PRIMER PABELLON

P	(KW)	200	200	200	200	200	200	200	200
KVAR <sub>0</sub>	(KVAR)	00	90	120	150	180	200	240	270
KVAR <sub>F</sub>	(KVAR)	297	207	177	147	117	97	57	27
P <sub>0</sub>	(KVA)	357	288	267	248	232	222	208	202
P.A. <sub>F</sub>	(KVA)	00	69	90	109	125	135	149	155
cos φ <sub>F</sub>		0,56	0,69	0,75	0,81	0,86	0,90	0,96	0,99
I <sub>F</sub>	(Amps)	937	757	700	650	607	585	547	528
Δ I	(Amps)	000	180	237	287	330	342	390	409

SEGUNDO PABELLON

P	(KW)	100	100	100	100	100	100
KVAR <sub>0</sub>	(KVAR)	00	30	40	50	60	70
KVAR <sub>F</sub>	(KVAR)	110	80	70	60	50	40
P <sub>0</sub>	(KVA)	150	128	122	117	112	108
P.A. <sub>F</sub>	(KVA)	00	22	28	33	38	42
cos φ <sub>F</sub>		0,67	0,78	0,82	0,85	0,89	0,92
I <sub>F</sub>	(Amps)	393	335	320	307	294	283
Δ I	(Amps)	00	58	73	86	99	110





TERCER PABELLON

(KW)	120	120	120	120	120	120	120	120
(KVAR)	60	40	50	60	70	80	90	100
(KVAR)	133	93	83	73	63	53	43	33
(KVA)	180	152	146	141	136	131	127	124
(KVA)	000	28	34	39	44	49	53	56
	0,67	0,79	0,82	0,85	0,88	0,92	0,95	0,97
(Amps)	472	398	382	370	356	343	333	324
(Amps)	00	74	90	102	116	129	139	148

CUARTO PABELLON

(KW)	80	80	80	80	80	80
(KVAR)	00	20	30	40	50	60
(KVAR)	96	76	66	56	46	36
(KVA)	125	110	104	98	92	88
(KVA)	00	15	21	27	33	37
	0,64	0,73	0,75	0,82	0,88	0,91
(Amps)	328	268	273	258	241	230
(Amps)	00	40	55	70	87	98

## PRIMER PABELLÓN:

Para el primer pabellón la corrección más aconsejada es un banco de condensadores de 200 KVAR.

El factor de potencia para los valores más altos de carga registrados en este pabellón es:

Para 257 KW, 334 KVAR 334 - 200 = 134 KVAR

$$P_a = \sqrt{257^2 + 134^2} = 289 \text{ KVA} \quad \cos \varphi = 257/289 = 0,89$$

Para 251 KW, 343 KVAR 343 - 200 = 143 KVAR

$$P_a = \sqrt{251^2 + 143^2} = 289 \text{ KVA} \quad \cos \varphi = 251/289 = 0,87$$

Para 231 KW, 320 KVAR 320 - 200 = 120 KVAR

$$P_a = \sqrt{231^2 + 120^2} = 260 \text{ KVA} \quad \cos \varphi = 231/260 = 0,89$$

Como consecuencia de la corrección se logra disminuir 135 KVA en el transformador. No se tiene ninguna disminución en las pérdidas de potencia ( $I^2R$ ) porque la componente reactiva de la corriente del circuito continúa circulando por los alimentadores desde la carga hasta las barras de baja tensión del transformador.

## SEGUNDO PABELLÓN:

En este pabellón se utilizará el banco de condensadores que se encuentra en servicio en hilatura, cuya potencia reactiva suma 58 KVAR.

El factor de potencia, para los valores más altos de carga registrados en este pabellón, es:

Para 117 KW , 122 KVAR      122 - 58 = 64 KVAR

$$\sqrt{117^2 + 64^2} = 133 \text{ KVA} \quad \text{Cos } \varphi = 117/133 = 0,88$$

Para 83 KW , 95 KVAR      95 - 58 = 37 KVAR

$$\sqrt{83^2 + 37^2} = 91 \text{ KVA} \quad \text{Cos } \varphi = 83/91 = 0,91$$

Con la corrección se disminuyen 36 KVA en el transformador - esta subestación. Aquí como en el caso anterior no se consigue una disminución en las pérdidas por efecto Joule, en los alambres porque la componente reactiva de la corriente circula el circuito desde la carga hasta el lado de baja tensión del transformador.

#### EL PABELLÓN:

La corrección de este pabellón será un banco de condensadores de 90 KVAR que para las cargas mayores registradas da como factor de potencia:

Para 148 KW , 160 KVAR      160 - 90 = 70 KVAR

$$\sqrt{148^2 + 70^2} = 164 \text{ KVA} \quad \text{Cos } \varphi = 148/164 = 0,90$$

Para 114 KW , 166 KVAR      166 - 90 = 76 KVAR

$$\sqrt{114^2 + 76^2} = 137 \text{ KVA} \quad \text{Cos } \varphi = 114/137 = 0,84$$

Para 131 KW , 174 KVAR      174 - 90 = 84 KVAR

$$\sqrt{131^2 + 84^2} = 155 \text{ KVA} \quad \text{Cos } \varphi = 131/155 = 0,85$$

El factor de potencia de 0,84, único valor que baja del límite corresponde al instante del arranque coincidente de varios motores. Esta carga dura de 2 a 5 segundos. En cualquier tipo de motor esta carga no se registrará porque sólo se toman en cuenta los valores que se mantienen por algún tiempo.

Con esta compensación de 90 KVAR en condensadores se descargan 53 KVA del transformador, las pérdidas que se producen en los alimentadores siguen siendo las mismas porque en éstos no hay disminución de corriente.

#### CUARTO PABELLON:

Con un banco de condensadores de 60 KVAR este pabellón queda bien compensado como se puede ver a continuación en los valores del factor de potencia para la carga máxima:

	Para 80 KW , 96 KVAR	96 - 36 = 36 KVAR
$P_a = \sqrt{36^2 + 80^2} =$	88 KVA	$\text{Cos } \varphi = 80/88 = 0,91$
	Para 114 KW , 134 KVAR	134 - 60 = 74 KVAR
$P_a = \sqrt{114^2 + 74^2} =$	135 KVA	$\text{Cos } \varphi = 114/135 = 0,85$
	Para 130 KW , 152 KVAR	152 - 60 = 92 KVAR
$P_a = \sqrt{130^2 + 92^2} =$	159 KVA	$\text{Cos } \varphi = 130/159 = 0,82$

El último valor de factor de potencia es instantáneo y por lo tanto se lo puede despreciar.

Con este banco de condensadores se disminuyen en el transformador 37 KVA al propio tiempo que se corrige el factor de potencia para no pagar el recargo de la planilla.

CAPITULO QUINTO

SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL EQUIPO DE CORRECCION DEL  
FACTOR DE POTENCIA Y CARACTERISTICAS DEL MISMO

Si guiendo el método de exposición del Capítulo anterior, se enumerarán los principales tipos de controles automáticos para la maniobra de baterías de condensadores y luego de conocerlos se seleccionará el más adecuado.

Estos controles pueden ser de un solo escalón o de varios escalones.

Los controles de un solo escalón introducen o quitan del circuito toda la batería de condensadores de acuerdo a la señal primaria del tipo de control usado.

El control automático multiescalón va introduciendo o quitando secciones parciales del banco de condensadores según las necesidades del circuito o la sucesión de señales del relay primario.

Sin tomar en cuenta los escalonamientos que pueda tener el control automático, haciendo solamente, una descripción de los elementos básicos que constituyen un control para baterías de condensadores se puede decir que está compuesto de:

Un relay sensible a la variable primaria sea tensión, corriente, potencia reactiva, tiempo, temperatura o combinaciones de algunos de ellos.

Uno o varios relays temporizados para retardar la maniobra de los condensadores con el fin de evitar maniobras muy frecuentes de los condensadores por variaciones instantáneas de tensión o corriente.

Un mecanismo electromecánico para dar una secuencia fija en -

ción y desconexión de las secciones del banco de condensado

gunos de ellos vienen también provistos de un relay de mini  
ción que desconecta el equipo cuando el circuito queda des -  
de.

da casa fabricante tiene un tipo de control que en algo se  
cia de los otros, pero sus partes básicas son las arriba -  
edias.

DE CONTROL AUTOMATICO:-

os controles automáticos se los puede agrupar de la siguien -  
era:

- ontrol de tensión.
- ontrol de corriente.
- ontrol de potencia devatada.
- ontrol de tiempo.
- ontrol de temperatura.

tes de entrar a examinar cualquiera de estos diferentes ti -  
control, podemos afirmar que es sólo el elemento primario -  
varía en todos ellos, los siguientes pasos hacia la manio -  
e, salvo pequeñas variantes, los mismos.

DE TENSION:-

l elemento primario de este control lo constituye un relay -  
e a las variaciones de tensión; puede estar conectado direc -  
e, si es baja tensión, o por medio de transformadores de ten

sión al circuito al cual se quiere compensar.

Este relay es tan sensible que se lo puede graduar para que maniebre los condensadores aún para variaciones de tensión de fracción de voltio, hasta 10 o 15 voltios, como máximo. Para evitar que se presente penduleo o intermitencia se lo gradúa para que maniebre el banco de condensadores para una variación de tensión mayor de 2 voltios.

Estos controles se los usa donde el problema principal del sistema de distribución eléctrica es la regulación de voltaje. Para líneas de distribución con alimentadores muy largos o donde hayan variaciones grandes de carga.

#### CONTROL DE CORRIENTE:

Este relay tiene su elemento principal conectado al secundario de un transformador de corriente, es de conductor más grueso que el del caso anterior para que circule la corriente del lado secundario del transformador.

La fuerza para accionar los contactos viene dada por:

$$F = k I$$

Donde:

- F = Fuerza con que el relay atrae la armadura móvil.
- k = Constante de proporcionalidad que depende de las características de construcción del relay.
- I = Corriente que circula por el secundario del transformador de intensidad.



Este tipo de control se usa tanto en redes de distribución como en instalaciones industriales cuando el factor de potencia de carga es más o menos constante aún para períodos de pequeña carga.

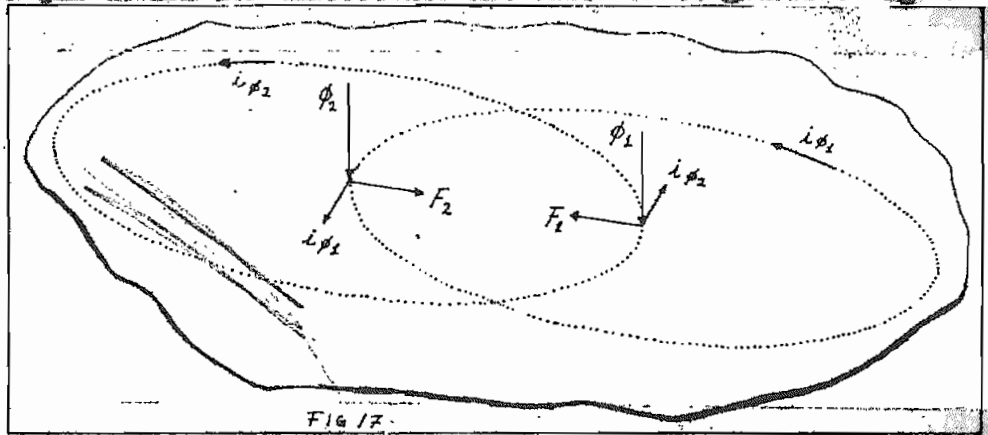
#### CONTROL DE POTENCIA REACTIVA:-

El relay de este tipo de control utiliza el mismo principio - contador de inducción de vatios-hora.

El principio por el cual aparece un par de giro en el disco - es el siguiente:

Supóngase una lámina metálica por la que atraviesan dos flujos magnéticos  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , los dos varían senoidalmente y en el momento del análisis aumentan de cero a un máximo positivo y se dirigen hacia abajo.

Los flujos inducen f.e.m.s. que dan origen a corrientes circulatorias que tienen las direcciones indicadas en el gráfico. Fig. 17



Si se considera la trayectoria de la corriente  $i_{\phi_1}$  al pasar por el punto en el que  $\phi_2$  atraviesa la lámina se producirá una fuerza de acuerdo con la regla de la mano izquierda de Fleming tendrá la dirección indicada, igual cosa sucederá con la corriente  $i_{\phi_2}$  y

el flujo  $\mathcal{P}_1$  creándose las fuerzas  $F_2$  y  $F_1$  respectivamente.

Si  $\mathcal{P}_2$  adelanta a  $\mathcal{P}_1$  en un ángulo  $\theta$  se tiene:

$$\mathcal{P}_1 = \phi_1 \text{ sen } \omega t \quad \mathcal{P}_2 = \phi_2 \text{ sen } (\omega t + \theta)$$

Si se desprecia la autoinducción en la lámina suponiéndose, - por tanto, que las corrientes están en fase con los voltajes, en - tonces:

$$i_{\mathcal{P}_1} \propto \frac{d \mathcal{P}_1}{d t} \propto \phi_1 \text{ cos } \omega t$$

$$i_{\mathcal{P}_2} \propto \frac{d \mathcal{P}_2}{d t} \propto \phi_2 \text{ cos } (\omega t + \theta)$$

Del gráfico se ve que la fuerza neta es:

$$F = (F_2 - F_1) \propto (\mathcal{P}_2 i_{\mathcal{P}_1} - \mathcal{P}_1 i_{\mathcal{P}_2})$$

Sustituyendo los valores de las corrientes y los flujos, queda:

$$F \propto \phi_1 \phi_2 \left[ \text{sen } (\omega t + \theta) \text{ cos } \omega t - \text{sen } \omega t \text{ cos } (\omega t + \theta) \right]$$

que simplificando se pueda reducir a :

$$F \propto \phi_1 \phi_2 \text{ sen } \theta$$

Si el ángulo  $\theta$  de desfase entre los dos flujos es constante, será también constante la fuerza que actúa en el eje no vil del relay. Esta fuerza está dirigida del flujo que adelanta ha cía el que atrasa.

Un relay de este tipo está libre de vibración ya que la fuerza constante y es un máximo cuando la diferencia de fase entre los flujos es de  $90^\circ$ . (6)

En realidad se puede ver que este relay no mide los KVAR sino ángulo de desfaseamiento entre dos magnitudes eléctricas y el torque producido es proporcional a este ángulo.

En este tipo de relay el disco giratorio ha sido frenado por resorte el cual neutraliza el efecto del torque hasta cierto valor del ángulo  $\theta$ , una vez que el desfaseamiento se ha hecho más grande el torque vence la acción del resorte y el disco avanza generalmente por escalones.

El hecho de que esta fuerza se halle dirigida del flujo que avanza hacia el que atrasa indica que el disco tiene dos direcciones de giro según cual de los flujos adelanta.

Si uno de los flujos se produce por medio de una bobina que es conectada al circuito de tensión de un sistema y el otro flujo produce por una bobina conectada al circuito de intensidad, este relay es capaz de medir el desfaseamiento entre tensión y corriente.

Se adaptan un par de contactos para que se cierran cuando el disco, venciendo la tensión mecánica del resorte, avanza un ángulo determinado en una dirección. Si el disco avanza en la dirección contraria venciendo la tensión del resorte, porque el torque del relay se ha invertido, en este caso se cierran otros dos contactos.

Por medio de este mecanismo es posible enviar impulsos de conexión y desconexión a otro aparato según varía el ángulo de fase entre los dos flujos.

A este relay que en esencia no es sino un contador de vatios - hora se le cambian sus conexiones para que mida potencia reactiva - en lugar de potencia activa o variada.

Este tipo de relay se usa sobre todo en la industria o en circuitos donde el factor de potencia varía ampliamente con pequeñas - variaciones de carga.

#### CONTROL DE TIEMPO:-

Este control está compuesto de un motor sincrónico eléctrico y un mecanismo de relojería que efectúan la conexión y desconexión de la batería de condensadores a horas determinadas.

Este control es uno de los más simples y baratos, se usa donde el factor de potencia tiene una variación cíclica diaria.

#### CONTROL DE TEMPERATURA:-

El principio de funcionamiento de este relay es una cápsula dilatante llena de un líquido o gas sensible a la temperatura que cierra un circuito cuando la temperatura ambiente sube o baja de ciertos límites y abre este circuito cuando la temperatura está dentro de una banda que se considera normal.

Se lo aplica en áreas residenciales o comerciales donde la carga debido a aparatos de acondicionamiento de aire, es grande. En las curvas de carga de los países de latitudes medias, se presentan picos demasiado altos cuando el tiempo es muy frío o muy caluroso que obligan a usar algún medio para descargar el circuito. Uno de estos medios es la batería de condensadores maniobrados automáticamente - por un control de temperatura.

CCION DEL CONTROL MAS ADECUADO A ESTA INDUSTRIA:-

El problema de esta fábrica es mantener el ángulo de fase entre  
ión y corriente dentro de un límite determinado.

El control más adecuado para este fin sería el de corriente o  
e potencia devatada.

De las medidas efectuadas se puede anotar que la carga total y  
potencia reactiva no varían uniformemente y es factor de potencia  
de a disminuir cuando la carga disminuye, o sea que en relación  
potencia aparente total absorbida, la potencia devatada aumen-

Con esto lo que se quiere poner de relieve es que la corriente  
es proporcional a la potencia devatada, pudiendo darse el caso,  
os períodos de baja carga, que no haya la compensación suficien  
y en cambio en carga máxima, cuando el factor de potencia mejo-  
se produzca una sobrecompensación.

Este hecho impide usar el control de corriente, resultando más  
para esta industria el control de potencia devatada.

Como ya se ha elegido el control a usarse, se procederá al cál  
funcional del mismo.

Entre los muchos controles de potencia reactiva, se ha preferi  
l fabricado por la Casa Siemens porque es de funcionamiento más  
le, y en caso de reparación no se debe cambiar el control con -  
o sino solamente unidades relevadoras independientes de bajo -  
o y fácil adquisición y reposición.

Además con este tipo de control las ampliaciones posteriores -

se las puede hacer con sólo añadir un relay temporizado, un contador magnético y el respectivo banco de condensadores sin intervenir en lo absoluto en los relays ya conectados.

Esta Casa fabrica dos tipos de relays de potencia reactiva: - con un sistema de medida y con dos sistemas de medida, para carga - equilibrada y desequilibrada, respectivamente.

Como las cargas de este pabellón son equilibradas se usará el relay con un sistema de medida con lo cual se economiza un transformador de intensidad.

El ajuste de estos relays se hace en porcentaje de su potencia nominal primaria y se lo calculará para cada pabellón.

La batería de condensadores de cada subestación se la ha dividido en secciones iguales, excepto la del segundo pabellón la que - por ser 7 equipos no pueden ser iguales.

Las razones para utilizar secciones iguales son:

- 1.- Todas las secciones se maniobran igual número de veces haciendo uniforme el desgaste de contactores y condensadores, lo que no sucede cuando se usan secciones desiguales en que el grupo de menor potencia maniobra mayor número de veces.
- 2.- No se presentan usando secciones iguales, puntos muertos de compensación o compensación cero, que duran el doble del tiempo de retardo de los relays temporizados, hasta que se cambia la - sección de mayor potencia por una menor, cuando el circuito así lo exige. En estos puntos muertos se produce un fuerte parpadeo porque no hay compensación y al conectarse los condensadores la corriente

no puede ser elevada con el consiguiente peligro de perforar -  
eléctrico.

Un aumento o disminución de potencia reactiva en el circuito -  
que normalmente exige una maniobra para secciones iguales, se  
hace en dos maniobras para secciones desiguales con el consiguiente  
gasto del equipo.

A continuación está el cálculo del control para el primer pabellón

Primer Pabellón:

La corriente nominal en el transformador de este pabellón es:

$$I = \frac{480.000}{\sqrt{3} \times 220} = 1.260 \text{ Amperios.}$$

Se usará un transformador de intensidad de relación 1.500/5 am  
perios.

La potencia nominal primaria del relay es:

$$P = \sqrt{3} \times 1,50 \times 220 \times 10^{+3} = 572 \text{ KVA.}$$

Tiene un campo de ajuste de 5 a 35 % de su potencia nominal.

Como el factor de potencia disminuye cuando disminuye la carga,  
cambiará que cuando el circuito trabaje a poca carga la compensa-  
ción será pobre. Luego interesa tener el punto de desconexión y la  
zona de insensibilidad lo más cerca del factor de potencia unidad.  
El peligro que habrá al hacer esto es que se presente resonancia a  
frecuencia muy reducida, pero esto se puede evitar disminuyendo el tiempo  
de desconexión, en el relay temporizado del primer escalón que -  
estará en servicio. Además, si en el funcionamiento se presenta raso-

nancia se puede desplazar el punto de desconexión a un factor de potencia más bajo, este cambio es sencillo.

El punto de desconexión será el 5 % de la potencia nominal del relay que calculando en KVAR, da:

$$0,05 \times 572 = 28,6 \text{ KVAR.}$$

Con el fin de que la compensación a baja carga sea más efectiva se hace la banda de insensibilidad igual al 120 % de la potencia de una sección del banco de condensadores, entonces:

$$1,20 \times 50 = 60 \text{ KVAR.}$$

Que calculado en porcentaje de la potencia del relevador es:

$$100 \times \frac{60}{572} = 10,5 \%$$

El porcentaje de potencia para la conexión será entonces:

$$5 \% + 10,5 \% = 15,5 \%$$

Que calculados en KVAR:

$$0,155 \times 572 = 89 \text{ KVAR.} \quad \checkmark$$

El relay tiene su escala graduada en voltio-amperios, la potencia nominal en el relevador es:

$$P_2 = \sqrt{3} \times 5 \times 220 = 1.910 \text{ voltio-amperios.}$$

El 5 % de esta potencia es:  $0,05 \times 1.910 = 95,5 \text{ VA.} \quad \checkmark$

El 15,5 % de esta potencia es  $0,155 \times 1.910 = 295 \text{ VA.} \quad \checkmark$



Luego el relay de potencia creciente, que es el que debe hacer conexión, se lo debe fijar para que al llegar a 295 VA cierre sus contactos.

El relay de potencia decreciente que es el que hace la desconexión se lo debe fijar para que cierre sus contactos al llegar a 295 VA de su potencia. Para el ajuste solamente se debe mover su eje hasta dejarlo frente a la cantidad deseada.

El comportamiento dinámico del equipo se lo puede ver mejor en el diagrama que se ha trazado, incluido a continuación.

Se ha escogido una carga que tiene factor de potencia 0,60, en las abscisas los KVAR y en ordenadas los kilovatios.

La recta A es la potencia aparente en KVA =  $\text{tg}^{-1} 0,60$

El factor de potencia límite fijado por la Empresa Eléctrica - de Montevideo, está representado por la línea B =  $\text{tg}^{-1} 0,85$ . Está también dibujada la banda de insensibilidad cuyos límites son: el 5% de la potencia nominal del relay igual a 28,6 KVAR en el cual actúa el relay de desconexión y el 15,5% o sea 89 KVAR en el cual actúa el relay de conexión.

El funcionamiento es el siguiente: al llegar la potencia reactiva absorbida por el circuito a 89 KVAR se conecta la primera sección del banco de condensadores pasando la línea de carga del punto a al punto b, disminuyendo 50 KVAR. Si la carga sigue aumentando se pasa por la línea b-c, paralela a la línea O-A, porque el factor de potencia de la carga no ha variado. Al llegar a 39 KVAR o sea al punto c se conecta la segunda sección del banco, con lo cual la potencia reactiva disminuye a 39 KVAR, punto d. Con esta misma secuencia de operaciones puede continuar hasta llegar al punto i, límite de la com-

pensación con el banco de 200 KVAR conectados.

La línea punteada nos da la secuencia en la desconexión de las secciones de condensadores.

Si los ejes se representan a la misma escala, la línea A nos dará los KVA no compensados. La diferencia de longitudes entre las líneas A y B es la potencia, en KVA, que disminuyen con la compensación.

Las áreas achuradas son partes de la línea de carga que quedan con factor de potencia menor de 0,85 en el período de carga reducida.

Una paralela a las abscisas que pasando por el punto i corte a la línea A, nos da el punto 1'. La longitud 0-1' es la potencia máxima de compensación con esta batería de condensadores (aproximadamente 465 KVA). Si la potencia sobrepasa de este valor se debe añadir una sección más de condensadores.

El mismo sistema de cálculo y representación se adopta para los otros tres pabellones.

#### Segundo Pabellón:

La corriente nominal del transformador es:

$$I = \frac{300,000}{\sqrt{3} \times 220} = 780 \text{ Amps.}$$

El transformador de intensidad será de relación 800/5 Amps.

La potencia nominal del relay es:

$$P = \sqrt{3} \times 0,8 \times 220 = 304 \text{ KVA.}$$

La potencia de desconexión se la ha fijado en el 5 % de su potencia nominal que calculados en KVAR da:

$$0,05 \times 304 = 15,2 \text{ KVAR.}$$

Como en este pabellón se usará el banco ya existente en la sala que está compuesto de 7 condensadores de 8,3 KVAR, se los divide en dos secciones: la primera de tres unidades que suman 24,9 KVAR, y la segunda de cuatro unidades que suman 33,2 KVAR.

La banda de insensibilidad se la fija en 120 % de la sección grande:

$$33,2 \times 1,20 = 39,84 \text{ KVAR, en porcentaje: } \frac{39,84}{304} \times 100 = 13,1 \%$$

La conexión se realizará en:

$$5\% + 13,1\% = 18,1\%$$

Que calculados en KVAR:

$$0,181 \times 304 = 55,024 \text{ KVAR.}$$

En el secundario o sea en el relé mismo la potencia nominal

$$P_2 = \sqrt{3} \times 5 \times 220 = 1910 \text{ VA}$$

Para la desconexión la potencia es:  $0,05 \times 1910 = 95,5 \text{ VA.}$

Para la conexión la potencia es:  $0,177 \times 1910 = 338 \text{ VA.}$

En el diagrama se ha representado para este pabellón el cos  $\phi$  a 0,68, el diagrama correspondiente a este pabellón es el 2.

Tercer Pabellón:

La corriente nominal del pabellón es:

$$I = \frac{480,000}{\sqrt{3} \times 220} = 1.260 \text{ Amps.}$$

El transformador de intensidad será de relación 1.000/5 Amps., porque la carga máxima está por los 200 KVA.

La potencia del relay en este caso:

$$P = \sqrt{3} \times 1,0 \times 220 = 380 \text{ KVA.}$$

La potencia de desconexión es el 5 % de su potencial nominal que calculados en KVAR da:

$$0,05 \times 380 = 19 \text{ KVAR.}$$

En este pabellón se usará una batería de 90 KVAR divididos en tres secciones de 30 KVAR.

La banda de insensibilidad será 140 % de la potencia de una sección de la batería.

$$1,4 \times 30 = 42 \text{ KVAR.}$$

En porcentaje de la potencia nominal del relay es:

$$100 \times \frac{42}{380} = 11 \%$$

La conexión se realizará en: 5 % + 11 % = 16 %

En KVAR será: 0,16 x 380 = 61 KVAR

En el secundario, la potencia nominal es:

$$P_2 = \sqrt{3} \times 5 \times 220 = 1910 \text{ VA}$$

Para la desconexión la potencia es:  $0,05 \times 1910 = 95,5 \text{ VA}$ .

Para la conexión la potencia es:  $0,16 \times 1910 = 305 \text{ VA}$ .

En el diagrama se ha escogido el factor de potencia de la carga igual a 0,67; el diagrama es el número 3.

#### Cuarto Pabellón:

La corriente nominal del transformador es:

$$I = \frac{480,000}{\sqrt{3} \times 220} = 1.260 \text{ Amps.}$$

El transformador será de relación: 1.000/5 Amps.

La potencia del relay en este caso:

$$P = \sqrt{3} \times 1,0 \times 220 = 380 \text{ KVA}$$

La potencia de desconexión, el 5 % de la potencia nominal en es:

$$0,05 \times 380 = 19 \text{ KVAR.}$$

En este pabellón se usará una batería de 60 KVAR divididos en secciones de 30 KVAR.

La banda de insensibilidad será el 140 % de los 30 KVAR.

$$1,4 \times 30 = 42 \text{ KVAR}$$

En porcentaje de la potencia nominal del relay es:

$$100 \times \frac{42}{380} = 11 \%$$

La conexión se realizará en:  $5 \%$  +  $11 \%$  =  $16 \%$

o sea en 61 KVAR.

La potencia secundaria es:  $\sqrt{3} \times 5 \times 220 = 1910$  VA.

Para la desconexión la potencia es:  $0,05 \times 1910 = 95,5$  VA

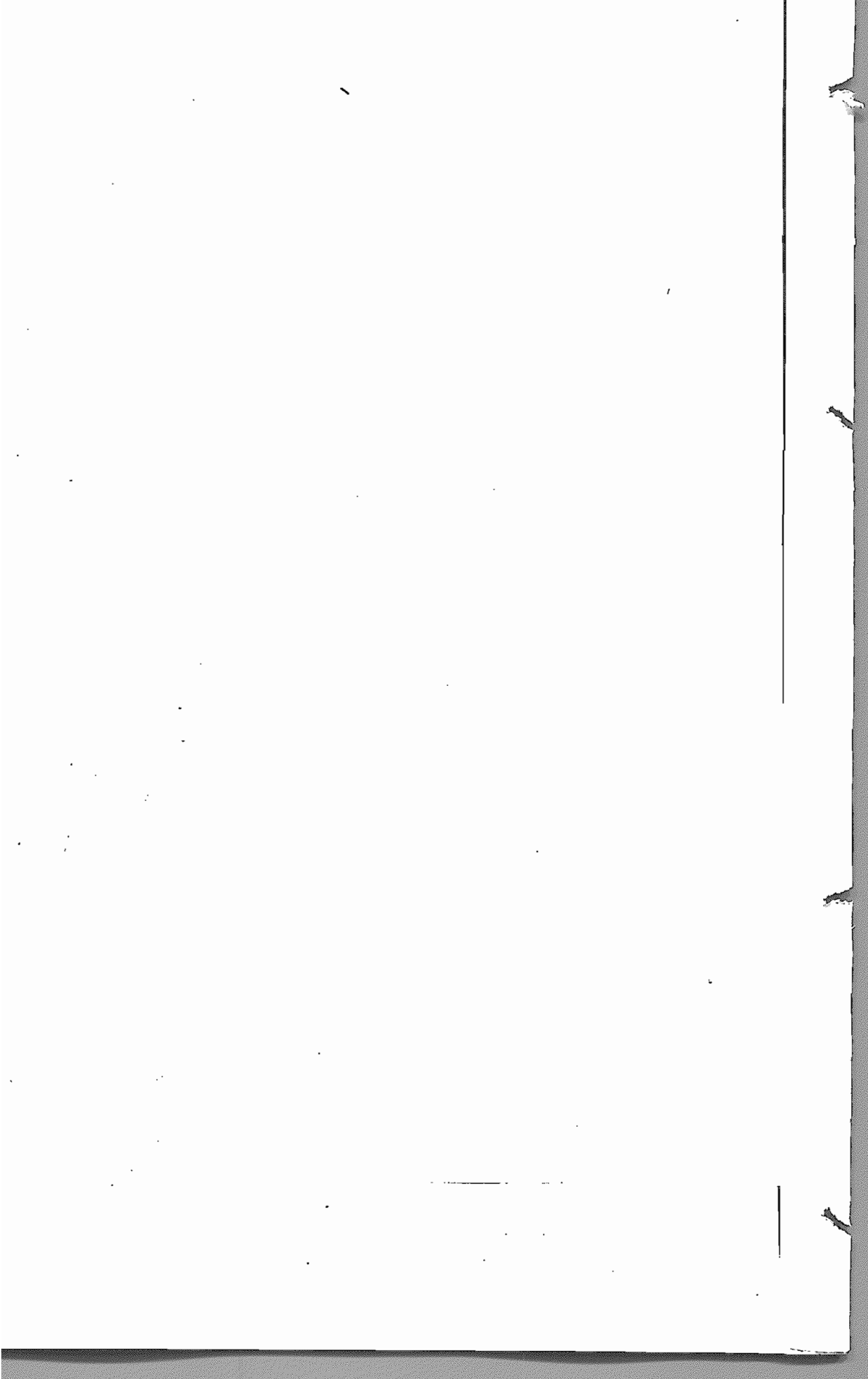
Para la conexión es:  $0,16 \times 1910 = 305$  VA.

En el diagrama el factor de potencia de la carga es 0,65. El diagrama es el número 4.

#### TEMPORIZACION:--

Las variaciones instantáneas de la corriente debido al arranque de motores, que son las perturbaciones más frecuentes que se presentan en el sistema de la fábrica, duran desde fracción de segundo hasta cinco segundos como máximo. Los contactores de los condensadores deben llevar un retardo de tiempo para evitar la maniobra de éstos con las corrientes instantáneas lo cual trae un rápido desgaste de los condensadores por los esfuerzos que se presentan en el dieléctrico debido a las maniobras muy frecuentes, además del desgaste de los contactores principales.

A todos los relevadores sean de conexión o desconexión se los retardará 15 segundos y al relevador que hace la conexión y desconexión de la primera sección del primer pabellón se lo retardará -



sólo 6 segundos para evitar una posible resonancia con el transformador.

#### PROTECCION:--

Los bancos de condensadores de 30 KVAR estarán compuestos así: 3 condensadores de 15 KVAR y un condensador de 5 KVAR; las secciones de 30 KVAR estarán formadas por 2 condensadores de 15 KVAR.

Como sólo hay unidades de dos potencias se necesitan solamente 2 condensadores de reserva, uno de 15 y otro de 5 KVAR.

Cada unidad viene provista de dos fusibles (en dos fases) montados directamente en sus terminales, con indicación visual en caso de estar fundidos.

Los fusibles son de 60 amperios para los condensadores de 15 KVAR y de 20 amperios para los de 5. Su finalidad es proteger el condensador de fallas internas.

En el segundo pabellón se colocarán dos fusibles de 30 amperios por cada condensador, lo más cerca de los bornes, como se verá en el diagrama respectivo ya que estos condensadores, existentes en la fábrica, no tienen fusibles individuales.

Los contactores para la maniobra de las derivaciones de 50 KVAR son de 160 amperios y para las secciones de 30 KVAR son de 125 amperios, dimensionados en los dos casos para el 135 % de la corriente nominal.

Se debe aclarar que los contactores no protegen a los condensadores de ninguna falla, su finalidad es maniobrarlos; sin embargo, poseen protección térmica.



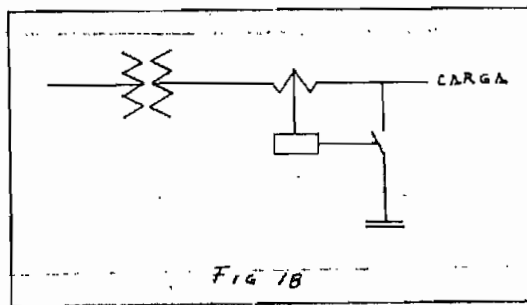
Al estar conectados los condensadores con el control automático se podría dar el caso que se abra manualmente el switch general de baja tensión existente en los pabellones primero y segundo.

En este caso quedarían conectados todas las secciones de condensadores al transformador descargado por un tiempo igual a la suma de los retardos de los relays temporizados o sea 51 segundos en primer pabellón y 30 segundos en el segundo.

Como la potencia de compensación en este caso está pasando secundario al primario del transformador, y solamente para la riente magnetizante, que tiene un alto porcentaje de armónicas (3% para la 3a., 15% para la 5a., 3% para la 7a., en porcentaje la amplitud de la onda fundamental) en este caso habría resonancia, si no para la frecuencia fundamental, para una de las armónicas, determinando un calentamiento excesivo del transformador, y peligro de cortocircuito en los condensadores.

Se puede evitar esto colocando un relay sensible a la corriente de carga, pero una solución más fácil y económica es alimentar bobina de los contactores desde la salida del switch principal de baja tensión, con esto, cuando se abre este switch quedan sin alimentación las bobinas de los contactores abriendo sus contactos instantáneamente, dejando los condensadores fuera de servicio.

Las magnitudes de referencia se han sacado, para los cuatro pabellones, de las barras de baja tensión entre los condensadores y el transformador, como se indica en el diagrama, con el fin de que el relay de potencia devatada reciba la magnitud perturbadora, y así se agilice la respuesta de su compensación.



#### CONDUCTORES DE CONEXIÓN:-

Las normas dictadas por el N.E.C. especifica que se usen conductores capaces de llevar el 135 % de la corriente nominal del banco de condensadores.

En la derivación para 50 KVAR la corriente nominal será:

$$I = \frac{50,000}{\sqrt{3} \times 220} \times 1,35 = 177 \text{ amperios} \quad 1/0 \text{ A.W.G.}$$

En la derivación para 30 KVAR, la corriente es:

$$I = \frac{30,000}{\sqrt{3} \times 220} \times 1,35 = 107 \text{ Ampa} \quad 2 \text{ A.W.G.}$$

Se podría hacer la conexión con barras únicas capaces de llevar la corriente total de todas las derivaciones, pero estas barras se las debería comprar, mientras que, cables de las secciones calculadas se tienen disponibles en la fábrica. Además, interesa conectar cada derivación con cable individual para intercalar algo de impedancia amortiguadora de la corriente pico que aparece al conectar los condensadores, sobre todo, las últimas derivaciones. Para bajas tensiones es suficiente esta impedancia como amortiguadora de la corriente pico.

A continuación se incluyen los esquemas completos de alambrado de todo el equipo para la primera subestación incluyendo el reactor de potencia reactiva, temporizadores, contactores, pulsadores, piloto, condensadores, fusibles, etc. Para las otras subestaciones el alambrado es el mismo pero tienen solamente dos y tres derivaciones.

**CAPITULO SEXTO**

---

---

ESTIMACION DEL COSTO DE LA INSTALACION RECOMENDADA COMO CONSECUEN-  
CIA DEL ESTUDIO ANTERIOR:

Como primera parte de este Capitulo se harán las especificaciones generales de todo el equipo, luego se darán los precios unitarios y totales de cada rubro, en dólares, y por último se detallará la forma de reembolso de la inversión y el tiempo que tardará en pagarse el equipo.

ESPECIFICACIONES:

General:

Las especificaciones a continuación se refieren a un equipo de compensación del factor de potencia que estará compuesto de 4 baterías de condensadores estáticos, para un número igual de subestaciones.

Cada batería lleva su control automático que funcionará independiente de los demás. Cada batería de condensadores se subdividirá en derivaciones o secciones según el detalle que sigue:

- 1. Baterías:— Estará compuesta de 200 KVAR dividida en 4 secciones o derivaciones de 50 KVAR cada una.
- 2. Baterías:— Compuesta de 58,1 KVAR (ya en existencia) dividida en 2 derivaciones de 24,9 KVAR la una, y 33,2 KVAR la otra.
- 3. Baterías:— Compuesta de 90 KVAR, dividida en 3 derivaciones de 30 KVAR cada una.

4ta. Batería:- Compuesta de 60 KVAR dividida en 2 secciones de 30 KVAR cada una.

Todas las baterías de condensadores y equipo eléctrico adicional se conectará a un sistema eléctrico de 3 fases, 220 voltios, 60 ciclos por segundo.

#### CONDENSADORES:

Los condensadores serán para montaje en interior, con soportes para montaje sobre el piso, relleno de dieléctrico líquido no inflamable (Inerteon, Askarel o similares), con grapa o terminal para conexión a tierra, provistos de resistencia interna de descarga que sea capaz de reducir la tensión a menos de 50 voltios en un minuto, con dos fusibles individuales (para 2 fases) para montarlos en los terminales del condensador. Los fusibles deben tener indicación visual en caso de fundirse. La temperatura ambiente en el sitio de instalación es menor de 35°C.

Todas las unidades serán fabricadas de acuerdo a normas NEMA estarán garantizadas contra cualquier defecto de fabricación y en balaje.

#### RELEVADORES, CONTACTORES, PULSADORES, LUCES PILOTO:

Serán para conectarse al sistema eléctrico ya indicado, 220 V, 60 c.p.s. 3 fases, estarán provistos de sus respectivos bloques de terminales, numerados y fácilmente identificables, para montaje de superficie con caja metálica para preservarlos del polvo.

Garantizados contra cualquier defecto de fabricación o embalaje.

## TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD:

Clase 1  $\frac{1}{2}$ , tensión de servicio 600 voltios, tensión de prueba 10 KV, resistencia al esfuerzo dinámico de 15 Amps., para montar en interior, en barras, terminales para cortocircuitar al secundario y conexión a tierra.

El precio del Equipo es:

N.	ARTICULO	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL. \$
	Condensadores de 15 KVAR, LINE MATERIAL, para 220 V, 60 c.p.s. tipo - GL2G3 . . . . .	340,00	7.480,00
	Condensadores de 5 KVAR, LINE MATERIAL, tipo GL2C1 . . . . .	120,00	480,00
	Relays de potencia reactiva, con un sistema de medida, SIEMENS, tipo - RbW 153, campo de ajuste 5 a 35% de su potencia nominal, para potencia <u>creciente</u> , 3 fases, 220 V, 5 Amps., 60 c.p.s. . . . .	97,75	391,00
	Relays de potencia reactiva SIEMENS tipo RbW 153, campo de ajuste 5 a - 35%, para potencia <u>decreciente</u> , 3 - fases, 220 V, 5A, 60 c. . . . .	97,75	391,00
	Contadores magnéticos, tripolares, con 4 contactos auxiliares; 2 de - cierre y 2 de corte, para 160 Amps. bobina para 220 V, 60 c.p.s. SIEMENS tipo K915LII - 10 . . . . .	185,50	742,00
	Contactores magnéticos, idem a los anteriores para 125 Amps. SIEMENS, tipo K915LII - 8 . . . . .	81,75	572,25

CANT.	ARTICULO	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL. \$
22	Relays temporizados, 1 contacto de cierre y 1 de corte, regulables de 0,2 seg. a 1 minuto bobina para - 220 V, 60 c.p.s. SIEMENS, tipo Rm 103 . . . . .	35,10	772,20
11	Unidades de control que contienen: 1 pulsador para conexión, 1 pulsador para desconexión, luz piloto para 220 V, SIEMENS tipo K917 - g3 . . . . .	9,50	104,50
14	Bases fusible para tapones de 30 - Amps. con sus cartuchos (2do. paquete) . . . . .	1,80	25,20
1	Transformador de intensidad, relación 1.500/5 Amps., potencia nominal 5 V.A. OERLIKON . . . . .	91,00	91,00
2	Transformadores de intensidad, relación 800/5 Amps. potencia nominal 5 V.A. WESTINGHOUSE . . . . .	64,00	128,00
1	Transformador de intensidad, relación 1.000/5 Amps. potencia nominal 5 V.A. WESTINGHOUSE . . . . .	76,00	76,00
11 *	Relevadores de control, 4 contactos de cierre, 2 Amps., bobina para 220 V, 60 c.p.s. CUTLER HAMMER . . . . .	5,50	60,50
22 *	Resistencias de 22 K , 2 Watt de disipación . . . . .	0,20	4,40
	VALOR TOTAL DEL EQUIPO . . . . .	\$	10.927,05
	IMPREVISTOS 10 % DEL VALOR TOTAL . . . . .	"	1.100,00
	INSTALACION Y ESTUDIO . . . . .	"	1.400,00
	COSTO TOTAL DE LA INSTALACION . . . . .	\$	13.427,00
	A \$ 18,20 por dólar, son: . . . . .	\$	244.400,00

Asciende a DOSCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL, CUATROCIENTOS SUROS.

\* (Véase resistencias de descarga en el Capítulo VII).



Naturalmente que a este valor se debería añadir el costo de condensadores que existen en la fábrica, pero como están en servicio desde hacen varios años, se ha supuesto que están ya pagos por sí mismos.

Esta industria, para el cobro de energía por la Empresa Eléctrica Quito, cae dentro de la clasificación de Tarifas I - 3 Tr., la que una de las disposiciones dice:

"Recargo por bajo factor de potencia.- Cuando el factor de potencia del abonado sea menor del 85 %, su planilla se recargará al porcentaje determinado en la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de recargo} = \frac{100}{3} \left( \frac{\text{sen } \varphi}{\text{cos } \varphi} - 0,6 \right) "$$

Tomando como factor de potencia de la fábrica con  $\varphi = 0,66$  por promedio sacado de las medidas (Cap. III) cuyo  $\text{sen } \varphi = 0,75$ , calcula el porcentaje de recargo según la fórmula indicada:

$$\% \text{ Recargo} = \frac{100}{3} \left( \frac{0,75}{0,66} - 0,6 \right) = 18 \%$$

Los valores de las planillas pagadas por esta industria desde octubre de 1.963, son:

Octubre	•	S/	102.596,00
Noviembre	"		92.529,00
Diciembre	"		108.570,00
Enero	"		81.416,00
Febrero	"		111.370,00
Marzo	"		134.072,00
Abril	"		121.039,10

Para calcular el reembolso se tomarán como base estas cantidades

dos, disponiéndose además de un dato concreto. Esta fábrica para la facturación por parte de la Empresa Eléctrica figuraba con un factor de potencia algo diferente del calculado aquí:

En febrero de este año, cuando la Empresa Eléctrica Quito, - por una disposición transitoria, suspendió el cobro del recargo - por factor de potencia bajo, por el plazo de un año, hasta que - los industriales lo compensen, la planilla de ese mes para la fábrica "San Vicente" que costaba \$ 111,370, le se la disminuyó por este concepto en \$ 20.933,30, pagándose solamente \$ 90.436,80.

Calculado el factor de potencia de 0,66 el documento habría sido de \$ 16.278,00.

En los cálculos que van a continuación se toma en cuenta el recargo del 18 % correspondiente a un factor de potencia de 0,66 y se supone que el valor pagado en las planillas es el 100 % de - la energía consumida. El 18 % de recargo no pagado, será el ahorro, que una vez compensado el factor de potencia servirá para reembol sar la inversión.

<u>M E S</u>	<u>100 %</u>	<u>18 %</u>
Octubre	\$ 102.596,00	\$ 18.467,00
Noviembre	" 92.529,00	" 16.655,00
Diciembre	" 108.570,00	" 19.542,00
Enero	" 81.416,00	" 14.654,00
Febrero	" 90.436,80	" 16.278,00
Marzo	" 134.072,00	" 24.132,00
Abril	" 121.039,00	" 21.787,00
		<hr/>
		\$ 131.915,00

En un lapso de 7 meses se habrían pagado \$ 131.315,00, que -

constituyen el 53 % del costo de la inversión.

Suponiendo que en los meses venideros el recargo en promedio de \$ 20.000,00 mensuales, que se ahorran con la compensación, 47 % restante de la inversión se pagará en 6 meses, redondeando la cifra.

El equipo tiene un reembolso anual de 92 % de su costo.

Se debe notar que para el cálculo de los recargos se ha tomado en cuenta el porcentaje correspondiente al factor de potencia inculcado, menor que el fijado por la Empresa Eléctrica, porque el porcentaje deberá modificarse una vez que se coloquen los condidores respectivos y también para calcular el reembolso con valores pesimistas.

No hace falta añadir ningún comentario al respecto porque las cifras recomiendan por sí solas la conveniencia económica de la compensación.

CAPITULO SEPTIMO

Como conclusiones a este trabajo se pueden anotar:

- Cuando existe una cláusula en la planilla de pago de energía eléctrica, que señala un recargo por factor de potencia bajo, el equipo de compensación se paga rápidamente como se puede deducir del análisis económico hecho en el Capítulo anterior.

- Si la fábrica trabajase con sus propios generadores diesel eléctricos el problema principal de la compensación sería el disminuir la carga en los generadores.

En este caso el análisis económico se lo debería hacer comparando los costos de un generador y equipo accesorio de capacidad igual a la potencia que se disminuya con la compensación y el valor del equipo compensador. Posiblemente sería más económico corregir a un factor de potencia más alto, muy cercano a la unidad.

- Cuando la carga de una industria está formada exclusivamente por motores de inducción, la compensación por condensadores quizá la más adecuada, porque la demanda de potencia reactiva en un motor de inducción es casi constante sea que el motor trabaje a vacío o a plena carga.

Es lástima que los motores de inducción de esta industria sean de pequeña potencia que no se prestan para proveerlos de su condensador individual, evitándose el costo del control automático, aun sería necesaria más capacidad en condensadores.

- La compensación por condensadores es una forma simple de corregir el factor de potencia, aunque sus leyes con respecto a resonancia y armónicos no sean todavía bien establecidas, lo que -

produce un cierto temor en el Ingeniero, que no puede predecir a cabalidad el comportamiento del equipo sino solamente despues de un análisis de la carga, tan largo que elevaría mucho el costo del estudio, por lo que se prefiere esperar el funcionamiento y cuando se presenta alguna anomalía, aplicar alguna medida de fácil realización para corregirla. Método que a todas luces es más económico que un estudio exhaustivo.

5ta. - La dificultad de predecir el funcionamiento es todavía más notoria en tratándose de condensadores serie, donde la corrección casi no se la hace por leyes matemáticas sino por resultados de instalaciones ya en funcionamiento o por pruebas que se han hecho en las casas fabricantes.

6ta. - Con la compensación no solo se consigue eliminar el porcentaje de recargo en el pago de la planilla, sino que se consigue:

a) Un aumento de tensión con los condensadores conectados. Este aumento de tensión se lo puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\% V = \frac{(EVAR) (X \%)}{KVA}$$

Donde:

EVAR = Potencia conectada en condensadores.

X % = Reactancia del transformador en porcentaje.

KVA = Potencia aparente del transformador.

Calculando para el primer pabellón:

$$\% V = \frac{200 \times 6,4}{480} = 2,56 \% ; \text{ que equivalen a } 5,9 \text{ volts.}$$

Para el segundo pabellón:

$$\% V = \frac{58 \times 3,7}{300} = 0,72 \% \text{ que equivalen a } 1,6 \text{ volts.}$$

Para el tercer pabellón:

$$\% V = \frac{90 \times 6,6}{480} = 1,32 \% \text{ que equivalen a } 2,7 \text{ volts}$$

Para el cuarto pabellón:

$$\% V = \frac{60 \times 6,4}{480} = 0,8 \% \text{ que equivalen a } 1,76 \text{ volts.}$$

Un ahorro en las pérdidas de potencia en las líneas de alta tensión dentro de la fábrica. Desafortunadamente no se puede calcular esta economía por no disponer de los parámetros de la línea.

Se evita de colocar en la subestación de hilatura otro transformador en paralelo con el existente.

Esto costaría aproximadamente:

3 fusibles 7.8 KV, 50 Amps. a \$ 45,00 c/u. ....	\$ 135.00
1 transformador 150 KVA, 3 Fases, 6,000/220, 60 ciclos.,	\$ 800.00
1 interruptor de potencia 600 volts, 600 amps .....	\$ 350.00
TOTAL .....	\$ 1.285.00

Valor que se podría disminuir del costo del equipo de compensa

Esta conclusión se refiere a la naturaleza misma de este trabajo. Un problema como el presente, para la práctica es analizar y resolver. Se ha prolongado un poco porque se ha querido hacer un estudio general de los métodos de compensación

del factor de potencia y también explicar paso por paso como se debería afrontar un problema de este tipo.

#### RECOMENDACIONES:-

Los condensadores van montados en bastidores de hierro ángulo 1 1/2" x 1/4" como se indica en el esquemático de instalación.

Todos los relevadores, excepto los contactores, irán montados en un tablero único en el que también estarán incluidos los pulsadores y las lámparas piloto, se dispondrá el equipo correspondiente a cada derivación de tal manera que sea fácilmente identificable con la derivación que opera. Los contactores irán ubicados lo más cerca al recorrido de los cables de conexión. Las conexiones entre los relevadores se las hará de conductor # 14 A.W.G. y utilizando donde sea necesario conduit flexible tipo BX.

#### RESISTENCIAS DE DESCARGA:-

Al desconectar cualquier derivación, es necesario que la carga eléctrica acumulada en el campo electrostático de los condensadores correspondientes, se reduzca a cero rápidamente para que en la próxima conexión no se descargue bruscamente, formando un arco que fundiría o desgastaría rápidamente los contactos de manobra del contactor magnético, aparte del riesgo de falla en el dieléctrico.

Suponiendo que la derivación se desconecta cuando la tensión llega a su punto máximo o sea cuando  $t = 90^\circ$ , en este caso las tensiones en cada fase valen:



$$\begin{aligned}
 e_1 &= E_m \sin 90^\circ = E_m \\
 e_2 &= E_m \sin (90^\circ - 120^\circ) = -E_m/2 \\
 e_3 &= E_m \sin (90^\circ - 240^\circ) = -E_m/2
 \end{aligned}$$

Con estos valores de tensión, la carga será la nominal para los condensadores conectados a la tensión  $e_1$  y media carga con polaridad invertida para los conectados a las tensiones  $e_2$  y  $e_3$ .

Las resistencias internas de descarga de los condensadores son como finalidad descargarlos pero lo hacen en un tiempo muy corto. La descarga debe ser tal que en un tiempo igual a dos veces el retardo de los relevadores temporizados la carga sea igual a cero.

Tomando un factor de seguridad igual a 3, se elige una resistencia que descargue los condensadores en 10 segundos. (el retardo es de 30 segundos).

Calculada una reactancia para la descarga resulta muy costosa (se necesitan 3200 espiras, conductor # 26 A.W.G.) con un peso considerable si se suman las disipaciones de todas las secciones, con un peligro de resonancia que puede quemar la reactancia. Para estas reactancias de descarga el cálculo matemático no da una aproximación, las reactancias del mercado son hechas a partir de datos prácticos antes que de cálculo.

Se ha ideado una solución a este problema, utilizando los contactos de cierre de los relevadores que conectan los condensadores, los contactos de corte de los relevadores que desconectan los condensadores, los contactos normalmente abiertos y los normalmente cerrados de los relevadores.

Además se usará un relevador tipo control, los contactos para

2 amperios, 4 contactos de cierre, bobina para conectarla a 220 V, 60 c.p.s. cuyo precio es de \$ 5,50 y a éste se conectarán 2 resistencias en delta abierta, calculada cada una para la capacidad nominal de un condensador conectado como se muestra en el diagrama de alambrado del Capítulo Quinto.

Con esto se consigue:

- 1o.- Rápida descarga de la derivación de condensadores.
- 2o.- Las resistencias no drenan ninguna corriente porque sólo entran en el circuito cuando la derivación desconecta o sea en el instante que ocasiona R.T.D. y salen del circuito en cuanto se conecta la derivación.
- 3o.- El costo adicional será solamente del relevador pequeño y las resistencias. (Ya incluido en el costo del equipo).
- 4o.- Se evita el peligro de resonancia.
- 5o.- En caso de que las resistencias se quemaran o resultaran ineficientes se las puede cambiar fácilmente.

El cálculo de las resistencias es el siguiente:

La capacidad de los condensadores en una derivación de 50 KVAR es:

$$C = \frac{\text{KVAR} \times 10^3}{3 V^2 \times} = \frac{50 \times 1.000}{3 \times 484 \times 377} = 915 \mu F.$$

$$Q = C \times V = 915 \times 10^{-6} \times 220 = 0,201 \text{ (Culomb = Amps} \times \text{seg.)}$$

Para descarga en 10 segs.

$$I = \frac{q}{t} = 0,201/10 = 0,0201 \text{ Amperes.}$$

La energía acumulada en los condensadores es:

$$E = 1/2 C V^2 = 915 \times 10^{-6} \times 220^2 \times 0,5 = 22,2 .$$

(Joules = Watt x seg.)

$$P = 22,2 / 10 = 2,22 \text{ Watts.}$$

Las resistencias standard son de 2 watts, por seguridad se pon rán 2 resistencias de 2 watts en paralelo.

$$R = V/I = 220 / 0,02 = 11.000$$

Como van a ser dos resistencias en paralelo serán dos de 22.000 2 watts de disipación cada una.

Con estas mismas resistencias el tiempo de descarga en las derivaciones de 30 KVAR será en todo caso menor, por simplicidad no las calcularemos sino que aplicaremos las mismas.

Algunas recomendaciones referentes al mantenimiento del equipo:

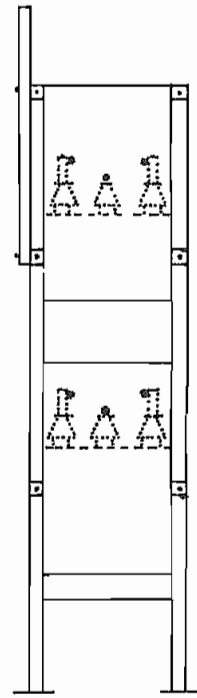
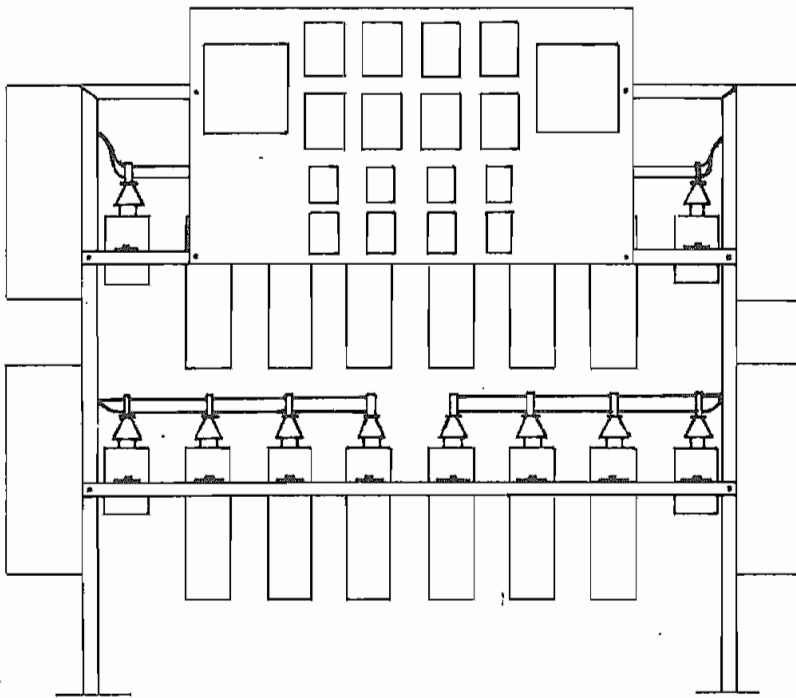
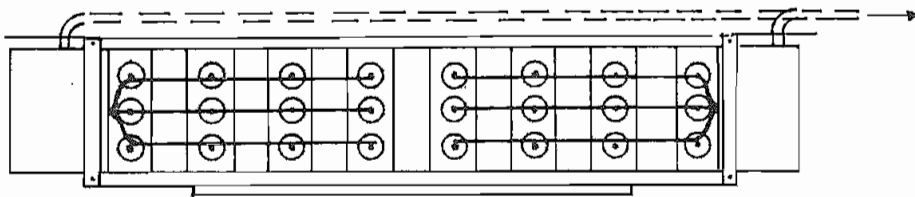
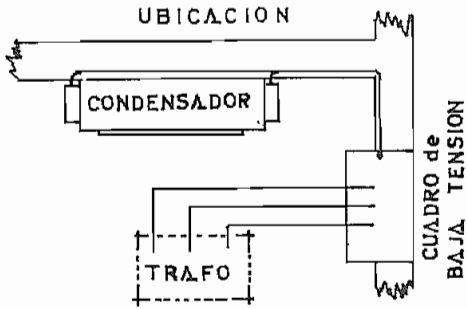
Teniendo en cuenta que los locales donde quedarán instalados los condensadores están libres de polvo y pelusas propias del trabajo de esta industria, una limpieza de los condensadores, bushings, ajuste de conexiones cada tres meses será suficiente. La temperatura de los locales es adecuada y tienen buena ventilación.

Con el fin de lograr un desgaste uniforme del equipo se pueden hacer cambios en la secuencia de maniobra de las diferentes derivaciones, en tal forma que la 1ra. derivación pase a trabajar como 4ta., la 2da. como 1ra., etc.

Se pueden hacer pruebas más frecuentes para comprobar el funcionamiento correcto de los relays, conectando y desconectando los condensadores a mano y esperando la respuesta automática tanto en conexión como en desconexión.

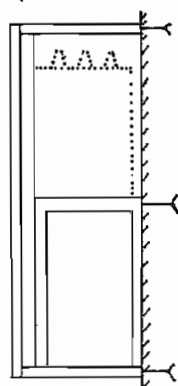
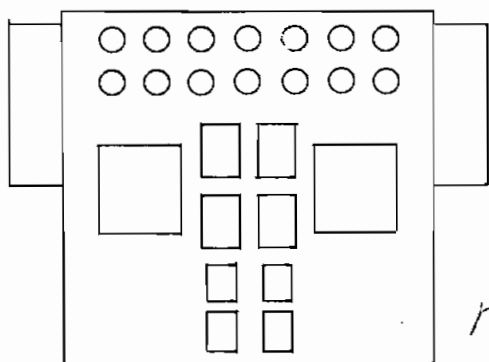
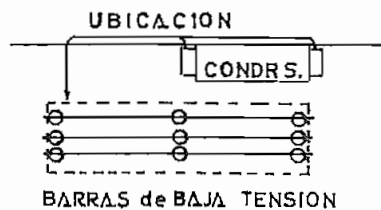
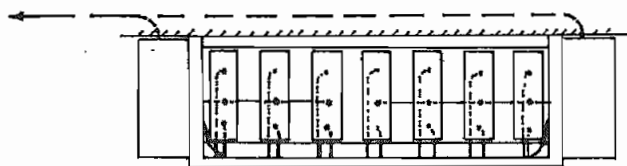
Como parte final de esta tesis profesional se incluye un diagrama de las instalaciones en cada subestación.

PRIMER PABELLON

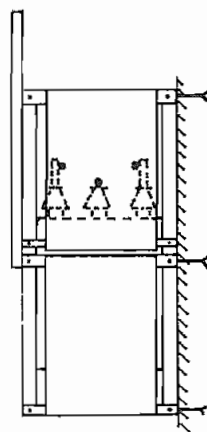
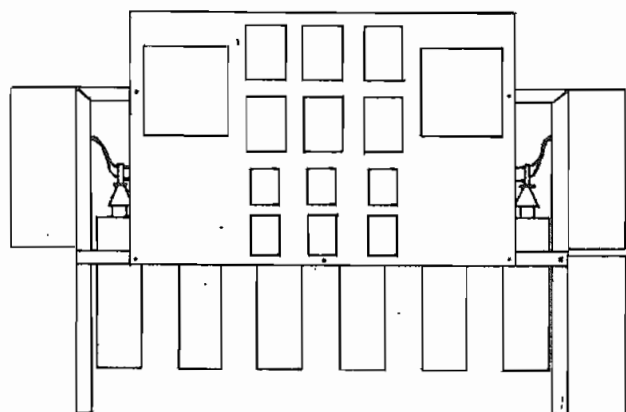
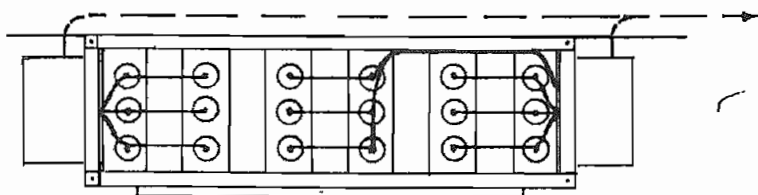


ESCALA 1:20

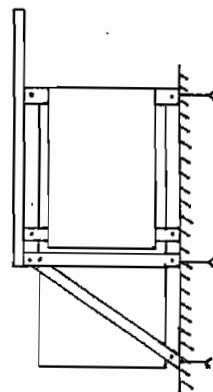
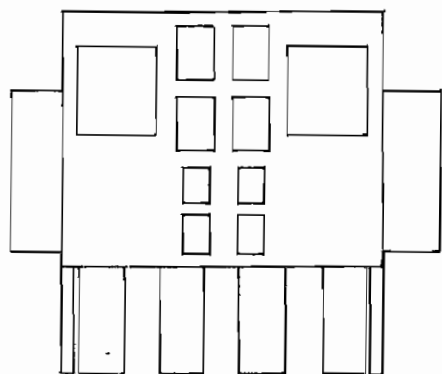
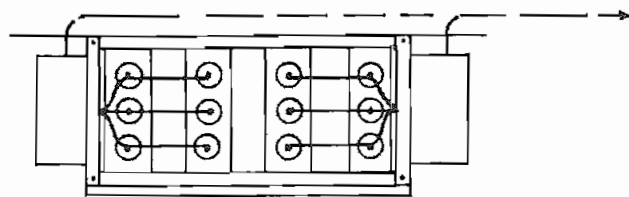
SEGUNDO PABELLON



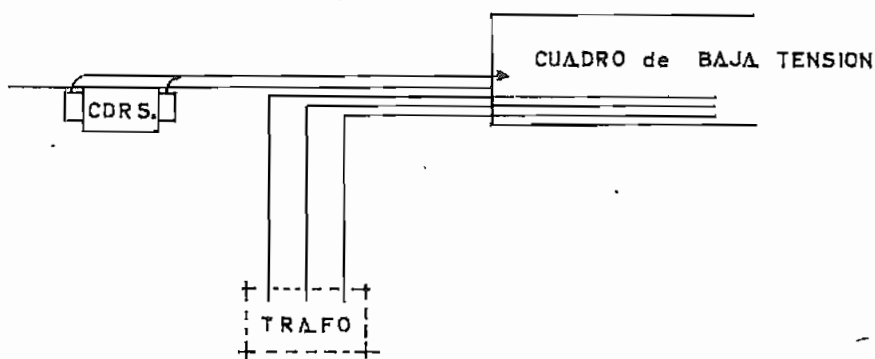
TERCER PABELLON



ESCALA 1:20



UBICACION



ESCALA 1:20

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ① Kerchner & Corcoran -  
CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA  
Editado por: Compañía editorial Continental S.A., México 22, D.  
F. 1.959. Págs. 32, 33, 37, 38.
- ② V. Paschke  
INDUSTRIAL ELECTRIC FURNACES (2 volúmenes).  
Editado por: Interscience Publishers Inc. New York, N.Y. 1.945.  
Págs. 167 - 172, primer volumen.
- ③ R.F. Lawrence & H.E. Richards  
PRINCIPLES OF ALTERNATING CURRENT MACHINERY  
Editado por: McGraw Hill Book Co. Inc. New York, N.Y. 1.953. -  
Págs. 410 - 413.
- ④ R.F. Lawrence y H.E. Richards  
PRINCIPLES OF ALTERNATING CURRENT MACHINERY  
Capítulo de motores síncronos.
- ⑤ A. A. Johnson  
APPLICATION OF CAPACITORS TO POWER SYSTEMS - TRANSMISSION AND DIS-  
TRIBUTION  
Editado por: Westinghouse Electric Corp. East Pittsburgh, Pa.  
1.950. Pág. 233.
- ⑥ C. R. Mason  
THE ART AND SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING  
Editado por: John Wiley & Sons Inc. New York, 1.956. Págs. 26 -  
28.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- W. C. Bloomquist  
CAPACITORS FOR INDUSTRY  
Editado por: John Wiley & Sons Inc. New York, N.Y. 1.950.
- Ch. L. Dawes  
TRATADO DE ELECTRICIDAD (dos tomos).  
Editado por Gustavo Gili S.A. Barcelona, Calle Enrique Granados,  
45, 1.959.



G.H. Heumann

CONTROL ELECTROQUÍMICO DE MOTORES INDUSTRIALES

Editado por: Editorial Reverté S.A. Barcelona 6. 1.957.

F. Hanze

BLINDSTROM UND LEISTUNGSFAKTOR

Editado por: VEB Verlag Technik, Berlin, 1.958.

Kerchner & Corsoran

CIRCUITOS DE CORRIENTES ALTERNAS

Editado por: Compañía Editorial Continental S.A. México 22,  
D.F. 1.959.

A. A. Johnson

APPLICATION OF CAPACITORS TO POWER SYSTEMS, TRANSMISSION AND DIS-  
TRIBUTION

Editado por: Westinghouse Electric Corp. East Pittsburgh, Pa.  
1.950

R. P. Lawrence & H.E. Richards

PRINCIPLES OF ALTERNATING CURRENT MACHINERY, (4ta. Edición).

Editado por: McGraw Hill Book Co. Inc. New York N.Y. 1.953.

Massachusetts Institute of Technology

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Compañía Editorial Continental S.A. México 22, D.F. 1.959.

R. E. Marbury

POWER CAPACITORS

Editado por: McGraw Hill Book Co. Inc. New York, N.Y. 1.949.

V. Paschke

INDUSTRIAL ELECTRIC FURNACES

Editado por: Interscience Publishers Inc. New York, N.Y. 1.945.

J. G. Tarbox

ALTERNATING CURRENT MACHINERY

Editado por: International Textbook Co. Scranton Pennsylvania,  
1.949.

W. S. Wood

THEORY OF ELECTRICAL MACHINES

Editado por: Butterworths Scientific Publications, Londres 1.958.

## REVISTAS Y PUBLICACIONES

## A. E. G. CONDENSADORES DE CORRIENTE INDUSTRIAL

Editado por: Allgemeine Elektrizitäts - Gesellschaft  
Frankfurt, Enero, 1.953.

## ASEA, DEVELOPMENT OF CAPACITORS

Editado por: Västmanlands Allihanda Printing Co. Västerås  
Suecia, Julio, 1.951.

## ASEA Review, LOS CONDENSADORES COMO FUENTE DE POTENCIA REACTIVA

Editado por: Västmanlands Allihanda, Västerås  
Suecia, Mayo, 1.950.

## E. Bornitz &amp; A. Schmidt

REGULACION DE POTENCIA REACTIVA CON CONDENSADORES, EN REDES E  
INSTALACIONES INDUSTRIALES

Editado por: La ABC al día  
Frankfurt, núm. 4. 1.955. Págs. 332 - 344.

Brown Boveri Review, THE MEDIUM FREQUENCY INDUCTION FURNACE FOR  
HEATING STEEL, GREY IRON AND NON-FERROUS METALS

Editado por: Brown Boveri Co. Volumen 48, Octubre 1.961. Núm. 10.

## General Eléctrica Española

## CONDENSADORES ELECTROSTATICOS PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

Editado por: General Eléctrica Española, Junio, 1.952.

## Line Material Industries

## CAPACITORS SWITCHING CONTROLS

Editado por: Line Material Industries, Milwaukee 1, Wisconsin  
Marzo, 1.962.

## Line Material Industries

## POWER FACTOR IMPROVEMENT FOR INDUSTRIAL LOADS

Editado por: Line Material Industries, Bulletin No. 63108, Sep-  
tiembre, 1.963.

## Palcari Giacomo

COMANDO AUTOMATICO DI INSERZIONE E DESINSERZIONE DEI CONDENSATO  
RI DI RIFASAMENTO NEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

Editado por: L'Energia Elettrica, núm. 3, 1.957. Pág. 296.

Siemens

INSTALACIONES AUTOMATICAS DE REGULACION PARA CONDENSADORES  
ESTATICOS CON REYES DE POTENCIA REACTIVA

Editado por: Siemens Schuckertwerke aktiengesellschaft  
Berlin (sin fecha).