

"TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTRO-  
TECNIA DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL"

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA  
DE LA  
INDUSTRIA TEXTIL "LA INTERNACIONAL C. A."  
(FABRICA "EL RECREO")

CESAR MALDONADO ZAMBRANO  
Quito, Octubre de 1965

## I N T R O D U C C I O N

Los sistemas de energía de corriente alterna transportan, en general, un costoso gravamen de corriente devatiada debido a las cargas inductivas. La forma de corregir este gravamen constituye uno de los problemas más importantes de la Industria Eléctrica.

El exceso de estas "corrientes devatiadas" produce un bajo factor de potencia que causa inconvenientes, no solamente a las compañías suministradoras de energía, que en definitiva encarecen el costo de la producción de la energía eléctrica, sino también en las instalaciones de los consumidores, que vienen a perjudicar sus intereses y que provienen de sus propias instalaciones, donde se encuentra el origen del problema, y donde se puede corregirlo eficazmente.

Debido a estos inconvenientes, las compañías eléctricas se han visto en la necesidad de imponer ciertas cláusulas que originan un recargo en las tarifas establecidas, cuando el factor de potencia es

inferior al estipulado, para obligar a los consumidores a corregirlo.

La presente Tesis, es un estudio técnico-económico de la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico de la Industria Textil La Internacional, S.A., (Fábrica "ElRecreo"), que actualmente enfrenta un problema de esta naturaleza.

Esta Tesis comprende dos partes. La primera, en la cual se analizan los aspectos generales del factor de potencia bajo, sus causas, y efectos sobre la Industria Eléctrica, y los medios prácticos de corrección disponibles.

En esta parte, se ha dado mayor atención al análisis de los condensadores estáticos, debido a la importancia que revisten en relación con el objetivo del presente trabajo. Es por esto, también, que se ha incluido en esta parte, un breve estudio de los métodos de control automático de condensadores.

La segunda parte se refiere a la aplicación práctica de la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico de la mencionada Industria.

En ésta, se explica el procedimiento seguido para resolver el problema, consultando primordialmente el factor económico.

Uno de los aspectos de mayor importancia, tratado en esta parte, es el análisis de las alternativas relativas a la ubicación del equipo de corrección, dos de las cuales se descartan de inmediato, mientras que las dos restantes se analizan detalladamente, para decidir la más favorable económicamente.

# INDICE DE MATERIAS

Pgns.

INTRODUCCION.

PARTE I.

CAPITULO I.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR DE  
POTENCIA EN LA INDUSTRIA ELECTRICA . 11

1.- Potencia y Factor de Potencia.	1
2.- Causas que producen un Factor de Potencia Bajo.	8
2.1-- Motores de Inducción.	9
2.2-- Hornos Eléctricos.	19
2.3-- Soldadores Eléctricos de C.A.	21
2.4-- Circuitos de Transmisión.	22
2.5-- Lámparas de descarga o de arco.	24
3.- Efectos del Factor de Potencia bajo en la Industria Eléctrica.	24
<u>3.1</u> -- Efectos Físicos.	24
3.1.1-- En la Pérdida de Potencia.	25
3.1.2-- En la Regulación de Tensión.	26
<u>3.2</u> -- Efectos Económicos.	32
3.2.1-- En un Sistema Existente.	32
3.2.2-- En el cálculo de un Nuevo Sistema.	32
3.2.3-- Sobre el Sistema General.	32
3.2.4-- Sobre los consumidores de Energía.	33

CAPITULO II.

MEDIOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.	39
1.- Medidas Preventivas.	39
2.- Medidas Compensativas.	42
2.1. Máquinas Sincrónicas.	43
2.1.1-- Efectos de la variación de la excitación.	45
2.1.2-- Efectos de la variación de la carga.	48
2.1.3-- Efectos de la tensión.	50
2.2- Condensadores Estáticos.	53
2.2.1-- Funcionamiento.	54
2.2.2-- Características de construcción.	59
2.2.3-- Características de diseño.	64
2.2.4-- Aplicación.	73

CAPITULO III.

CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES.	81
1.- Métodos de Control.	83
1.1-- Control en relación con el voltaje.	85
1.2-- Control en relación con la corriente.	87
1.3-- Control en relación con la potencia reactiva.	87
1.4-- Selección del Método de Control.	88

PARTE II.

CAPITULO IV.

DESCRIPCION Y ANALISIS GENERAL DEL SISTEMA  
ELECTRICO DE LA FABRICA. 90

1.- Características Generales. 90

1.1-- Preparación e Hilatura. 90

1.2-- Urdidumbre y Tejeduría. 92

1.3-- Tinterería. 93

1.4-- Sala de Calderos. 94

1.5-- Estación de Bombeo. 94

2.- Descripción y análisis general del sistema Eléctrico. 95

2.1-- Central Térmica. 95

2.2-- Acometida de la Empresa Eléctrica  
Quito y Tableros de Control. 97

2.3-- Distribución Primaria. 98

2.4-- Subestaciones Reductoras. 98

2.5-- Distribución Secundaria. 102

2.6-- Comentarios. 103

CAPITULO V

ELECCION DEL METODO DE CORRECCION MAS  
CONVENIENTE. 106

1.- Medidas Preventivas. 106

2.- Medidas compensativas. 107

2.1- Máquinas sincrónicas. 107

2.2- Condensadores Estáticos. 109

CAPITULO VI

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA BAJO  
LAS CONDICIONES ELECTRICAS ACTUALES.

113

1.- Ubicación del equipo de corrección.	113
1.1- En los terminales de cada motor.	114
1.2- En cada uno de los alimentadores secundarios principales.	117
1.3- En el lado secundario de los transformadores.	119
1.4- En las barras de alta tensión.	119
2.- Medidas realizadas.	121
3.- Cálculo de la corrección.	123
3.1- Corrección en Baja Tensión.	124
3.2- Corrección en Alta Tensión.	129
4.- Método de control más conveniente.	131
4.1- En baja tensión.	131
4.2- En alta tensión.	133

CAPITULO VII.

SELECCION DEL EQUIPO DE CONDENSADORES Y  
CONTROL DEFINITIVO.

137

1.- Selección del equipo y control.	137
2.- Especificaciones.	142
3.- Cálculo económico de la corrección.	151

## FIGURAS Y ANEXOS

- | Fig. No. | FIGURAS  |
|----------|--|
| 1-       | Circuito resistivo-inductivo (curvas, diagrama vectorial).                                 |
| 2-       | Circuito resistivo puro (curvas, diagrama vectorial).                                      |
| 3-       | Circuito inductivo puro (curvas y diagrama vectorial).                                     |
| 4-       | Circuito capacitivo puro (curvas y diagrama vectorial).                                    |
| 5-       | Componentes activa y reactiva de la intensidad de corriente.                               |
| 6-       | Circuito equivalente a un motor de inducción.  |
| 7-       | Diagrama vectorial equivalente del motor de inducción.                                     |
| 8-       | Aumento del factor de potencia con la carga en un motor de inducción (a jaula de ardilla). |
| 9-       | Características de un motor de inducción de mediana capacidad y velocidad.                 |
| 10-      | Esquema de un horno de inducción.  |
| 11-      | Diagrama vectorial correspondiente a un horno de inducción.                                |
| 12-      | Esquema de un soldador eléctrico (por resistencia)   |
| 13-      | Relación vectorial del generador para alto factor de potencia.                             |
| 14-      | Relación vectorial del generador para bajo factor de potencia.                             |
| 15-      | Efecto del voltaje en el funcionamiento de un motor de inducción.                          |
| 16-      | Efectos de la variación de la excitación en las máquinas sincrónicas (motor sincrónico).   |
| 17-      | Efecto de la variación de la carga en las máquinas sincrónicas.                            |
| 18-      | Efecto de la tensión en las máquinas sincrónicas.  |
| 19-      | Transporte de electrones en las placas de un condensador.                                  |

- 20- Comportamiento de un condensador en un circuito eléctrico.
- 21- Relaciones entre el voltaje y la corriente en un condensador en circuitos de C.A.
- 22- Esquema elemental de un condensador.
- 23- Variación de la capacidad con la temperatura para un condensador impregnado con askarel.
- 24- Variación de las pérdidas con la temperatura para un condensador impregnado con askarel.
- 25- Efecto fundamental de un condensador en derivación.
- 26- Componentes de la caída de tensión en un sistema.
- 27- Precio promedio de los condensadores en relación a la tensión nominal.
- 28- Precio aproximado de equipo de condensadores con aparatos de maniobra (interior 60 ciclos) para 230 voltios.
- 29- Precio aproximado de equipo de condensadores con aparatos de maniobra (interior 60 ciclos) para 2.400 a 13.800 voltios.
- 30- Esquema de control automático de condensadores.
- 31- Ilustración gráfica de la regulación del voltaje por medio de la conmutación automática de condensadores en respuesta a la variación del voltaje.
- 32- Diagrama de control automático, de condensadores en relación con el voltaje (una etapa).
- 33- Efecto de la conmutación de condensadores en tres etapas.
- 34- Diagrama de control automático de condensadores en relación con la corriente (una etapa).
- 35- Diagrama de control automático de condensadores en relación con la potencia reactiva (una etapa).
- 36- Diagrama unifilar del sistema eléctrico. Fábrica Textil "El Recreo".

- 37- Disposición general del sistema eléctrico. Fábrica Textil "El Recreo".
- 38- Curvas de carga y factor de potencia. Sistema T1A (Preparación e Hilatura).
- 39- Curvas de carga y factor de potencia. Sistema T1B. (Preparación-Hilatura).
- 40- Curva de carga y factor de potencia. Sistema TIC (Preparación-Hilatura).
- 41- Curva de carga y factor de potencia. Sistema T3A-T3B. (Estación de Bombeo).
- 42- Curva de carga y factor de potencia. Sistema T2A. (Tintorería)
- 43- Curvas de carga y factor de potencia. Sistema T2A (Tintorería).
- 44- Curvas de carga y factor de potencia total.
- 45- Diagrama de control automático (control de corriente) del equipo de condensadores. "Fábrica "El Recreo".
- 46- Esquema de disposición general de la instalación correctora.

#### A N E X O S

- 1 Cuadro económico comparativo entre las alternativas Baja-Alta tensión.
- 2 Medidas de carga y factor de potencia - Baja Tensión. ( 15 Hojas).
- 3 Medidas de carga y factor de potencia total. Alta Tensión. ( 12 Hojas).

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR  
POTENCIA EN LA INDUSTRIA ELECTRICA  
1.- POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA

Se denomina potencia eléctrica a la cantidad de energía eléctrica que se transmite en la unidad de tiempo. Por definición:

$$\begin{aligned} \text{(potencia) } p &= v \cdot dq/dt = v \cdot i \text{ (watios o joule/seg.)} \quad (1) \\ \frac{\text{(joule)}}{\text{seg.}} &= \frac{\text{(joule x coulomb)}}{\text{coulb seg.}} = \text{(Volt x amp)} \end{aligned}$$

Siendo  $p$  la potencia en watios,  $v$  la diferencia de potencial o tensión en voltios, e  $i$  la intensidad de corriente en amperios, cuando la cantidad de electricidad  $dq$  se transmite en el tiempo  $dt$ . Estas expresiones se refieren a valores instantáneos.

La expresión general de la energía suministrada a un circuito de corriente alterna, es:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} v \cdot i \, dt \quad \text{(joules o watios-seg.)} \quad (2)$$

Donde,  $v$  e  $i$  son los valores instantáneos de la tensión en voltios y corriente en amperios, respectivamente, y  $t_2 - t_1$  es el intervalo de tiempo en segundos en el que se determina la energía.

La potencia media suministrada durante el mismo intervalo se determina dividiendo la energía para dicho intervalo de tiempo, es decir:

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v \cdot i \, dt \quad \text{(watios)} \quad (3)$$

Como la corriente y tensión varían con respecto al tiempo, la potencia variará también de un instante a otro, de acuerdo con los signos y magnitud de las dos primeras.

Si, en un instante dado, la corriente y tensión son del mismo signo, la potencia es positiva (convencionalmente, se considera la potencia positiva cuando la energía se transfiere de la fuente a la carga); pero si son de signo contrario, la potencia es negativa (en este caso, se considera que la energía se transfiere de la carga a la fuente); mientras que si una de ellas o ambas son cero, la potencia es cero.

Estas relaciones se representan gráficamente en la figura 1, en la cual, las curvas I, V y P representan la corriente, tensión y potencia respectivamente. La superficie determinada por la curva de potencia y el eje del tiempo representa la energía suministrada a través del ciclo.

Al aplicar un voltaje sinusoidal en un circuito, la corriente que circula por dicho circuito está determinada en su magnitud y fase por los elementos del circuito (resistencia R, autoinductancia L, capacitancia C, e inductancia mutua M) y la velocidad angular o frecuencia del voltaje aplicado. Si los elementos son constantes, entonces la corriente tendrá la forma de onda sinusoidal.

Si a un circuito resistivo puro se le aplica un voltaje sinusoidal  $v$ , la corriente que circula por dicho circuito estará en fase con el voltaje aplicado, tal como se puede ver en las curvas y diagrama vectorial de la figura 2. Esto se demuestra de la siguiente manera:

Si  $v = V_m \text{ sen } \omega t$ , es el voltaje aplicado a una resistencia pura, la ecuación de equilibrio es:

$$v = R \cdot i = V_m \text{ sen } \omega t \quad (4)$$

De donde,  $i = \frac{V_m}{R} \text{ sen } \omega t = I_m \text{ sen } \omega t \quad (5)$

De esta ecuación se deduce que la onda de corriente está en fase de tiempo con la onda de voltaje.

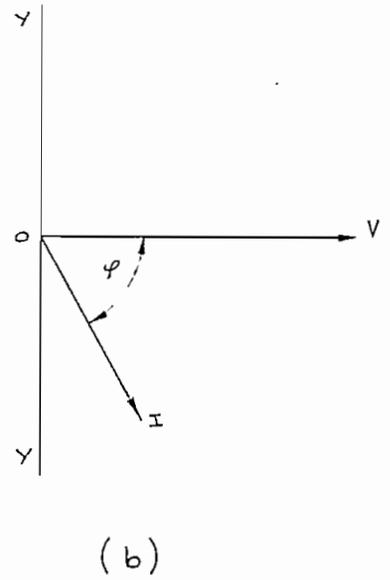
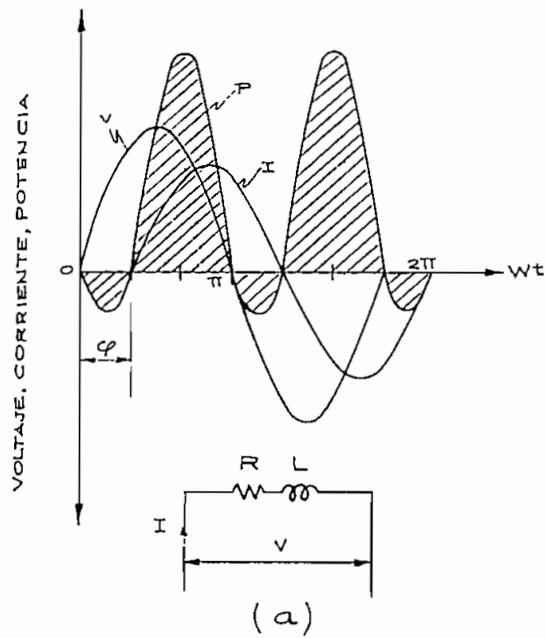


FIG. 1.- CIRCUITO RESISTIVO-INDUCTIVO

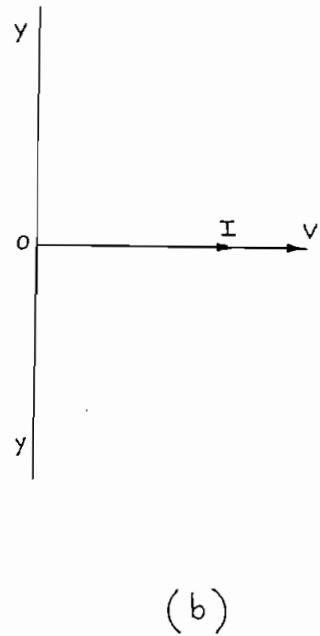
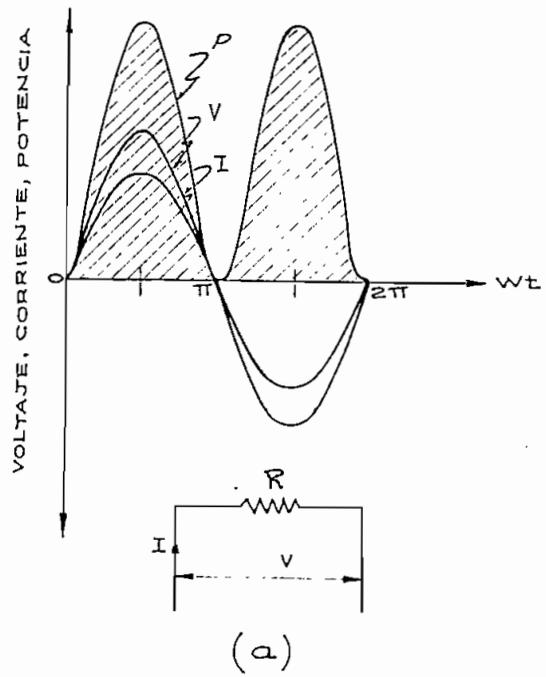


FIG. 2.- CIRCUITO RESISTIVO PURO

Cuando se aplica un voltaje sinusoidal  $v$  a un circuito inductivo puro, la corriente que circula por dicho circuito estará en atraso  $90^\circ$  con respecto al voltaje. Esta relación se demuestra como sigue.

Si  $v = V_m \text{ sen } \omega t$  es el voltaje aplicado a una inductancia pura, la ecuación de equilibrio es:

$$v = L \frac{di}{dt} = V_m \text{ sen } \omega t \quad (6)$$

De donde,  $di = \frac{V_m}{L} \text{ sen } \omega t \, dt$  (7)

Integrando,  $i = -\frac{V_m}{L\omega} \text{ cos } \omega t + C_1$  (8)

La constante de integración  $C_1^{(8)}$  se toma igual a cero, y en estas condiciones, la ecuación (8) se convierte en

$$i = I_m \text{ sen } (\omega t - 90^\circ) \quad (9)$$

que es una senoide retrasada  $90^\circ$  con respecto el voltaje. Las curvas y diagrama vectorial para este caso se indican en la figura 3.

Si se aplica un voltaje sinusoidal  $v$  a un circuito capacitivo puro (condensador ideal), la corriente que circula por dicho circuito estará en adelanto  $90^\circ$  con respecto al voltaje, tal como se puede ver en las curvas y diagrama vectorial de la figura 4. Esta relación se puede demostrar también de la siguiente manera:

La expresión de equilibrio para este caso es:

$$v = q/C = V_m \text{ sen } \omega t \quad (10)$$

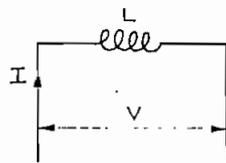
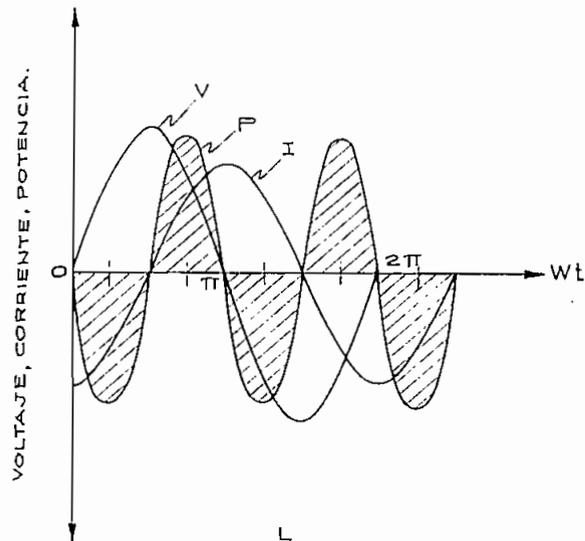
De donde,  $q = C V_m \text{ sen } \omega t$  (11)

Derivando con respecto al tiempo, tenemos

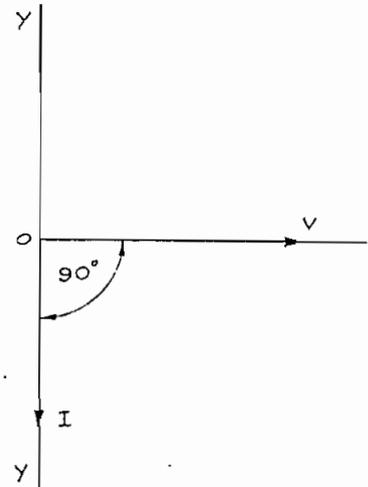
$$\frac{dq}{dt} = C \omega V_m \text{ cos } \omega t \quad (12)$$

o sea  $i = I_m \text{ cos } \omega t = I_m \text{ sen}(\omega t + 90^\circ)$  (13)

(+) Kerchener & Corcoran, Circuitos de corriente alterna, 2a. ed., pág.80.

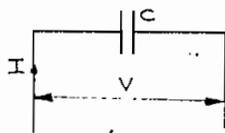
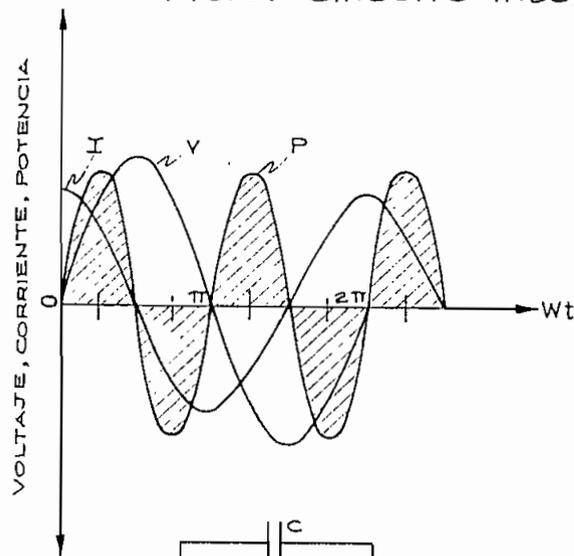


(a)

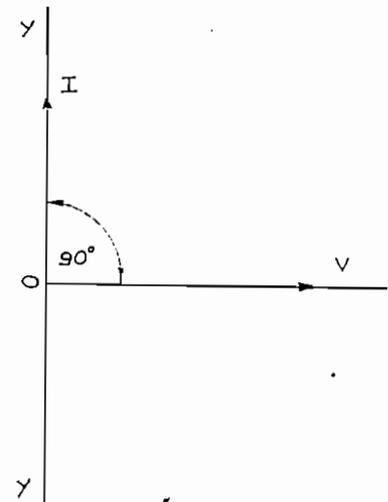


(b)

FIG. 3.- CIRCUITO INDUCTIVO PURO



(a)



(b)

FIG. 4.- CIRCUITO CAPACITIVO PURO

que es una sinusoida adelantada 90° con respecto al voltaje aplicado.

Si la diferencia de fase entre el voltaje y corriente es un ángulo φ que no es cero, ni 90° en atraso o adelanto, como sucede en la práctica (circuito con resistencia óhmica y autoinductancia o capacidad), la potencia media no es cero, ni V.I, sino que viene dada por la siguiente expresión:

$$P = V.I \text{ Cos } \varphi \tag{14}$$

Esto se demuestra como sigue:

Por definición, la potencia instantánea (1) es

$$p = v.i \quad (\text{wattios}) \tag{1}$$

Si  $v = V_m \text{ sen } wt$

y la corriente está adelantada o atrasada un ángulo φ con respecto al voltaje, tendremos::

$$i = I_m \text{ sen } (wt \pm \varphi) \tag{15}$$

Luego,  $p = V_m \text{ sen } wt, \times I_m \text{ sen } (wt \pm \varphi) \tag{16}$

Desarrollando,

$$p = \frac{V_m I_m}{2} [(1 - \text{cos } 2wt) \text{cos } \varphi \pm \text{sen } 2wt \text{ sen } \varphi] \tag{17}$$

La potencia media es igual a la energía dividida para el tiempo, es decir,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \text{ dt} \tag{3}$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_m I_m}{2} [(1 - \text{cos } 2wt) \text{cos } \varphi \pm \text{sen } 2wt \text{ sen } \varphi] \tag{18}$$

$$P = \frac{V_m I_m}{2T} (t \text{cos } \varphi - \frac{\text{sen}2wt \text{cos } \varphi}{2w} \mp \frac{\text{cos}2wt \text{sen}\varphi}{2w})_0^T \tag{19}$$

$$P = V.I.\text{Cos } \varphi \tag{14}$$

En donde, cos φ recibe el nombre de factor de potencia, P el de potencia activa o verdadera (wattios), y V.I. el

de potencia aparente (VA). V,I son valores medios cuadráticos o eficaces.

Cuando la tensión y corriente se encuentran en cuadratura, o sea  $\varphi = 90^\circ$ , el factor de potencia es cero y, por tanto, la potencia media es cero.

Si la tensión y corriente se encuentran en fase, caso  $\varphi = 0^\circ$ , el factor de potencia es la unidad y, entonces, la potencia media es V.I.

De acuerdo con la ecuación (14), el factor de potencia de un circuito monofásico, en el cual la forma de onda del voltaje y corriente es sinusoidal, se define como el coseno del ángulo del desplazamiento de fase entre voltaje y corriente.

Una definición más simple y general, es la que considera al factor de potencia como la relación entre la potencia activa o verdadera y la potencia aparente del circuito (normas AIEE), siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces del voltaje y la corriente. Es decir,

$$\text{Cos } \varphi = \frac{\text{V.I. (wattios)}}{\text{V.I. (voltio-amperios)}} \quad (20)$$

valor que nunca puede ser mayor que la unidad.

El factor de potencia de un circuito trifásico equilibrado es igual al factor de potencia de una de las fases.

En circuitos polifásicos no equilibrados se puede asumir con suficiente aproximación que el factor de potencia del circuito es igual al promedio de los factores de potencia de cada una de las fases.

Otra definición del factor de potencia para circuitos polifásicos, ya sean equilibrados o no equilibrados (aceptada por el Instituto Americano de Ingenieros

Electricistas)+, es la que considera al factor de potencia como la relación de la potencia activa (en watios) a la potencia aparente total (en VA). Siendo esta última la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la potencia activa total Pa y potencia reactiva total Pr. Es decir,

$$\cos \varphi = \frac{\text{Potencia activa (watios)}}{\text{Potencia aparente (VA)}} \quad (21)$$

$$= \frac{\text{Potencia activa (watios)}}{\sqrt{Pa^2 + Pr^2}} \quad (VA) \quad (22)$$

La potencia reactiva total Pr es definida además, como la suma algébrica de las potencias reactivas separadas que corresponden a las componentes armónicas separadas del sistema.

Para el objetivo de este estudio, creemos que será suficiente considerar al factor de potencia definido en la forma más simple y general.

El factor de potencia puede variar entre cero y uno, dependiendo del valor del ángulo  $\varphi$ , y además puede ser adelantado o atrasado según que la corriente esté adelantada o atrasada con respecto al voltaje.

Si el factor de potencia de un circuito es muy cercano a la unidad, toda la corriente que circula por los conductores y demás elementos del sistema está desarrollando un trabajo efectivo. En cambio, si el factor de potencia es bastante bajo, solamente una pequeña parte de esta corriente efectúa el trabajo útil, mientras que el resto de la corriente fluctúa entre los generadores y los aparatos receptores sin hacer trabajo efectivo.

Esto se puede explicar mejor si consideramos el diagrama vectorial de la figura 5 correspondiente a un

(+) Electric Machinery Mfg Co. The Power Factor Book. 1a. ed., pág. 30.

receptor (que no sea lámpara incandescente) conectado a un circuito de corriente alterna. Si el receptor es tal que absorve una corriente  $I$  defasada en un ángulo  $\varphi$  con respecto al voltaje aplicado  $V$ , entonces esta corriente  $I$  se puede descomponer en dos componentes: una, en fase  $I_a$ . y, otra, en cuadratura  $I_q$  con el voltaje  $V$ , siendo la corriente total  $I$  igual a la suma vectorial de los dos componentes.

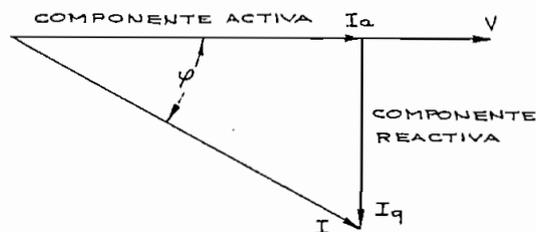
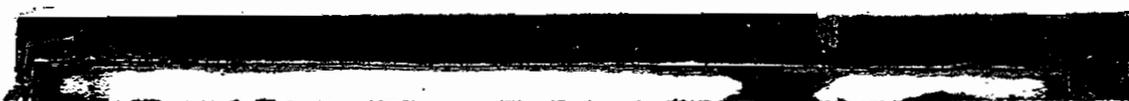


FIG.5.- COMPONENTES ACTIVA Y REACTIVA DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE.



Por definición, la potencia absorbida por el receptor es:

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

Como  $I_a = I \cos \varphi$  (del diagrama vectorial) (23)

tenemos,  $P = V \cdot I_a$  (24)

De esta ecuación se deduce que la componente  $I_a$ . es la que realiza el trabajo efectivo, por lo cual recibe el nombre de componente activa, efectiva o energética.

En cambio la componente  $I_q$ , en cuadratura con el voltaje no produce potencia alguna, por lo cual recibe el nombre de componente reactiva, anergética o devatiada. Esta componente a pesar de que no contribu-

ya a suministrar potencia alguna al receptor, sin embargo produce pérdidas en el circuito de alimentación del receptor, como se puede ver a continuación:

La pérdida en el circuito de alimentación es:

$$p = I^2 R \quad (25)$$

$$= (I_a^2 + I_q^2) R \quad (26)$$

$$= R I_a^2 + R I_q^2 \quad (27)$$

Siendo R la resistencia del circuito.

Conviene, entonces, que esta componente  $I_q$  sea lo menor posible, o, en otras palabras, que el circuito trabaje con un factor de potencia alto.

Desde luego, las componentes activa y reactiva de la corriente no son independientes, ya que solamente circula una corriente total por el circuito; sin embargo, esta corriente puede considerarse descompuesta en dos componentes para facilitar la comprensión de las relaciones entre las magnitudes que intervienen en la expresión de la potencia.

El factor de potencia se hace presente en todo sistema de corriente alterna. Si su valor es cercano a la unidad, se tienen las mejores condiciones de funcionamiento, en cuanto a dicho factor se refiere. Pero, cuando éste alcanza un valor bajo debido a un considerable ángulo de atraso entre corriente y voltaje, se tienen efectos perjudiciales en el sistema donde existen estas condiciones, de los cuales se hablará más adelante. Antes conviene estudiar brevemente las causas que originan los factores de potencia bajos.

## 2.- CAUSAS QUE PRODUCEN UN FACTOR DE POTENCIA BAJO.

La causa fundamental para que se produzcan factores de potencia bajos, se debe a que en la mayoría

de los aparatos de C.A., la corriente tiene que cumplir dos funciones distintas: una, ejecutar el trabajo y , otra, proveer el campo magnético. .

. Como se ha visto anteriormente, la componente que hace el trabajo está en fase con el voltaje; mientras que la componente que provee el campo magnético o de inducción, está en cuadratura con el voltaje. La corriente total que fluye es, pues, la resultante de dos componentes que se hallan en cuadratura.

. La corriente requerida para producir el campo magnético está 90° atrasada con respecto al voltaje , de modo que si se utiliza un aparato electro-magnético, la corriente resultante es atrasada con respecto al voltaje y, en consecuencia, origina un factor de potencia bajo.

. La mayor parte de los aparatos que constituyen la carga de un circuito de corriente alterna, especialmente en los establecimientos industriales, con excepción de las máquinas excitadas con corriente continua y de las lámparas incandescentes, causan un factor de potencia bajo.

Los aparatos más comunes y circuitos que causan un factor de potencia bajo, son los siguientes:

- 1) Motores de inducción.
- 2) Hornos eléctricos.
- 3) Soldadores Eléctricos de C.A.
- 4) Circuitos de transmisión.
- 5) Lámparas de descarga o de arco.

## 2.1.- MOTORES DE INDUCCION.

Los motores de inducción son generalmente la causa principal de los factores de potencia bajos. Primeramente, por ser numerosos en los establecimientos industria-

res, y segundo, por naturaleza propia (funcionan con un circuito magnético).

De aquí que, es conveniente dar una idea del principio de funcionamiento del motor y lo relativo a las características del factor de potencia.

El motor de inducción es simplemente un transformador eléctrico cuyo circuito magnético está separado, por medio de un entrehierro, en dos partes una móvil respecto a la otra. Una de ellas contiene el devanado primario, y la otra el devanado secundario. Cuando se suministra una corriente alterna al devanado primario, en el devanado secundario se induce una corriente de sentido opuesto, siempre que este devanado esté cerrado en cortocircuito o a través de una impedancia exterior. Juntamente, con la acción generadora que induce corrientes, se produce una acción motriz que obliga al elemento móvil a desplazarse en el sentido del campo inductor.

Si el motor de inducción se considera como un transformador, es posible representar sus características mediante los mismos circuitos equivalentes y diagramas vectoriales del transformador, con la salvedad de reemplazar la carga eléctrica (del secundario del transformador) por una carga mecánica.

En las figuras 6 y 7 se representan el circuito y diagrama vectorial (de una sola fase) equivalentes al motor de inducción.

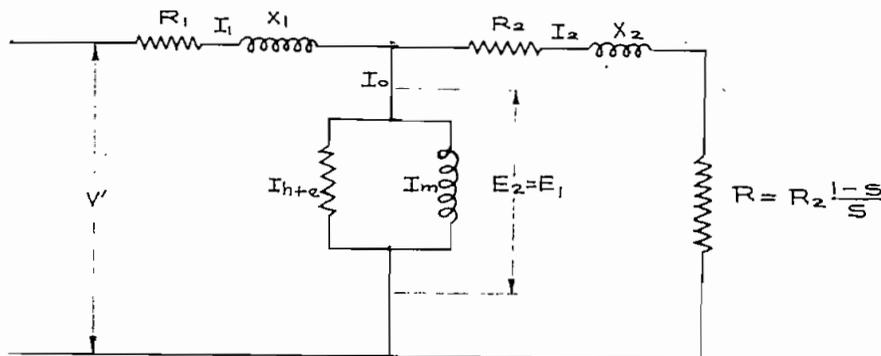


FIG. 6.- CIRCUITO EQUIVALENTE A UN MOTOR DE INDUCCION

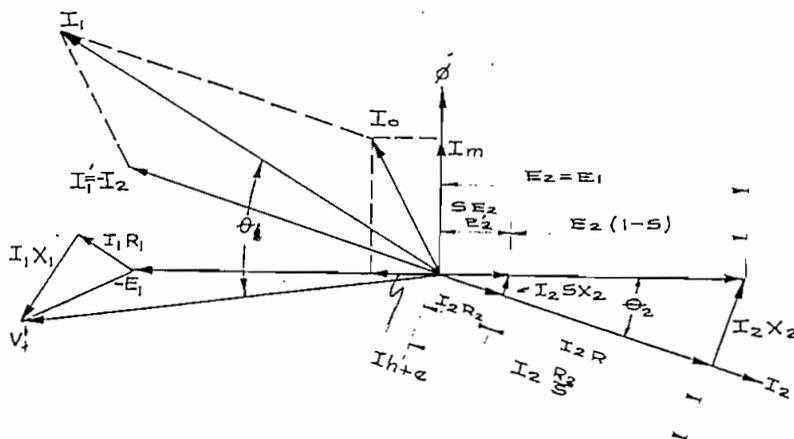


FIG. 7.- DIAGRAMA VECTORIAL EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION.

En dicho diagrama se indican las relaciones que existen entre las intensidades de corriente, tensiones, y flujo, en un motor de inducción cuyo primario absorve una corriente  $I_1$  atrasado un ángulo  $\theta_1$  con respecto a la tensión aplicada en sus terminales. Como vector de referencia se ha tomado el vector  $E_2$  que representa la f.e.m. inducida en el secundario.

Igual que en el transformador, las f.e.m. inducidas en el primario y secundario  $E_1$  y  $E_2$ , las genera el mismo flujo común  $\emptyset$  de manera que éstas serán iguales en magnitud y en fase. Es decir  $E_1 = E_2$ .

La corriente secundaria, representada por el vector  $I_2$ , en reposo, es igual a la f.e.m. inducida  $E_2$  dividida por la impedancia secundaria a la frecuencia de la línea, es decir

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{R_2 + jX_2} \quad (28)$$

siendo,  $R_2$  = resistencia efectiva del secundario.

$X_2$  = reactancia de dispersión del secundario a la frecuencia de la línea.

Cuando la velocidad del rotor aumenta, con un campo dado en el entrehierro, la f.e.m. inducida y la frecuencia secundaria disminuyen proporcionalmente al deslizamiento, de manera que la f.e.m. inducida en el secundario se convierte en  $sE_2$ , y la impedancia secundaria, en  $R_2 + jsX_2$ . En este caso, la corriente secundaria viene dada por

$$I_2 = \frac{sE_2}{R_2 + jsX_2} = \frac{\frac{E_2}{s}}{\frac{R_2}{s} + jX_2} \quad (29)$$

Siendo el deslizamiento  $s = \frac{N - N_2}{N} \quad (30)$

(2) Donde,  $N$  es la velocidad de sincronismo y  $N_2$ , la velocidad del rotor.

La f.e.m. realmente inducida en el secundario a la frecuencia de deslizamiento es  $E'_2 = sE_2$ , y es igual a la suma vectorial de las caídas de tensión en el secundario,  $I_2 R_2$  e  $I_2 sX_2$ ; mientras que la f.e.m. útil que corresponde a la velocidad real del rotor es igual a la di

ferencia entre  $E_2$  y  $E'_2$ , y está representada por  $E_2$   $(1 - s)$ . Esta tensión multiplicada por  $I_2$  y  $\cos \theta_2$ , da la potencia eléctrica útil del motor, que produce el par.

Para generar las f.e.m. inducidas  $E_1$  y  $E_2$ , es necesario un flujo magnético  $\phi$  que adelante  $90^\circ$  con respecto a ellas. Ahora, para producir este flujo es preciso una corriente magnetizante  $I_m$ , que junto con la componente,  $I_e + h$  (necesaria para suministrar las pérdidas en el hierro), debe restarse de la corriente primaria  $I'_1$ . A su vez, ésta es igual y opuesta a la corriente secundaria  $I_2$ .

El factor de potencia del motor es  $\cos \theta_1$ , siendo  $\theta_1$  el ángulo que forman el voltaje aplicado  $V'$  y la corriente primaria  $I_1$ .

El factor de potencia del motor de inducción es siempre atrasado y muy bajo para cargas pequeñas, pero aumenta con la carga alcanzando su valor máximo cuando ésta es muy próxima a la de régimen. Si la carga sigue aumentando sobre este valor, el factor de potencia se reduce. Una explicación aproximada de la forma como varía el factor de potencia puede obtenerse considerando el diagrama vectorial de la figura 8.

En vacío, el motor absorbe una corriente de excitación  $I_0$ , que está en retraso  $90^\circ$  aproximadamente con respecto al voltaje aplicado  $V'$ , y es principalmente una corriente de magnetización, aunque tiene una pequeña componente activa para alimentar las pérdidas en vacío. El factor de potencia en vacío es, por tanto,  $\cos \theta_0$  y éste toma valores reducidos (del 10 al 15%).

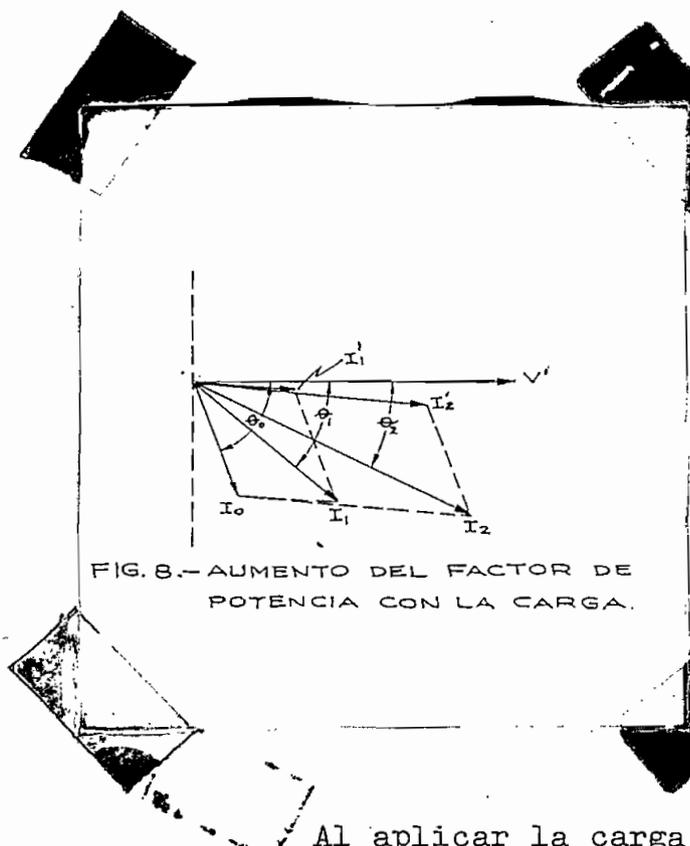


FIG. 8.-AUMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA CON LA CARGA.

Como la f.c.ém. del motor se mantiene aproximadamente constante en vacío y a plena carga (igual que en el transformador), el flujo permanecerá prácticamente constante, de manera que la corriente de magnetización varía ligeramente de vacío a plena carga.

Al aplicar la carga (par resistente) al motor, éste requiere una corriente  $I'_1$  casi en fase con el voltaje aplicado  $V'$ , pero ligeramente atrasado, para equilibrar la carga. Esta corriente, combinada con  $I_0$ , da la corriente total  $I_1$  para esta carga y el factor de potencia resultante es  $\cos \theta_1$ . Cuando aumenta la carga se requiere una corriente  $I'_2$ , que combinada con  $I_0$ , da la corriente total  $I_2$  y el factor de potencia resultante es  $\cos \theta_2$ .

Como puede observarse en el diagrama vectorial, al aumentar la carga en el motor disminuye el ángulo  $\theta$  y, por tanto, su coseno aumenta.

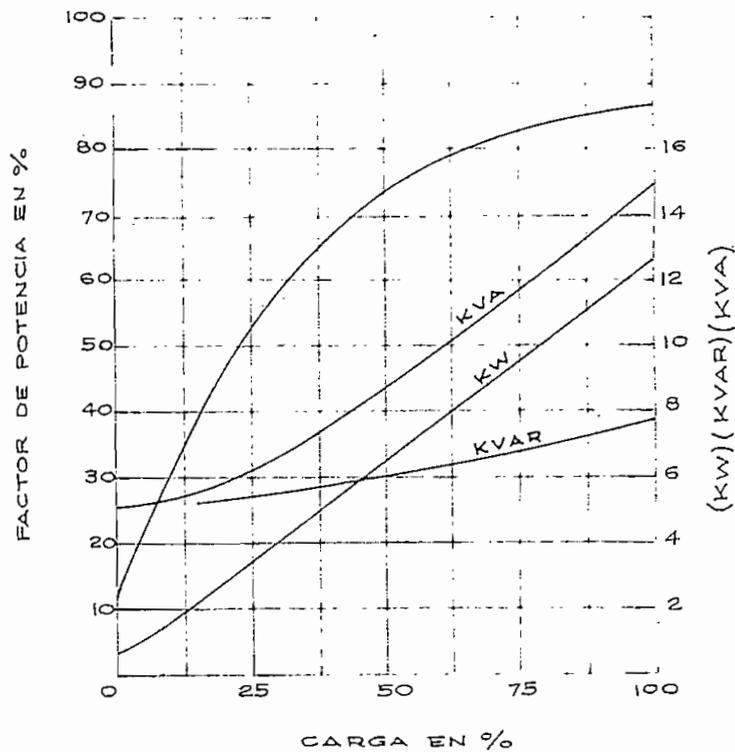


FIG. 9.- CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE INDUCCION TIPICO DE MEDIANA CAPACIDAD Y VELOCIDAD.

Las corrientes de carga consideradas,  $I'_1$  e  $I'_2$ , se retrasan cada vez más con respecto al voltaje  $V'$ , debido al aumento de la caída por reactancia en el estator y rotor. A su vez, este aumento de las caídas de tensión, debido al aumento de carga, tiende a reducir el factor de potencia, y cuando la carga sobrepasa un determinado valor, el factor de potencia comienza a disminuir. Una curva de la característica del factor de potencia de un motor de inducción se representa en la figura 9.

La altura y forma de una curva del factor de potencia depende de la capacidad, velocidad y tipo de

construcción del motor. Los motores de mayor capacidad tienen inherentemente un factor de potencia más elevado que los de menor capacidad. En general, los motores de alta velocidad tienen curvas del factor de potencia más altas y menos pronunciadas que las curvas de los motores de baja velocidad.

El factor de potencia de los motores de baja velocidad es inherentemente más bajo que el de los motores de alta velocidad de diseño similar, para la misma frecuencia y potencia. Esto se debe a que la corriente magnetizante del motor de baja velocidad es mucho mayor que la del motor de alta velocidad, ya que el primero tiene mayor número de polos, y como la potencia es la misma para los dos motores\*, por tanto, el factor de potencia del motor de inducción de baja velocidad será menor que el del motor de alta velocidad.

Los motores de inducción (a jaula de ardilla) son muy utilizados en la industria, en relación con otro tipo de motores eléctricos, por varias razones entre las cuales podemos citar:

- 1.- Constituyen las máquinas más simples en cuanto a su construcción se refiere.
- 2.- Por carecer de colector, lo que no ocurre con otro tipo de motores, su mantenimiento es mínimo.
- 3.- Como no tienen conmutadores y escobillas, suprimen todas las chispas y los riesgos de incendio se reducen. Aspecto de mucha importancia en cierta clase de industrias, como por ejemplo en la Textil.
- 4.- Tienen menos partes sometidas a desgaste.

Las desventajas más importantes que presentan estos motores, son:

- 1.- Al momento del arranque toman de la línea una corrien-

\* Las corrientes primarias serán iguales y,

te elevada que puede ser de cuatro a diez veces la corriente nominal, y

2.- El factor de potencia de la corriente de arranque es bajo.

Los motores de inducción constituyen una proporción tan grande de la potencia total de la mayoría de las plantas industriales, de manera que sus efectos sobre el factor de potencia de la planta, es de mayor importancia que el de cualquier otro equipo. De ahí que las cargas compuestas por motores de inducción merecen una atención especial.

De las precedentes características del motor, es evidente que el factor de potencia de una carga constituida por un motor de inducción depende considerablemente de las condiciones de utilización de los motores.

✓ Cuando la carga principal está formada por motores de inducción, el factor de potencia dependerá de lo siguiente:

- 1.- De la potencia en H.P., velocidad y tipo de construcción de los motores;
- 2.- Del factor de carga de cada motor (relación entre la carga real y la nominal).

El uso de motores de baja velocidad es un inconveniente en relación con el factor de potencia. Su utilización para acoplamiento directo a máquinas de reducida velocidad, evidentemente contribuye a disminuir el factor de potencia de la instalación.

En la práctica, la mayoría de las plantas industriales tienen motores de inducción que trabajan con cargas inferiores a las nominales, siendo ésta la causa principal del factor de potencia bajo. Esta disminución en la carga puede o no conocerse, o bien no se puede evitarla; sin

embargo siempre será una causa de factor de potencia bajo, porque todos los motores en marcha absorven corriente magnetizante ya sea con carga o sin ella.

Las condiciones de carga reducida se producen generalmente bajo uno de los tres casos:

- a) En los motores que funcionan en vacío parte del tiempo, y a plena carga durante intervalos de trabajo. Estos motores se utilizan por lo general para accionar máquinas individualmente.
- b) En los motores cuyo funcionamiento varía de plena carga a carga reducida. Esto se debe a que en ciertas máquinas, los ciclos de trabajo son tales, que los motores marchan a plena carga solamente una pequeña parte del tiempo que están en funcionamiento.
- c) En los motores que trabajan continuamente con cargas reducidas.

Este último caso sucede con frecuencia en numerosas utilidades, ya sea en máquinas individuales o bien en grupos de máquinas. Esto puede observarse en la industria Textil, donde varias máquinas son accionadas individualmente por pequeños motores de inducción que tienen un factor de potencia bajo, y a menudo estos motores marchan casi continuamente con cargas inferiores a la nominal.

Por otra parte, en la mayoría de los casos hay la tendencia de instalar motores con una capacidad de potencia mayor que la requerida, y es debido generalmente a una o más de las causas siguientes:

- a) Existe el deseo de trabajar a bajas temperaturas.
- b) Como previsión para cargas futuras o emergencias.
- c) Muchas veces no se conoce exactamente la potencia requerida.
- d) Debido a cambios en los procesos de fabricación, una

vez que se han efectuado las instalaciones.

Se ha puesto especial interés en el análisis del motor de inducción y las características del factor de potencia, porque en el presente estudio, que comprende la Corrección del Factor de Potencia de la Industria Textil "La Internacional S.A." (Fábrica "El Recreo"), necesariamente se va a encontrar que la carga principal de la instalación está formada por motores de inducción y, por consiguiente, éstos serán la causa primordial del factor de potencia bajo, de esta Industria.

## 2.2.- HORNOS ELÉCTRICOS.

En los hornos eléctricos de arco voltaico utilizados en la industria, el factor de potencia varía en un amplio margen al calentarse el horno, que puede ser entre 0,50 y 0,85 (atrasado)+, aunque después de haber trabajado un cierto tiempo (una media hora, por ejemplo) se aproxima a un valor constante.

El factor de potencia de estos aparatos frecuentemente es bajo, por dos razones: primero, el arco al comienzo del ciclo tiene menor conductibilidad, de manera que la intensidad de corriente está en retardo con respecto a la onda de voltaje, y segundo, cuando el arco está en corte, es necesario disponer de suficiente reactancia para limitar la intensidad de corriente a un valor fuera de peligro. Esta reactancia es por supuesto una causa del factor de potencia bajo.

Los hornos del tipo de inducción (de baja frecuencia) también llamados hornos de canales, funcionan con un núcleo de hierro cerrado, de manera que la canal de colada hace el papel de arrollamiento secundario en corto-

---

(+) Electric Machinery Mfg. Co. The Power Factor Book.  
1a. ed., pág. 31.

círculo de un transformador, cuyo arrollamiento primario se conecta a la red.

En la figura 10 se representa esquemáticamente uno de estos aparatos. En este caso, el devanado secundario es la carga contenida en el canal anular A, y se calienta mediante la corriente secundaria. La cantidad de energía suministrada al secundario puede variarse modificando el voltaje aplicado al primario.

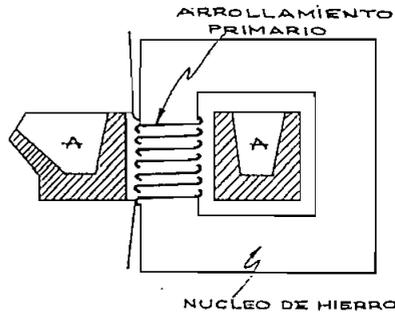


FIG. 10.-ESQUEMA DE UN HORNO DE INDUCCION.

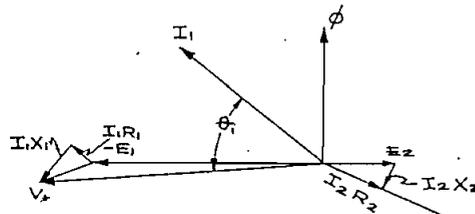


FIG. 11.-DIAGRAMA VECTORIAL  $I_2$  CORRESPONDIENTE A UN HORNO DE INDUCCION.

El diagrama vectorial correspondiente a un horno de este tipo se representa en la figura 11. Como el devanado secundario está corto-circuitado, puesto que se compone de un anillo de metal fundido, el voltaje real en los bornes será nulo y, entonces, la f.e.m. inducida en el secundario será igual a la suma vectorial de las caídas de tensión  $I_2R_2$  e  $I_2X_2$ , siendo  $R_2$  la resistencia del anillo del metal fundido y  $X_2$  su reactancia debido al flujo de dispersión. El resto del diagrama está determinado

igual que para un transformador, y el factor de potencia del horno es el coseno del ángulo que forman la corriente primaria  $I_1$  y el voltaje aplicado  $V$ , o sea  $\theta_1$ . En la práctica el factor de potencia de este tipo de aparatos rara vez excede del 70% (atrasado). 2/

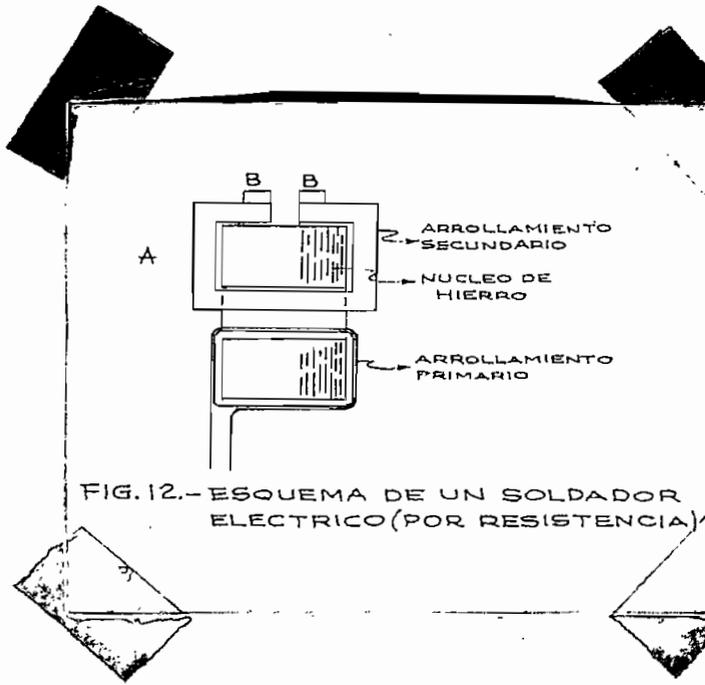
### 2.3.- SOLDADORES ELECTRICOS.

Todas las máquinas de soldar de corriente alterna, ya sea a punto o costura, o por arco eléctrico, se caracterizan por producir un factor de potencia bajo.

Las máquinas soldadoras por arco eléctrico del tipo de transformador, son construídas deliberadamente con una reactancia interna, con el objeto de limitar la intensidad de corriente cuando se produce un cortocircuito, como en el caso de los hornos de arco. Esta reactancia es, por consiguiente, la causa de un factor de potencia bajo.

Los soldadores eléctricos por resistencia están provistos de un transformador, y funcionan según el mismo principio que el horno de inducción.

En estos aparatos, la espira única que constituye el secundario se encuentra abierta, y se cierra mediante las dos piezas que han de soldarse. Estas piezas son obligadas a permanecer unidas, a presión, mientras la corriente circula por el contacto y calienta los extremos que se van a soldar.



Como la carga del secundario es de naturaleza resistiva (que es la resistencia del metal fundido), pudiera parecer que el factor de potencia del transformador fuera elevado; sin embargo, éste en la práctica rara vez excede del 70% (atrasado). Esto se debe a que las reactividades de dispersión son grandes, ya que la distancia entre los -

arrollamientos primario y secundario, no puede hacerse pequeña. Un esquema de este tipo de aparato se representa en la figura 12.

#### 2.4.- CIRCUITOS DE TRANSMISION.

Los circuitos de transmisión que transmiten la energía a los centros de consumo, en algunos casos, se encuentran con poca inductancia, por lo que se les puede considerar con factor de potencia cercano a la unidad. En otros casos, cuando son de gran longitud y están normalmente cargados, causan un factor de potencia bajo.

La inductancia en una línea es una propiedad que depende de la naturaleza, sección, espacio entre conductores y longitud de la línea. En las líneas de alta tensión y gran longitud, los conductores se encuentran muy separados, de manera que se origina una considerable inductancia. Esta, a su vez, aumenta el ángulo de atraso de la corriente con respecto a la tensión y, por consiguiente, contribuye a disminuir el factor de potencia.

Las líneas de alta tensión y gran longitud

tienen, además, una capacitancia que no puede despreciarse (debido a la capacidad electrostática entre conductores y entre conductores y tierra), de manera que la línea absorbe una corriente capacitiva de pérdidas que es independiente de la corriente de la línea y que está en adelanto 90° con respecto a la tensión. Si la línea está con poca carga, la corriente total puede tener un factor de potencia adelantado; pero, si está normalmente cargada, siendo la corriente de carga normalmente inductiva, la corriente resulta atrasada y, en consecuencia, causa un factor de potencia bajo. Esta es la condición predominante en las líneas de transmisión que se encuentran cargadas, como ocurre en la práctica.

El efecto de la corriente capacitiva absorbida por la línea cuando ésta opera casi en vacío es tal, que tiende a elevar la tensión en el punto de consumo; pero cuando se aplica la carga, la corriente de la línea normalmente\* tiene un efecto opuesto y predomina notablemente, excepto cuando la carga es muy pequeña. Estas consideraciones son válidas para líneas de transmisión de alta tensión y gran longitud.

En los circuitos comunes de los sistemas de distribución: alimentadores, subalimentadores y derivaciones, existe relativamente un pequeño campo magnético que enlaza a los conductores, ya que éstos no están muy separados, de manera que los circuitos tienen muy poca inductancia y, por tanto, no producen corrientes muy atrasadas.

En circuitos interiores comunes, como también en derivaciones y alimentadores instalados en conductos o aquellos que tienen distanciae corta, la inductancia es relativamente pequeña.

\* atrasada

## 2.5.- LAMPARAS DE DESCARGA O DE ARCO.

Las lámparas de descarga requieren para su funcionamiento de una inductancia o de un transformador, según el caso. Esta inductancia es indispensable para el encendido de la lámpara y además sirve para limitar la corriente en la descarga. El empleo de esta inductancia trae consigo un factor de potencia bajo.

En las lámparas que utilizan un transformador para su funcionamiento (lámparas fluorescentes de cátodo frío), el transformador es proyectado de manera que tenga suficiente reactancia de dispersión, para servir a la vez de transformador y como bobina de carga. Esta reactancia origina un factor de potencia bajo.

## 3.- EFFECTOS DEL FACTOR DE POTENCIA BAJO EN LA INDUSTRIA ELECTRICA.

Los efectos del factor de potencia bajo en la industria eléctrica pueden agruparse para su discusión bajo dos puntos generales: el físico y el económico.

### 3.1.- EFFECTOS FISICOS.

Desde el punto de vista general, cuando el factor de potencia de un circuito es bajo, se producen dos efectos importantes:

- 1) Aumenta la corriente requerida para suministrar la potencia necesaria, y
- 2) Se incrementan considerablemente la regulación del voltaje y las pérdidas en las líneas.

El aumento de corriente, en sí, produce dos efectos generales: primero, un aumento en la pérdida de potencia ( $I^2R$ ) de todos los elementos por donde circula la corriente, y segundo, un aumento en la caída de tensión ( $IZ$ ) en todos estos elementos.

### 3.1.1.- EFECTO EN LA PERDIDA DE POTENCIA ( $I^2R$ ).

El factor de potencia es la relación de la potencia activa o efectiva a la potencia aparente del circuito. Si la potencia efectiva suministrada se mantiene constante, es evidente, de esta definición, que cualquier disminución del factor de potencia implica un aumento de corriente. Es decir que la corriente requerida para suministrar una potencia efectiva dada varía en razón inversa con el factor de potencia.

La pérdida de potencia en un circuito eléctrico varía con el cuadrado de la intensidad de corriente, y comúnmente se expresa en términos matemáticos como  $I^2R$ . Si el factor de potencia del circuito es, por ejemplo, 0,50 (que requiere una corriente dos veces mayor para transmitir una potencia dada) la pérdida de potencia será cuatro veces mayor que en el caso de un factor de potencia igual a la unidad.

De acuerdo con esto, se tiene que la pérdida de potencia está en razón inversa con el cuadrado del factor de potencia. Por consiguiente un factor de potencia bajo produce mayores pérdidas de potencia en los elementos del circuito por donde circula la corriente.

Las mayores pérdidas de potencia que son disipadas en forma de calor se producen generalmente en los circuitos de transmisión y distribución.

Como el factor de potencia es un factor que interviene en las máquinas y circuitos de corriente alterna, la capacidad asignada a las máquinas no sólo depende de la potencia efectiva, si no también de la potencia aparente y factor de potencia.

✓ Cuando el factor de potencia es bajo se pro-

001506

duce mayor pérdida de potencia debido al exceso de corriente, que, a su vez aumenta la temperatura en los circuitos y máquinas. Lo que limita la temperatura de una máquina es la clase de aislamiento. Si la corriente excede de un cierto valor, con el cual se alcanza la temperatura considerada como límite para el material aislante (con lo cual se asegura una duración - aceptable), esta temperatura es excedida, y la vida útil del aislamiento se reduce.

En consecuencia, la capacidad de potencia suministrada por las máquinas y circuitos es reducida (debido al factor de potencia bajo), ya que su capacidad está limitada por la temperatura permitida.

En general, si la capacidad de una máquina o circuito se reduce debido a una disminución del factor de potencia, se tiene una reducción en el rendimiento de la máquina o circuito.

### 3.1.2.- EFECTO SOBRE LA REGULACION DE TENSION.

El desplazamiento de fase (en atraso) de la corriente con relación a la tensión produce, independientemente de la intensidad de corriente, un aumento en la diferencia de tensión entre la f.e.m. inducida y la tensión en terminales (tensión útil o suministrada). En otras palabras, la reducción del factor de potencia afecta considerablemente a la regulación de tensión.

La regulación de un generador o transformador puede definirse como el aumento de tensión en porcentaje al reducirse la carga de su valor normal a cero. Esta definición puede aplicarse a los circuitos de transmisión, refiriendo la variación de tensión al punto de recepción, cuando la tensión de generación se mantiene constante.

Naturalmente, es muy importante mantener es-

ta variación de tensión en el valor más pequeño posible, de manera que pueda evitarse sus efectos adversos muy conocidos.

A continuación analizaremos brevemente los efectos de una reducción del factor de potencia en la regulación de tensión de los generadores, transformadores y circuitos de transmisión.

#### 1) REGULACION DEL GENERADOR.

Para el caso de un generador de corriente alterna, cuando se reduce el factor de potencia de la carga, la regulación de tensión del generador se encuentra afectada de tres maneras:

a) Como la reacción del inducido depende de la relación de fase entre la corriente y la tensión, una corriente --atrasada en el inducido tiende a desmagnetizar el campo del generador, y cuanto mayor es este atraso, tanto mayor será el debilitamiento del campo. Esto reduce el flujo del campo (que es cortado por las bobinas del inducido), obteniéndose de esta manera una disminución en la f.e.m. inducida en el generador.

b) Para determinado valor de la f.e.m. inducida, la tensión en terminales disminuye al aumentar el retraso de fase de la corriente, aunque no varíe el valor de ésta, lo cual se debe al ángulo para el cual se ha de restar la caída por impedancia de la f.e.m. inducida.

Esto se puede explicar mejor, si consideramos los diagramas vectoriales de las figuras 13 y 14 correspondientes a un generador con un alto y reducido valor de factor de potencia, respectivamente.

Refiriéndonos a dichas figuras, tenemos:

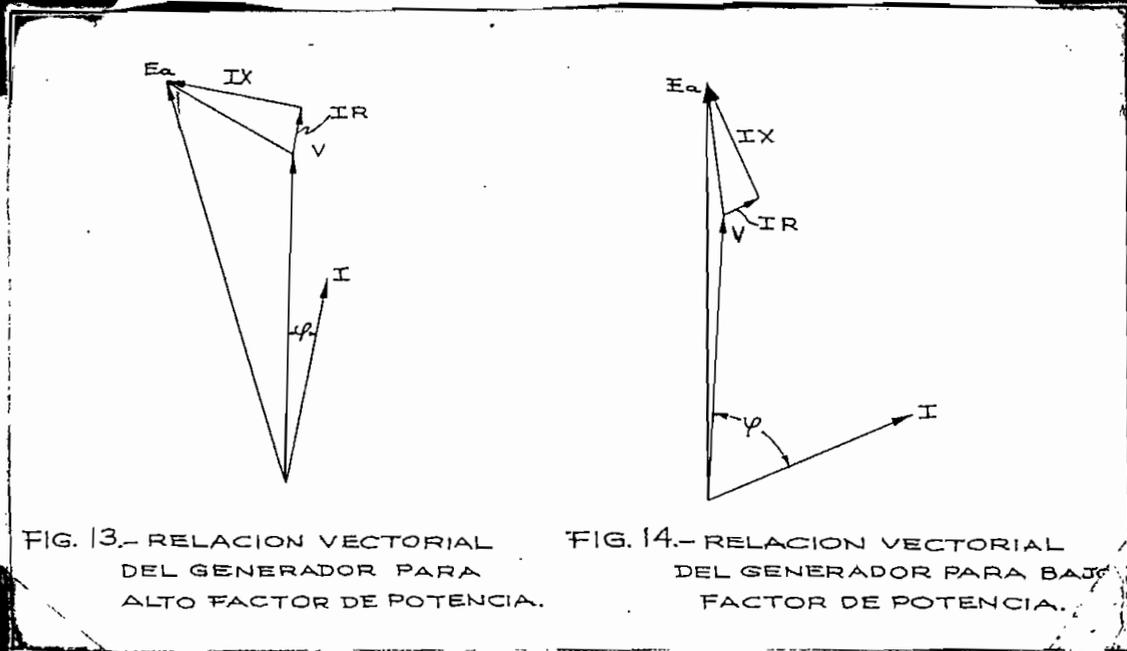
$V$  = tensión en los terminales del generador.

$E_a$  = f.e.m. inducida o generada.

$I$  = Intensidad de corriente retrasada un ángulo  $\varphi$  con respecto a la tensión  $V$  en terminales.

$IR$  = Caída de tensión por resistencia en el inducido.

$IX$  = Caída de tensión por reactancia de dispersión en el inducido.



En los dos casos (suponiendo una excitación constante), para un determinado valor de la f.e.m. inducida (igual en ambos), la tensión  $V$  en terminales se encuentra restando vectorialmente las caídas de tensión en el inducido,  $IR$  e  $IX$ , de la f.e.m. inducida  $E_a$ . Como puede observarse en los diagramas indicados, cuando el factor de potencia de la carga es bajo, la tensión  $V$  en terminales es mucho menor que para el caso de factor de potencia alto.

Por consiguiente, el efecto de una corriente atrasada sobre la regulación del generador es mucho más pronunciado.

c) Como la caída de tensión en el inducido depende de la intensidad de corriente, debido a una reducción del factor de potencia, la misma carga absorbe mayor intensidad de corriente, y ésta, a su vez, produce una mayor caída de tensión a través de la impedancia del inducido. En consecuencia, se produce una nueva reducción de la tensión en terminales.

Es decir que, la regulación de un generador no sólo depende de la intensidad de corriente si no también del factor de potencia. Un generador puede regularse bien cuando el factor de potencia es la unidad, mientras que para bajos valores de este factor, la regulación puede ser muy deficiente, aunque la intensidad de corriente sea la misma en los dos casos.

## 2) REGULACION DEL TRANSFORMADOR.

En relación con la regulación de tensión de los transformadores, se tiene que cualquier desplazamiento de la corriente en atraso con respecto a la tensión en los terminales del secundario, produce un aumento en la caída de tensión  $y$ , en consecuencia, la regulación del transformador es incrementada. Las razones son las mismas que se han indicado para el caso de los generadores, según figuras 13 y 14.

Por otra parte, el aumento de corriente para una carga dada (con factor de potencia reducido) aumenta la magnitud de las caídas IR e IX en el devanado, y esto trae consigo una nueva reducción en la tensión terminal.

## 3) REGULACION DEL CIRCUITO DE TRANSMISION.

En relación con los circuitos de transmisión, se puede decir que, en general, la disminución del factor de potencia produce una caída de tensión en el punto de

recepción.

Si en los diagramas vectoriales de las figuras 13 y 14, hacemos:

$E_a$  = Tensión en el punto de generación,

$V$  = Tensión en el punto de consumo,

$I_Z$  = Caída de impedancia de la línea.

podemos utilizar los mismos diagramas del generador para analizar el efecto de la reducción del factor de potencia sobre la regulación de tensión en la línea.

De esta manera, se puede demostrar fácilmente que el efecto de la corriente atrasada sobre la regulación de la línea, es mucho más pronunciado que en el caso de un factor de potencia elevado.

Las líneas de alta tensión y gran longitud tienen suficiente inductancia como para tener una influencia importante sobre la regulación de tensión de la línea, de manera que la regulación es sensible a las modificaciones del factor de potencia de la carga.

En general, la regulación de tensión tiene una influencia muy importante en el funcionamiento del conjunto del sistema, por lo cual es esencial tener una buena regulación.

Una regulación deficiente afecta las características de funcionamiento de los aparatos de utilización en la siguiente forma:

- a) Una disminución de tensión en los consumidores requiere un aumento de la intensidad de corriente para suministrar la potencia exigida por la carga.
- b) Produce una disminución en la intensidad luminosa de las lámparas incandescentes y fluorescentes.
- c) En los motores de inducción reduce su rendimiento y

velocidad, produce sobrecalentamientos y limita la potencia de salida, y finalmente reduce la cupla de arranque, como puede observarse en la figura 15.

- d) En los calentadores (tipo resistencia) produce una reducción del calor normal y velocidad de calentamiento.

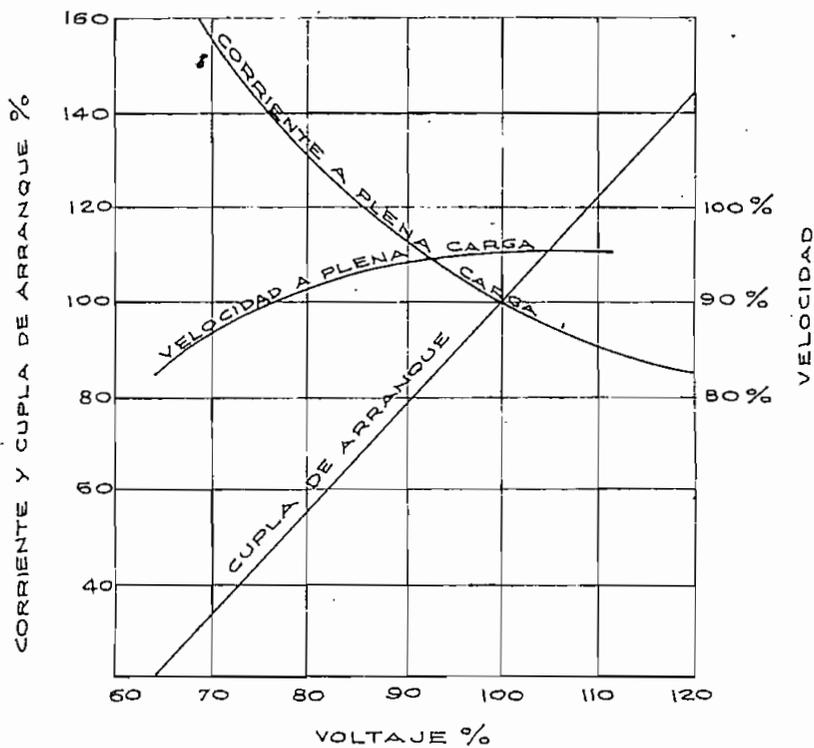


FIG. 15.- EFECTO DEL VOLTAJE EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.

Resumiendo: Los efectos físicos debidos a un factor de potencia bajo exigen, por tanto, mayor capacidad en los generadores, transformadores, circuitos de transmisión y distribución, etc., y en general todos estos elementos operan con un rendimiento reducido y una regulación de tensión deficiente.

capital en todo el sistema (generadores, transformadores, líneas, etc.) que para el caso de un factor de potencia elevado o cercano a la unidad.

### 3.2.3.- SOBRE EL SISTEMA GENERAL.

Con respecto al sistema que genera y distribuye la energía, el factor de potencia bajo tiene un efecto muy importante en el rendimiento y regulación de tensión en todo el sistema, que comprende: generación,

transformación, transmisión y distribución.

Las pérdidas de potencia  $I^2R$  debido al exceso inútil de corriente en todo el sistema, produce un aumento en los gastos de explotación y consumo de combustible (centrales térmicas).

A esta desventaja se añade la deficiente regulación de tensión que no es bien vista por los consumidores, y que muchas veces no se puede vencer enteramente, aún cuando se aumente una suma adicional en equipo de regulación.

En general, los efectos del factor de potencia bajo sobre el conjunto del sistema, pueden resumirse bajo tres puntos:

- a) Existe mayor inversión en el sistema.
- b) La regulación de tensión es deficiente.
- c) Aumenta los gastos de explotación.

#### 3.2.4.- SOBRE LOS CONSUMIDORES DE ENERGIA.

Todos los efectos del factor de potencia bajo sobre el sistema general resumidos anteriormente se reflejan sobre cada uno de los consumidores del sistema.

Una deficiente regulación de tensión en el sistema significa una regulación deficiente a la entrada de la planta de un consumidor, aún cuando el equipo de este consumidor no contribuya a la producción de la corriente devatiada. Bajo esta circunstancia, el consumidor está afectado por las condiciones que provienen de otros consumidores.

Es decir que el consumidor no sólo está afectado por el factor de potencia de su propia planta si no también por el de los otros consumidores.

Cuando el factor de potencia de su establecimiento es muy bajo, se producirán pérdidas de potencia - excesivas en todo el establecimiento, las cuales exigirán una mayor inversión para reducir las, y si ésta se realiza, incluirá un aumento en la capacidad de transformadores, barras colectoras, tableros, y circuitos de distribución.

A esta desventaja se añade una regulación de tensión definiente en el sistema, que puede dar lugar a la obtención de productos defectuosos y de inferior calidad.

El efecto más directo del factor de potencia bajo sobre el consumidor, es el aumento del costo de la energía, cuando la compañía establece penalidades en el factor de potencia.

En el caso de que un consumidor disponga de su propia planta de energía, éste sufrirá los efectos combinados del productor de energía y del consumidor de la misma, excepto la cuestión de tarifas. En relación con este caso, es común encontrar plantas que operan con dos máquinas en vez de una sola, debido a los efectos del factor de potencia bajo.

Los efectos del factor de potencia bajo de los consumidores de una central, contribuyen en gran parte a perjudicar el sistema de la central o productora de energía, los cuales se traducen principalmente en un aumento de inversiones, gastos de operación y mantenimiento. Sin embargo, los consumidores tienen poco o casi ningún interés en evitar estos efectos, mediante la corrección del factor de potencia, por lo cual deben ser obligados a través de las tarifas.

Por esta razón algunas compañías han estable-

cido en sus planillas de energía, cláusulas que toman en consideración el factor de potencia bajo, las cuales tienden de manera general a penalizar el consumo de energía reactiva por parte de los consumidores.

Existe una gran variedad de cláusulas de factor de potencia, pero todas tienen el mismo propósito, ya sea penalizar o bonificar según que el factor de potencia sea bajo o elevado.

A continuación indicaremos algunas de estas cláusulas adoptadas por la mayoría de las compañías eléctricas:

1) Muchas compañías establecen un factor que multiplicado por la demanda fijada (en KW) determina la demanda facturable. Este factor es la relación entre el factor de potencia básico (adoptado arbitrariamente) y el factor de potencia real o existente. Es decir:

$$D = A \frac{B}{R} \quad (3)$$

Siendo, D = demanda facturable en Kw.

A = demanda medida en Kw

B = factor de potencia básico.

R = factor de potencia real o existente (medido).

El factor de potencia básico es aceptado arbitrariamente y varía generalmente de 0,80 a 0,85.

La determinación del factor de potencia real se realiza generalmente por medio de instrumentos indicadores, cuando la demanda es máxima o durante los períodos de carga normal. En otros casos, se determina de la relación entre la energía activa y reactiva medidas por instrumentos instalados permanentemente.

Esta cláusula es la más utilizada en la ac-

tualidad.

2) Algunas compañías establecen el mismo factor del caso anterior (B/R) con una carga de demanda (Kw) más una carga de energía dependiente de la demanda facturable.

Con este tipo de cláusula, la corrección del factor de potencia resulta bastante favorable, porque se reducen tanto las cargas de demanda como las de energía.

3) Otras empresas utilizan porcentajes que reducen o aumentan la factura total, según que el término medio del factor de potencia existente sea mayor o menor que el factor de potencia establecido en el contrato. Estos porcentajes son generalmente del 0,5 al 1% por cada 0,5 a 1% de diferencia.

4) En muchas partes se utiliza la demanda facturable en base a los KVA, con cargas de energía (KWH) dependientes o independientes de la demanda facturable.

5) También, otras compañías establecen una tarifa con cargas independientes para las demandas de Kilovatio y Kilovars. Una modificación de esta cláusula es la tarifa binomia con cargas independientes para KWH y KVAR.

En relación con este aspecto conviene comentar que en nuestro País hasta hace poco, ninguna compañía ha incluido en sus tarifas alguna cláusula que tome en consideración el factor de potencia bajo, debido a la ausencia de los consumidores industriales de gran capacidad, que son los que en la mayoría de los casos tienen una carga con bajo factor de potencia.

Sin embargo, como el número de estos consumidores actualmente ha adquirido mayor importancia, las empresas se han visto obligadas a tomar en consideración el bajo factor de potencia en sus pliegos tarifarios.

Así por ejemplo, la Empresa Eléctrica Quito S.A. ha establecido una cláusula que dice lo siguiente:

"Recargo por bajo factor de potencia: Cuando el factor de potencia de la instalación sea menor que el 85%, su planilla se recargará con el porcentaje determinado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de recargo} = \frac{100(\text{seno del ángulo del factor de potencia} - 0,6)}{3 \text{ factor de potencia en forma decimal}}$$

"Para la medición del factor de potencia la Empresa podrá instalar los medidores respectivos".

El factor de potencia en este caso, será determinado por su valor promedio mensual.

Una vez que se han analizado los efectos perjudiciales del bajo factor de potencia en la Industria, es evidente que se debe evitarlos de alguna manera, y esto se consigue lógicamente mejorando el factor de potencia de la carga.

En general, la corrección del factor de potencia mediante la aplicación de equipos adecuados trae consigo algunas ventajas, tanto a los consumidores como también a las compañías suministradoras de energía. Todos los beneficios que se obtienen se derivan de la reducción de corriente reactiva en los sistemas de distribución, Tales ventajas son las siguientes:

1. Facilita el suministro de la tensión nominal a los motores, lámparas y otros equipos de utilización.
2. Mejora la regulación de tensión en el sistema.
3. Disminuye las pérdidas en los circuitos, cables y alimentadores.
4. Disminuye las pérdidas en los transformadores.
5. Permite la obtención de la potencia nominal en KW de los generadores y transformadores.
6. Libera potencia de los generadores y transformadores, y

les permite soportar cargas adicionales, si el sistema no está sobrecargado.

7. Evita la pérdida de capacidad de carga en los circuitos.
8. Disminuye la facturación de energía si existe una penalidad por bajo factor de potencia.

De lo anterior se deduce que la corrección del factor de potencia de un sistema es muy favorable por todos los beneficios que se obtienen.

## MEDIOS DISPONIBLES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

Los medios disponibles para corregir el factor de potencia de un sistema eléctrico pueden resumirse en dos grupos:

1. Medidas preventivas, y
2. Medidas compensativas.

Las primeras consisten en seleccionar y utilizar aparatos que no producen factor de potencia bajo. En la práctica mientras se utilice corriente alterna, no se puede conseguir una prevención completa, sin embargo estas medidas de mejoramiento son bastante efectivas.

Las medidas compensativas consisten en añadir al sistema aparatos auxiliares que neutralicen la componente devatiada de la corriente, producida por las máquinas inductivas conectadas en el sistema. Estas medidas requieren de gastos adicionales en equipos de corrección, y se resuelven generalmente determinando la fuente de magnetización más económica de los aparatos inductivos que se encuentran conectados a los circuitos.

### 1. MEDIDAS PREVENTIVAS.

Los aparatos que producen corrientes atrasadas constituyen la base primordial de estudio, cuando se trata de corregir el factor de potencia. Si no se puede mejorar el accionar de tales aparatos, debería estudiarse la posibilidad de reemplazarlos por otros que hagan el mismo trabajo, pero con un factor de potencia mejor.

A continuación consideraremos algunos de estos aparatos, anotando brevemente las probabilidades de mejorar su factor de potencia:

- a) Motor de inducción a jaula de ardilla,
- b) Selección de la velocidad,
- c) Utilización de motores de mayor capacidad,

- d) Motor de inducción de anillos rozantes, y
- e) Hornos de arco.
- a) MOTOR DE INDUCCION A JAULA DE ARDILLA.

Puesto que el factor de potencia de un motor de inducción depende principalmente de la potencia, velocidad y tipo de construcción del motor, se puede mejorar ligeramente el factor de potencia alternando la construcción del mismo. Sin embargo, la inversión adicional que debe efectuarse para este objeto no guarda relación con la mejora obtenida.

En general, se puede mejorar el factor de potencia de un motor de inducción reduciendo su cupla de arranque; pero, esto en cambio, puede exigir un motor de mayor capacidad para una determinada máquina.

- b) SELECCION DE LA VELOCIDAD.

Otro de los medios disponibles para mejorar el factor de potencia de una instalación, se puede obtener reemplazando los motores de baja velocidad por otros de mayor velocidad. Por supuesto, esto está supeditado a las características de accionamiento de las máquinas, y a la aplicación de poleas y engranajes que permitan el uso de tales motores con rendimientos aceptables.

- c) UTILIZACION DE MOTORES DE MAYOR CAPACIDAD.

Se puede mejorar el factor de potencia de las plantas industriales, si se presta especial cuidado en determinar la potencia requerida por las máquinas y en seleccionar el tamaño adecuado de los motores (o en general cuando se reemplazan los motores con otros de menor potencia).

Cuando se requieren cuplas de arranque elevadas es más conveniente utilizar motores de inducción de anillos rozantes, en vez de recurrir a motores de ma-

yor capacidad.

Por otra parte, el accionamiento de las máquinas por un motor o grupo de motores, puede tener una influencia importante en el factor de potencia total de la planta. Se puede considerar que los motores de inducción individuales funcionan con mejor rendimiento y factor de potencia, debido a que son seleccionados para una carga determinada. Esto es cierto, cuando los motores trabajan con una carga aproximadamente constante, lo cual no ocurre en la práctica ya que muchos motores accionan máquinas que están sujetas a diferentes fluctuaciones de carga durante su funcionamiento.

En tales casos, tomando en consideración el factor de potencia, es preferible la utilización de un solo motor para accionar a un grupo de máquinas, ya que los picos de las diversas fluctuaciones de carga en el grupo no se presentarán simultáneamente y, en consecuencia, no es necesario disponer de gran margen de capacidad en el motor que acciona al grupo.

Si el grupo se encuentra bien dispuesto, su carga total puede tener un factor de potencia mejor con respecto al obtenido con accionamientos individuales.

Muchas veces no se puede evitar el uso de motores de mayor capacidad en las plantas industriales, porque el cambio de condiciones de producción hace difícil planear una instalación que reúna exactamente las exigencias requeridas. Sin embargo, después de un período de funcionamiento y de realizar suficientes ensayos y registros (que requieren tiempo y dinero), las condiciones de trabajo de las máquinas se conocen con mayor precisión, y con ello se puede efectuar una mejor distribución de los motores.

No obstante, a pesar del cuidado que se pue-

dé poner en la selección y aplicación de los motores, resulta imposible mantenerlos trabajando con su carga nominal ya que muchos de ellos funcionan parte de su tiempo con cargas parciales.

d) MOTOR DE INDUCCION DE ANILLOS ROZANTES.

Una de las principales características de este motor, como es su elevada cumpla de arranque, permite su utilización en vez de un motor de mayor capacidad, y de esta manera se mejora el factor de potencia de la instalación.

Además, los motores de inducción de anillos rozantes pueden compensar su factor de potencia por medio de un aparato auxiliar conocido con el nombre de adelantador de fase, o por algún medio externo.

e) HORNOS DE ARCO.

Para solucionar el problema del factor de potencia bajo en los hornos a arco, se puede utilizar un grupo motor-generador sincrónico que tome su potencia de la red con un factor de potencia igual a la unidad y la entregue a los hornos con el factor de potencia que se desee.

A pesar de lo que pueda lograrse con estas medidas, en la mayoría de los casos, las plantas industriales tienen un factor de potencia bajo. Este problema se puede solucionar solamente con la instalación de equipos de compensación.

2. MEDIDAS COMPENSATIVAS.

Estas medidas implican la utilización de máquinas eléctricas, que tienen la propiedad de suministrar al sistema al que se hallan conectados, una corriente capacitiva o en adelante que neutraliza el efecto de las corrientes atrasadas originadas por las cargas inductivas, y

de esta manera mejoran el factor de potencia del sistema.

Existen dos grupos básicos que pueden utilizarse con este fin:

- 1) Máquinas sincrónicas en general, y
- 2) Condensadores estáticos.

Las máquinas sincrónicas tienen la propiedad de suministrar una corriente en adelante bajo ciertas condiciones de funcionamiento, de tal forma que se comportan como generadores de potencia reactiva.

Los condensadores estáticos son aparatos eléctricos que tienen la propiedad de absorber del circuito donde están conectados, una corriente adelantada prácticamente a 90° respecto a la tensión aplicada, conforme se demostró al iniciar este estudio.

## 2.1. MAQUINAS SINCRONICAS.

La máquina sincrónica es el aparato básico para convertir energía mecánica de rotación en energía eléctrica y viceversa. Esencialmente consiste en dos elementos: un devanado o inducido de corriente alterna y un inductor o campo de corriente continua.

El principio de construcción y funcionamiento de las máquinas sincrónicas ya sea como generador o motor es el mismo.

Tanto el inducido como el campo pueden ser el elemento rotativo, siendo este último el más común. La estructura del campo rotativo o rotor puede ser de polos salientes o de polos lisos (rotor cilíndrico). Las dos formas de rotor se adoptan de acuerdo con la velocidad de la máquina, la primera para las máquinas lentas y la segunda para las rápidas.

Cuando una máquina sincrónica recibe energía

mecánica de un motor primario, y a su vez entrega potencia eléctrica, la máquina toma el nombre de generador sincrónico.

Si la máquina utiliza energía eléctrica de la línea para convertirla en energía mecánica, entonces recibe el nombre de motor sincrónico.

Cuando está conectada a un sistema y opera en vacío con su campo de corriente continua sobrecargado, solamente con el fin de absorber una corriente adelantada, se le denomina condensador sincrónico, ya que su efecto sobre el sistema es idéntico al de un condensador estático.

Todas estas máquinas funcionan a velocidad constante y son excitadas con corriente continua. La relación entre la velocidad, la frecuencia y el número de polos de la máquina sincrónica es la misma que para el campo giratorio de un motor de inducción, o sea:

$$N = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{R.P.M.} \quad (32)$$

siendo,  $f$  la frecuencia y  $p$  el número de pares de polos de la máquina.

La máquina sincrónica operando como generador produce un voltaje alterno con una frecuencia que depende de la velocidad del motor primario; en tanto que la velocidad del motor sincrónico está fijada por la frecuencia del sistema.

El principio en que se basa el funcionamiento de los motores sincrónicos es el siguiente. Cuando se excita el devanado de un motor sincrónico conectándole a una línea de corriente alterna, se establece inmediatamente un campo magnético rotativo. El flujo rotativo del campo corta al devanado amortiguador del rotor, o miembro rotativo, e induce corrientes secundarias en las barras de

este devanado.

La reacción entre el flujo de esas corrientes secundarias y del campo magnético rotativo produce el par necesario para poner en movimiento el rotor y acelerarle hasta que alcance su velocidad nominal.

Como en el presente estudio interesa conocer bajo qué condiciones de funcionamiento, las máquinas sincrónicas pueden producir una corriente adelantada para corregir el factor de potencia, se analizarán únicamente las características que presentan estas máquinas en relación al factor de potencia.

Existen tres características que tienen relación con el factor de potencia:

- 1) Efectos de la variación de la excitación.
- 2) Efectos de la variación de la carga.
- 3) Efecto de la tensión.

A continuación analizaremos brevemente estos efectos.

#### 2.1.1.- EFECTOS DE LA VARIACION DE LA EXCITACION.

El factor de potencia de una máquina sincrónica operando a tensión constante es determinada por la excitación del campo y por la carga. Para una carga dada, el factor de potencia de la máquina puede regularse dentro de un amplio margen variando su excitación.

Para estudiar los efectos de la variación de la excitación, de las máquinas sincrónicas, se puede referir a los diagramas vectoriales de la figura 16, correspondientes a un motor sincrónico. En dichos diagramas:

- $V$  = tensión en terminales.
- $-E_a$  = f.c.e.m. inducida en el motor.
- $E_o$  = tensión resultante (suma vectorial de  $-E_a$  y  $V$ )
- $I$  = corriente en el inducido producida por el voltaje resultante  $E_o$ . (El retardo de fase  $\beta$  de  $I$  con res-

pecto a  $E_0$  es cerca de  $90^\circ$ , debido a que la reactancia del inducido de las máquinas sincrónicas es elevada en comparación con su resistencia).

$I'$  = componente de la corriente  $I$  en fase con  $V$ .  
 $\theta$  = ángulo de desplazamiento de  $I$  con respecto a  $V$  ( $\cos \theta$  es el factor de potencia de la máquina).  
 $\alpha$  = ángulo de potencia de la máquina.

Cuando el motor está accionando una carga constante, una variación en la corriente de excitación producirá una alteración del valor de la f.c.e.m.  $-E_a$  que tiende a variar la magnitud y relación de fase del voltaje resultante  $E_0$ . Esto, a su vez, alterará la magnitud y relación de fase de la corriente  $I$ ; pero como se supone una carga constante, el valor de la componente de  $I$  en fase con  $V$ ,  $I'$ , deberá permanecer constante para desarrollar la misma potencia mecánica. De esta manera, las relaciones de fase internas de la máquina deben desplazarse automáticamente a través de una variación del ángulo  $\alpha$ .

El diagrama vectorial para un motor operando con un factor de potencia igual a la unidad se representa en la figura 16a. La corriente de excitación necesaria para producir esta condición, se le denomina excitación normal.

Si la corriente de excitación disminuye de este valor (de excitación normal), se reduce el valor de la f.c.e.m.  $-E_a$  y con ello se desplaza la relación de fase del voltaje resultante  $E_0$  en el sentido de giro de las agujas de un reloj, produciendo una corriente atrasada en el inducido. Al mismo tiempo,  $\alpha$  se alterará lo suficiente para dar el valor de  $E_0$  que sea necesario para producir el mismo valor de  $I'$  de las condiciones iniciales. De esta manera, con una subexcitación el motor opera con un factor de potencia atrasado y requiere de un valor de co-

corriente mayor para accionar la misma carga. Las condiciones que ocurren en este caso se representan en la figura 16 b.

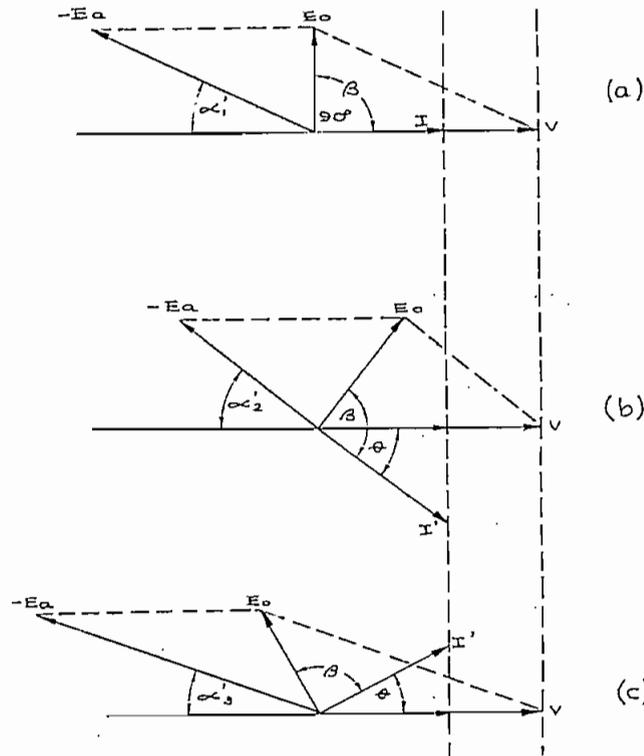


FIG. 16.- EFECTOS DE LA VARIACION DE LA EXCITACION EN LAS MAQUINAS SINCRONICAS.

Cuando se aumenta la corriente de excitación sobre la normal, ocurren las condiciones indicadas en la figura 16 c. Es decir, aumentará el valor del vector  $-E_a$  dando lugar al desplazamiento de fase del vector  $E_o$  en sentido contrario a las agujas de un reloj, de manera que la corriente  $I$  resulta avanzada con respecto a la tensión en terminales  $V$ . El valor de  $\phi$  también se alterará lo suficiente para guardar  $I'$  constante. De esta manera, con una

sobreexcitación el motor opera con un factor de potencia adelantado. 3/

Por consiguiente, el factor de potencia de un motor sincrónico puede ser controlado a través de la regulación de la corriente de excitación, y de este modo se puede corregir el factor de potencia del sistema al que se encuentre conectado, haciendo funcionar el motor sobreexcitado.

Este método de corrección del factor de potencia presenta algunas ventajas, entre las cuales se pueden citar:

- a) Es un método de compensación muy simple.
- b) El ajuste de la excitación puede realizarse con un simple reóstato.
- c) Tiene un margen de variación muy amplio.
- d) Puesto que la potencia absorbida por el campo de corriente continua, es pequeña (igual a  $I^2R$ ), su ajuste puede efectuarse con medios automáticos bastante económicos.
- e) Es fácil controlar la magnitud de la tensión de excitación.

#### 2.1.2.- EFECTOS DE LA VARIACION DE LA CARGA.

En las máquinas sincrónicas, una variación de la carga produce una variación del ángulo  $\alpha$ , del valor de la corriente en el inducido y del factor de potencia de la máquina.

Para analizar los efectos generales que produce un aumento de carga en las máquinas sincrónicas se puede referir a los diagramas vectoriales de la figura 16. Cuando la carga de un motor sincrónico aumenta, el motor tiende instantáneamente a detenerse, puesto que la intensidad de corriente en el inducido no es la suficiente para producir la cupla requerida para la nueva condición. Esto

hace que los conductores del inducido se atrasen en relación con el eje del campo y, por consiguiente, desplazan al vector  $-E_a$  hacia una posición más atrasada, de manera que se produce un aumento del valor del ángulo  $\alpha$ . En este caso aumenta el valor del vector  $E_o$  y éste, a su vez, aumenta el valor de la corriente  $I$ .

Es decir que un aumento de la carga produce siempre un aumento del ángulo  $\alpha$  y un desplazamiento del vector  $E_o$ , que a su vez producen una variación de la magnitud y relación de fase de la corriente  $I$  y del factor de potencia de la máquina.

La dirección con la que se desplaza el vector del voltaje resultante  $E_o$  depende de la excitación y de la carga inicial del motor.

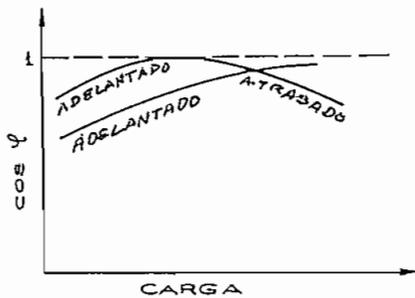


FIG. 17.- EFECTO DE LA VARIACION DE LA CARGA.

Si el motor es sobrecargado al vacío, el desplazamiento del vector  $E_o$  será continuamente en el sentido de giro de las agujas de un reloj. En estas condiciones, si la carga puede aumentarse hasta un valor que no presente peligro, se puede variar el factor de potencia en la siguiente secuencia:

adelantado al vacío; aumenta (en adelanto) hasta la unidad, y disminuye (en atraso) conforme aumenta la carga. Estas condiciones se representan en la figura 17.

Del análisis anterior se deduce que variando la carga de una máquina sincrónica se puede regular su factor de potencia y, por consiguiente, el de la red que la alimenta. Sin embargo, la variación de la carga

como método de compensación del factor de potencia no es muy recomendable, porque presenta algunas desventajas, entre las cuales se pueden anotar:

- a) No se puede manejar fácilmente la carga de una máquina grande.
- b) Es difícil variar a voluntad la carga accionada.
- c) Si la carga aumenta demasiado, la máquina se vuelve inestable y puede salirse de su sincronismo.
- d) La variación de la carga tiende a producir penduleo y oscilación en las máquinas.
- e) Como consecuencia de lo anterior, el margen de regulación por este método es muy restringido.

### 2.1.3.- EFECTOS DE LA TENSION.

Otra de las características que presentan las máquinas sincrónicas, es su tendencia a regular la tensión del sistema eléctrico al cual se encuentran conectadas.

Refiriéndose a los diagramas vectoriales de la figura 18, que corresponden a un motor sincrónico funcionando con una carga constante y excitación normal, se puede observar que el valor del ángulo  $\alpha$  depende de la longitud relativa de los vectores  $-E_a$  y  $V$ . Cuando la máquina está trabajando en las condiciones indicadas, y; de repente disminuye el valor del vector  $V$ , como el valor de la f.c.e.m.  $-E_a$  debe permanecer constante, el vector resultante  $E_o$  se desplazará hacia el vector  $-E_a$ , de manera que la corriente  $I$  cambiará su relación de fase, encontrándose adelantada con relación al voltaje aplicado  $V$ , tal como se representa en la figura 18b. Esto significa que la máquina toma de la red que le alimenta una corriente adelantada que tiende a regular el voltaje del sistema.

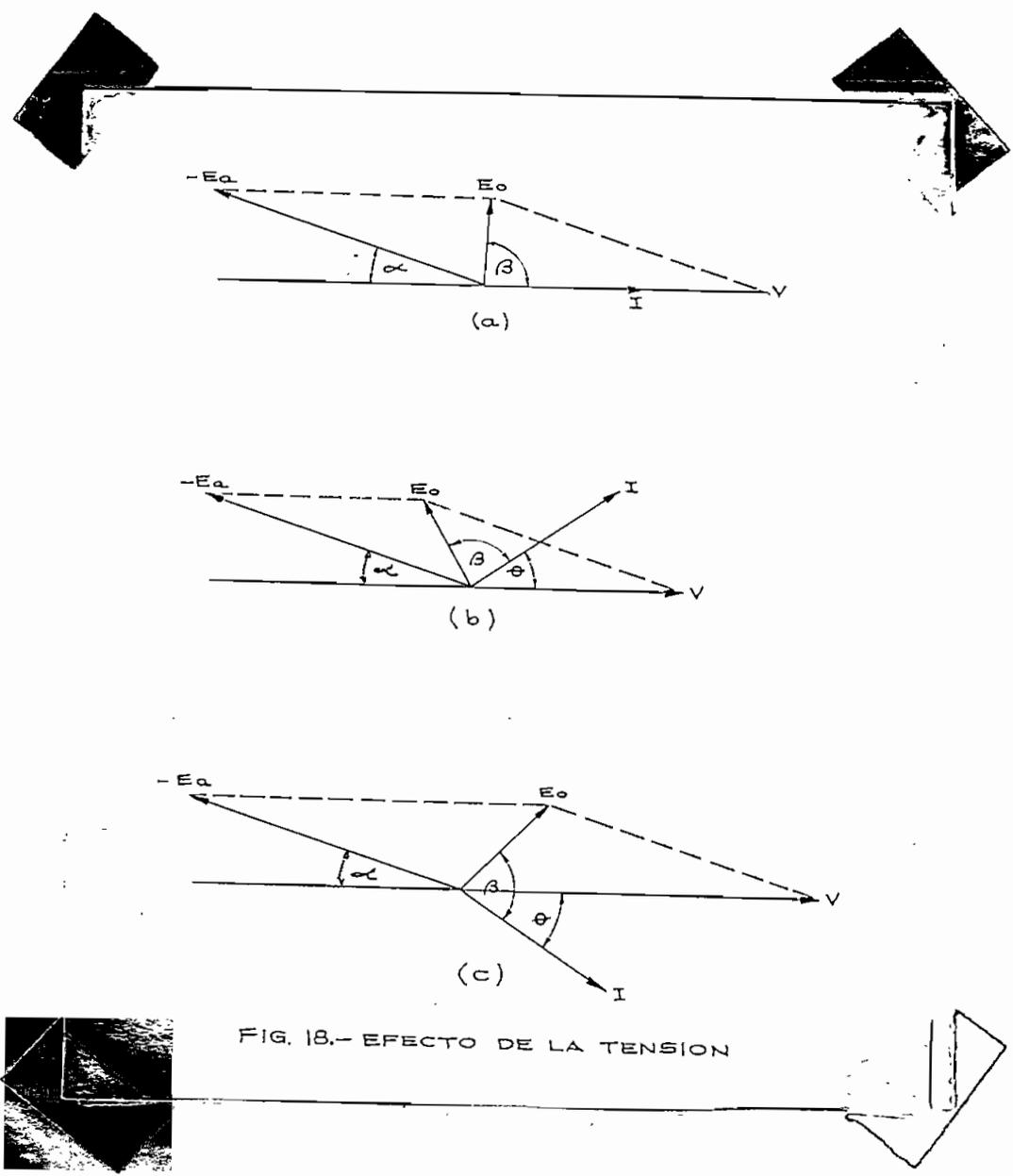


FIG. 18.- EFECTO DE LA TENSION

Si la máquina se encuentra funcionando bajo las condiciones iniciales, un aumento del valor del voltaje aplicado  $V$  producirá un desplazamiento del voltaje resultante  $E_o$ , puesto que el valor de la f.c.e.m.  $-E_a$  se mantiene constante. Esto a su vez producirá un desplazamiento de fase de la corriente  $I$ , de manera que resulta atrasada con respecto al voltaje aplicado, como puede verse en la figura 18c.

Los motores de inducción de anillos rozantes o de rotor bobinado se prestan para controlar el factor de potencia, ya sea regulando su velocidad por algún medio externo o mediante la aplicación de dispositivos auxiliares, como son los adelantadores de fase.

En términos generales, los generadores de inducción y motores de inducción compensados no son medios prácticos para corregir el factor de potencia, razón por la cual no se ha dado mayor referencia sobre estos aparatos.

Finalmente, se puede compensar el factor de potencia de una instalación con un medio más barato y simple, como es la aplicación de condensadores estáticos.

## 2.2.- CONDENSADORES ESTATICOS.

Un condensador es un dispositivo que tiene la propiedad de almacenar energía por medio de una ordenación de los electrones en el dieléctrico (que es considerado su elemento activo), cuando se aplica una diferencia de potencial a sus terminales.

También se define al condensador como un dispositivo que desarrolla, con la ordenación de los electrones en el dieléctrico, una f.c.e.m. igual a la f.e.m. aplicada a sus terminales.

El condensador recibe el nombre de condensador estático debido a que no tiene ninguna parte móvil o desgastable.

Constructivamente, un condensador consiste principalmente de placas o láminas conductoras, delgadas, metálicas, separadas por un material aislante denominado generalmente dieléctrico, de espesor y calidad adecuados para resistir el voltaje al que va a funcionar el conden-

sador.

### 2.2.1.- FUNCIONAMIENTO.

Cuando se establece una diferencia de potencial entre las placas de un condensador, se almacenan cargas eléctricas en el mismo, localizándose una carga positiva en una de las placas, o grupo de placas, y otra negativa, de igual valor, en la otra placa o grupo de placas. Esta propiedad de los condensadores se le conoce con el nombre de capacidad.

El que estas cargas se almacenen de esta manera, puede explicarse considerando la figura 19, en la

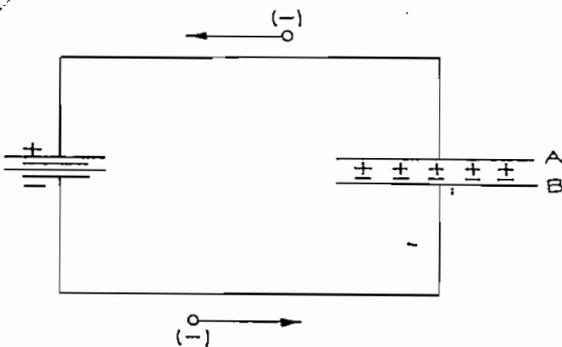


FIG. 19.- TRANSPORTE DE ELECTRONES EN LAS PLACAS DE UN CONDENSADOR.

cual se tienen dos placas conductoras A y B separadas por una capa de aire u otro material aislante, conectadas a los terminales positivo y negativo de una batería. En estas condiciones, el terminal positivo atraerá algunos electrones libres existentes en la placa A y el negativo los repelerá hacia la placa B, es decir que la f. e.m. de la batería sepa-

ra los electrones de la placa A y los transfiere a la B. De esta manera, la placa A quedará cargada positivamente (puesto que ha cedido cargas negativas) y la B quedará cargada negativamente.

El comportamiento de un condensador al conectarse a un circuito eléctrico, se puede analizar con-

siderando los esquemas de la figura 20. Cuando se aplica una f.e.m. constante a las placas de un condensador, circulará una corriente instantánea en el sentido representado en el esquema (a) para cargar el condensador, pero no pasará corriente de modo continuo, puesto que el circuito está interrumpido por el material aislante situado entre las placas; es decir que la corriente circulará solamente durante el tiempo necesario para cargar el condensador y, una vez que éste se haya cargado completamente, cesa, porque la f.e.m. del condensador es igual y opuesta a la f.e.m. aplicada. Como la f.e.m. del condensador se opone a que entre la corriente en él, ésta puede considerarse como una f.c.e.m.

Si se invierte ahora la f.e.m. aplicada, circulará una corriente en el sentido representado en el esquema (b), hasta que el condensador haya cedido su carga, y continuará circulando en el mismo sentido hasta que el condensador se haya cargado en sentido opuesto. Si el voltaje aplicado es alterno, circulará una corriente de carga por los conductores positivo y negativo en un sentido y otro, con una frecuencia que es la misma que el voltaje aplicado.

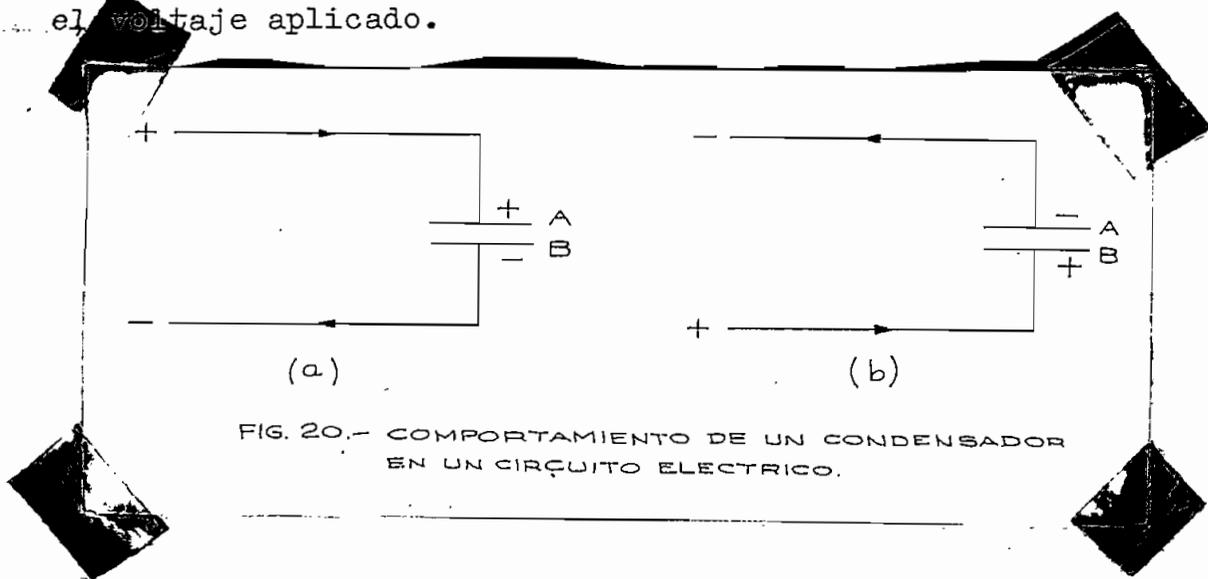


FIG. 20.- COMPORTAMIENTO DE UN CONDENSADOR EN UN CIRCUITO ELECTRICO.

Cuanto mayor sea la capacidad de un condensador, tanta más carga eléctrica puede almacenar y tanto mayor será la corriente de carga que pase a través de los conductores.

Cuando se conecta un condensador a un circuito de corriente alterna, el voltaje aplicado a sus placas varía continuamente como también la carga con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \left( \begin{array}{l} q = C.V. \text{ culombios (ampxseg)} \\ q = \text{carga en culombios.} \\ V = \text{voltaje aplicado en voltios.} \\ C = \text{es una constante denominada capacidad del} \\ \text{condensador, que se expresa en faradios.} \end{array} \right. \quad (33) \end{aligned}$$

siendo,

Es decir que la cantidad de electricidad almacenada en un condensador, es proporcional al voltaje aplicado a sus terminales.

Las relaciones de fase entre el voltaje y la corriente en un condensador, pueden analizarse refiriéndose a los diagramas de la figura 21. Si el voltaje aplicado se representa por la curva  $v = V_m \text{ sen } \mathcal{C}$ , entonces la carga que es proporcional al voltaje estará representada por la curva  $q$ .

Como se vió anteriormente, cuando se aplica un voltaje alterno a las placas de un condensador, éste se carga alternativamente en un sentido y otro, de manera que entre los instantes  $a$  y  $c$  la placa A es positiva, mientras que entre los instantes  $c$  y  $e$  la placa A es negativa.

Entre los instantes  $a$  y  $b$  (figura a), la f.e.m. y la carga están aumentando positivamente, de manera que fluirá una corriente desde el terminal positivo hacia el condensador y, por tanto, será de signo po-

sitivo, hasta que en el instante b se completa la carga y la corriente disminuye hasta anularse.

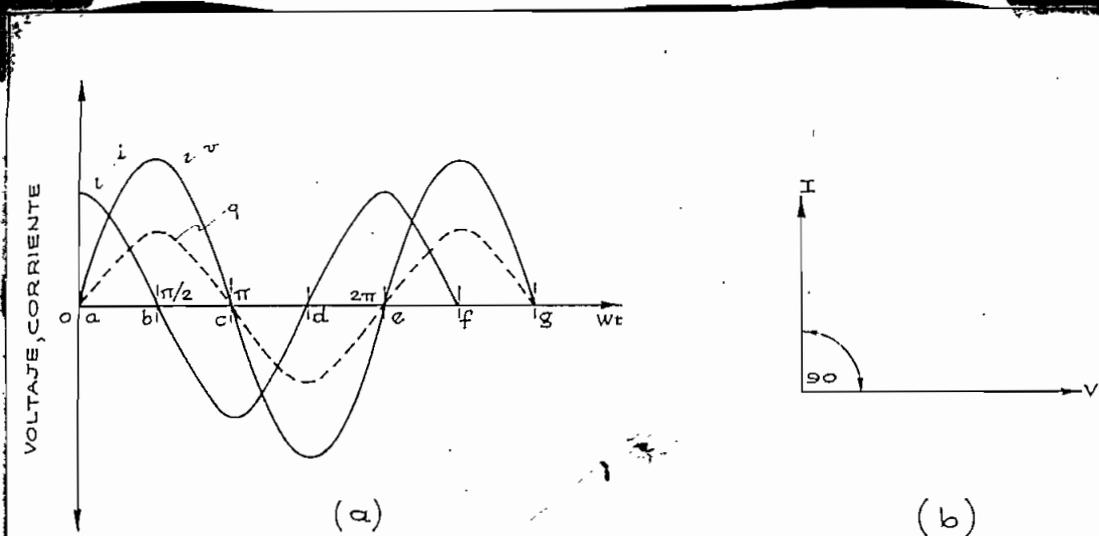


FIG. 21.- RELACIONES ENTRE EL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN UN CONDENSADOR EN CIRCUITOS DE C.A.

Entre los instantes b y c, la f.e.m. y la carga disminuyen de modo que la corriente saldrá del condensador y pasará al terminal positivo, y como el sentido de circulación se ha invertido, su signo será negativo, como puede verse en la figura a.

Después que las curvas v y q han pasado por el valor cero en el instante c, la f.e.m. es negativa y la carga del condensador se invierte, de manera que la corriente se mantiene negativa, prosiguiendo así hasta que la f.e.m. alcance su valor máximo negativo, en el instante d, en el cual se invierte su sentido de circulación y, por tanto, se vuelve nuevamente positiva.

Del análisis anterior se deduce que cuando se aplica una f.e.m. alterna a los terminales de un condensador, la corriente que absorbe el condensador está

en avance de 90° con respecto a la f.e.m. aplicada, como puede observarse en el diagrama vectorial de la figura 21 b.

Esta relación entre la tensión y corriente se demostró analíticamente al iniciar la primera parte de este trabajo.

De acuerdo con lo expuesto se deduce que las corrientes alternas no circulan en realidad a través del aislamiento del condensador. Lo que sucede es que el condensador se carga y descarga alternativamente, de tal manera que llega a la placa positiva una cantidad de electricidad que sale nuevamente de ella, y así sucesivamente. Esta cantidad de electricidad por unidad de tiempo que circula para cargar y descargar el condensador es la que constituye la corriente alterna.

Cuanto más rápidamente pase la tensión de positiva a negativa, mayor será la cantidad de electricidad conque se carga y descarga el condensador por segundo, y mayor será la intensidad de la corriente. Por tanto, esta intensidad debe ser proporcional a la frecuencia del voltaje aplicado, como se demuestra a continuación.

Si en la ecuación de la corriente (12), que viene dada por la expresión:

$$i = \frac{dq}{dt} = C.w.V_m \cos wt = C.w.V_m \sin (wt + 90^\circ)$$

se tiene  $\cos wt = 1$ , la corriente alcanza su valor máximo, o sea:

$$I_m = C.w.V_m. \tag{34}$$

De donde,  $I = C.w.V = 2\pi f C.V. \tag{35}$

Siendo, f la frecuencia, I y V los valores eficaces de la corriente y tensión.

La ecuación (35) también puede escribirse

en la siguiente forma:

$$I = \frac{V}{1/2\pi f C} = \frac{V}{X_c} \tag{36}$$

Donde Xc recibe el nombre de reactancia capacitiva.

En resumen, el efecto de un condensador en un circuito es el de producir una corriente que adelanta en 90° al voltaje aplicado, mientras que el de una inductancia es el de atrasar la corriente en 90° con respecto al voltaje. Es decir que los efectos de estos dos elementos reactivos, en lo que concierne a la relación de fase de la corriente con relación al voltaje, son totalmente opuestos.

en la siguiente forma:

$$I = \frac{V}{1/2 \pi f C} = \frac{V}{X_c} \quad (36)$$

Donde  $X_c$  recibe el nombre de reactancia capacitiva.

En resumen, el efecto de un condensador en un circuito es el de producir una corriente que adelanta en  $90^\circ$  al voltaje aplicado, mientras que el de una inductancia es el de atrasar la corriente en  $90^\circ$  con respecto al voltaje. Es decir que los efectos de estos dos elementos reactivos, en lo que concierne a la relación de fase de la corriente con relación al voltaje, son totalmente opuestos.

En vista de la importancia que revisten los condensadores en relación con el objetivo de este trabajo, se ha creído conveniente dar una idea de las principales características de su construcción y diseño.

### 2.2.2.- CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION.

Hemos dicho que un condensador, consiste principalmente de placas conductoras, delgadas, metálicas, separadas por un material aislante o dieléctrico. Un esquema de la forma más elemental de un condensador se representa en la figura 22.

Ahora bien, los factores que determinan la capacidad del condensador (o propiedad de almacenar electricidad) son: la superficie de las placas  $A$ , la distancia entre ellas o espesor del dieléctrico  $d$ , y el material que se emplea como dieléctrico.

Tanto mayor es la superficie de las placas mayor será la carga que pueda almacenar el condensador, puesto que una superficie grande tiene más electrones que ceder que una pequeña, es decir que la capacidad varía en proporción directa con la superficie de las placas.

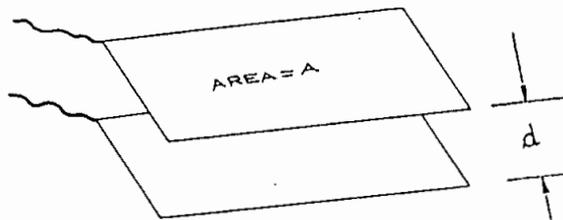


FIG. 22.-ESQUEMA ELEMENTAL DE UN CONDENSADOR.

La capacidad de un condensador aumenta a medida que se acercan las placas y disminuye cuando éstas se alejan. Esto se debe a que cuando más cerca están las placas, mayor será el efecto que la carga de una placa tendrá en la carga de la otra. Dicho en otras palabras, cuando la distancia entre las placas se aproxima a cero, las fuer-

zas de atracción y repulsión sobre los electrones tienden a igualarse y la f.e.m. requerida para transportar una carga dada también tiende a cero, de manera que la capacidad crece indefinidamente. Es decir que la capacidad varía en razón inversa con la distancia entre las placas o espesor del dieléctrico.

La capacidad varía también considerablemente con la naturaleza del material aislante situado entre las placas, y la razón de la capacidad de un condensador dado con un dieléctrico determinado entre sus placas, a la capacidad del mismo condensador cuando entre sus placas hay aire o existe el vacío, se denomina constante dieléctrica del medio o material aislante.

La razón de por qué la capacidad de un condensador cambia con el dieléctrico, se debe a que los propios dieléctricos contienen un gran número de protones y electrones que, aunque no pueden circular, sin embargo pueden orientarse. La deformación de la estructura molecular del dieléctrico, producida al cargar el condensa-

dor, tiene un efecto fundamental sobre las fuerzas de atracción y repulsión que ayudan o se oponen al paso de la carga, de manera que afecta a la capacidad.

De acuerdo con lo indicado, la ecuación fundamental de la capacidad de todo condensador viene dada por la siguiente expresión:

$$C = K \frac{A}{d} \quad (\text{M Faradios}) \quad (37)$$

Donde, K es una constante dieléctrica que depende de los materiales usados y de las unidades de medida, A es la superficie de las placas, y d es la distancia entre ellas o espesor del dieléctrico. La capacidad C usualmente se expresa en microfaradios  $\mu\text{F}$ .

Las constantes dieléctricas de los materiales son usualmente constantes solamente para un determinado conjunto de condiciones, ya que pueden experimentar variaciones con la temperatura y frecuencia de la tensión aplicada.

Partiendo de la capacidad y tensión nominal de un condensador, puede obtenerse la fórmula más usual de la potencia en KVAR suministrada por un condensador:

$$\text{KVAR} = \frac{(2\pi f) C \cdot V^2}{1000} \cdot 10^{-6} \quad (38)$$

Donde, f = frecuencia en ciclos por segundo.

C = capacidad en microfaradios.

V = tensión aplicada en voltios (valor eficaz).

## MATERIALES.

### 1) DIELECTRICOS..

El material aislante o dieléctrico, también conocido con el nombre del elemento activo de un conden-

sador, es el elemento de mayor importancia de este aparato.

Los dieléctricos empleados en la construcción de los condensadores, pueden reunirse en cuatro grandes grupos. El primero incluye condensadores cuyo dieléctrico es el vacío, aire u otro gas. El segundo, por un líquido como el aceite mineral o aceite de ricino. El tercer grupo incluye condensadores cuyo dieléctrico se compone de una combinación de sólidos y líquidos, como vidrio, mica, películas de materiales sintéticos, papel, etc., por un lado y aceite mineral, difenil clorado, askarel, etc., por el otro. El cuarto grupo está constituido por dieléctricos estrictamente sólidos como vidrio, mica, etc.

En los condensadores destinados a la corrección del factor de potencia, se utiliza como material aislante o dieléctrico un papel preparado especialmente que es conocido con el nombre de papel Kraft, el cual es impregnado con un líquido de alto poder dieléctrico. Este papel es de una extraordinaria finura y uniformidad en su espesor, tiene poca porosidad y presenta un pequeño porcentaje de partículas conductoras.

El papel impregnado con un compuesto sintético no inflamable, conocido con el nombre de Askarel proporciona las siguientes ventajas al conjunto del condensador:

- a) Gran rigidez dieléctrica, que permite sobretensiones en los condensadores.
- b) Alta constante dieléctrica, la cual permite obtener una mayor capacidad por unidad de volumen.
- c) Pequeñas pérdidas en el dieléctrico, con lo cual se pueden construir condensadores más compactos.
- d) Características de alta estabilidad, que son necesarias para el tiempo de vida del condensador.

Los condensadores de papel se forman con varias capas del papel especial kraft (celulosa de determinadas maderas), con un espesor variable entre 5 y 25 milésimas de milímetro, que separa dos largas láminas metálicas o electrodos (generalmente de aluminio) de 6 a 7 milésimas de milímetro de espesor. El paquete de láminas y capas de papel se arrolla sobre carretes de diferentes diámetros, según las dimensiones deseadas. Algunas veces, el elemento condensador es de forma cilíndrica, y en otros casos es achatada.

Normalmente el papel utilizado para la fabricación de los condensadores contiene un pequeño porcentaje de agua, la cual debe ser extraída con el objeto de obtener buenas características eléctricas en el condensador. Esto se consigue secando las secciones del condensador elevando la temperatura a presión reducida.

El papel contiene también una gran cantidad de espacios de aire, el cual es eliminado con presiones de 1 mm. de Hg, con el fin de aumentar el valor de la tensión de perforación. Los espacios vacíos se llenan luego con un dieléctrico sólido o líquido, con el cual no sólo se impide una nueva introducción de aire y humedad, sino que también aumenta la tensión de perforación y la capacidad del condensador.

## 2) PLACAS O ELECTRODOS.

Después del dieléctrico, los elementos más importantes del condensador son las placas o electrodos.

Generalmente las placas están constituidas por hojas finas de aluminio metalúrgicamente puro, de un espesor de 6 a 7 milésimas de mm. Estas hojas están libres de impurezas y tienen los bordes lo más perfecto posibles,

con el fin de eliminar las probables perforaciones del papel.

Las hojas se bobinan en un número determinado de hojas de papel, de acuerdo con las características a las que va a trabajar el condensador. Las conexiones de las bobinas elementales se realizan por medio de bandas estrechas de aluminio.

El conjunto de bobinas y conductores es zunchado y aplanado convenientemente de acuerdo con la capacidad del condensador, y es colocado en un recipiente formado por una chapa fina de acero. Este recipiente se cierra herméticamente, soldando doblemente sus costuras con el fin de proteger al condensador de la presencia de elementos extraños, que pueden deteriorarlo.

Uno de los aspectos más importantes en la fabricación de los condensadores es el proceso de impregnación, el cual consiste en desecar a un alto vacío las partes activas del condensador, para luego inyectarle aceite en perfectas condiciones, también al vacío, hasta llenar el recipiente. Finalmente, se colocan los aisladores asegurando un cierre hermético perfecto.

Los aisladores son de dos tipos generales, de porcelana o vidrio y están dimensionados de acuerdo con la tensión de trabajo del condensador.

Para proveer un medio de descarga al condensador cuando es desconectado del circuito, es usual conectar permanentemente a los terminales del condensador una resistencia interna de descarga, la cual es fabricada especialmente para esta clase de aplicación.

### 2.2.3.- CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.

El propósito de este acápite es dar una idea

de los principales factores que afectan el diseño y la vida probable de un condensador.

La eficacia del aislamiento de un condensador puede desaparecer en un momento dado, y entonces se produce una chispa, seguida por un arco, que deteriora el aislamiento. Una vez producido el arco, el condensador permite una intensidad de conducción tan elevada entre electrodos que anula la propiedad del condensador de almacenar energía. El tiempo que normalmente transcurre hasta que se produzca la falla del aislamiento, se denomina vida probable del condensador.

La vida probable de un condensador depende de muchos factores: temperatura, tensión aplicada, cierre contra la humedad, estabilidad química del dieléctrico y procedimientos de fabricación.

La temperatura afecta la vida del condensador notablemente. A 55°C la vida de un condensador de papel puede ser 1/10 a 1/50<sup>+</sup> de la vida del mismo condensador a 38°C. Estas cifras se indican para dar una idea de las variaciones que pueden suceder, aunque no se aplican a todos los tipos de dieléctricos.

Igualmente las tensiones aplicadas influyen de un modo pronunciado sobre la vida de un condensador, la cual varía en proporción inversa a la tercera y hasta la quinta potencia de la relación entre la tensión aplicada y la tensión nominal.

También la humedad acorta la vida de los condensadores que no se hayan cerrado herméticamente, siendo el factor de reducción del orden de 1/10 y hasta 1/1000<sup>+</sup> en comparación con la vida de los condensadores bien cerrados.

---

+.- A. E. Knowlton, Manual "Standard" del Ingeniero Electricista, tomo I, 2ª. ed., pág.625.

En general, cuanto mayor sea la constante dieléctrica de los materiales aislantes, tanto mayor será su conductividad y factor de potencia (pérdidas en el condensador), y tanto menor su vida probable. Esta regla tiene, sin embargo, notables excepciones, particularmente entre los dieléctricos constituidos por materiales sólidos como la mica, vidrio, etc.

#### 1) TENSION Y TEMPERATURA.

La tensión aplicada y la temperatura son los factores principales que afectan el diseño y la vida de un condensador. Estos dos factores deben considerarse juntos, porque son variables que dependen el uno del otro.

Por ejemplo, si un condensador opera indefinidamente con una sobretensión del 10% sobre la nominal, puede reducirse la vida del condensador ya sea debido a la sobretensión como también al aumento de la temperatura producida por la operación del condensador en esas condiciones.

Si la sobretensión solamente, no es suficiente como para reducir la vida de un condensador, en cambio aumenta las pérdidas en el dieléctrico, las cuales a su vez aumentan la temperatura interna de trabajo. Este aumento de la temperatura sumada a la del medio ambiente puede causar alguna vez la deterioración del dieléctrico.

Un factor que afecta a la tensión nominal del condensador es el tamaño físico de la unidad. En general, mientras mayor es el tamaño del condensador, más baja es la disipación del calor desde el interior del dieléctrico, y consecuentemente más alto es el calentamiento interno y más baja será la tensión de operación

de seguridad para la unidad.

Es por esto, que en los condensadores pequeños el dieléctrico puede operar a una tensión mayor con respecto a los grandes, debido a que las pérdidas en el dieléctrico, que se transforman en calor, pueden disiparse mejor en los condensadores pequeños.

Otro aspecto del voltaje que afecta el tamaño de los condensadores es el número permisible de hojas de papel que pueden utilizarse como dieléctrico. Puesto que existe un límite práctico del espesor del papel que puede ser fabricado económicamente, y como aún el papel de mejor calidad tiene un cierto número de partículas conductoras, es necesario disponer bajo estos dos puntos de vista, de un límite práctico tanto del espesor como del número de hojas entre electrodos.

Por esta razón los condensadores para baja tensión, tales como las unidades para 230 V., necesitan de un dieléctrico de mayor espesor que el requerido solamente por la tensión aplicada. A esto se debe que las unidades para 230 V estén limitadas a un máximo de 7,5 KVAR (tamaño económico) y requieren aproximadamente el mismo recipiente que las unidades de 15 KVAR para 460 V. Es por esto, también, que los KVAR para 230V tienen mayor costo que para 460 V o más.

Todos los condensadores para aplicación en sistemas de potencia, son diseñados para una temperatura ambiente de 40°C, aunque los que son destinados para servicio al intemperie pueden operar a una temperatura ambiente de 50°C.

Cuando los condensadores son diseñados para altas temperaturas, es necesario aumentar el aislamiento y la superficie del recipiente para evitar que

la temperatura interna de trabajo no exceda del máximo valor de seguridad. Esto implica un aumento considerable del costo para una potencia nominal dada. Por esta razón, es más económico reducir la temperatura ambiente por medio de ventilación o localización de los condensadores en otro lugar, que utilizar un condensador diseñado especialmente para una alta temperatura ambiente.

Si el diseño del condensador es tal, que las pérdidas inherentes son bajas y por tanto el aumento de temperatura, es posible hacer trabajar al dieléctrico a una alta diferencia de potencial, de manera que se obtenga una alta potencia reactiva por unidad de peso, costo y volumen, sin que se exceda la temperatura interna de seguridad para el dieléctrico.

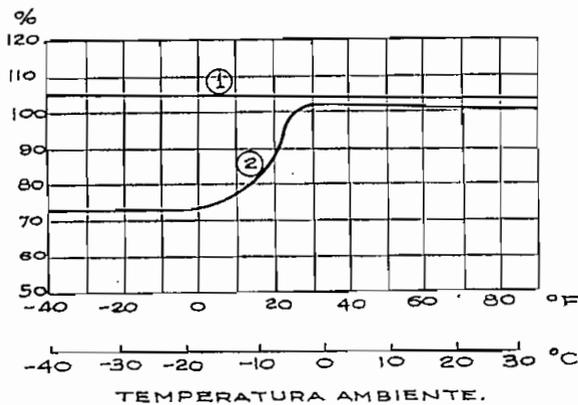
## 2) CAPACIDAD O POTENCIA NOMINAL.

Como se ha indicado anteriormente, la potencia nominal de un condensador destinado para aplicaciones industriales, viene dada en KVAR al voltaje y frecuencia especificados.

La temperatura también afecta tanto a la capacidad como a la potencia nominal de un condensador, tal como lo indican las curvas de la figura 23, en la cual se representan las variaciones de la capacidad y KVAR con la temperatura ambiente, de un condensador de papel impregnado con askarel operando a 60 ciclos.

Refiriéndose a la figura, la curva 1 muestra como los KVAR del condensador siempre exceden del 100% de los nominales, ya que siempre son diseñados para una potencia mayor que la nominal en un pequeño porcentaje, y se mantienen constantes cualquiera que sea la temperatura ambiente, siempre que el condensador esté continuamente

te energizado al voltaje nominal.



La curva 2 indica, sin embargo, como varía la capacidad en microfara-  
dios medida a varias  
temperaturas sin que  
el condensador esté  
energizado.

La capacidad, según es-  
ta curva, se mantiene  
aproximadamente cons-  
tante cuando la tempe-  
ratura ambiente varía  
entre 0 y 30°C, pero,  
cae rápidamente cuando la temperatura baja a -5°C, lo  
cual se debe a la variación de la constante dieléctrica  
del líquido impregnante, que comienza a solidificarse a  
esta temperatura. La constante dieléctrica varía rápida-  
mente hasta cuando la temperatura del ambiente baja has-  
ta -15°C, y luego se nivela de tal manera que le permite  
al condensador obtener nuevamente una capacidad constan-  
te, pero de un valor igual al 72% aproximadamente de la  
normal a 25°C.

Esta es una característica de diseño que se debería conocer para comprender porqué se producen unas pérdidas aparentes de KVAR, cuando se energiza un banco frío de condensadores. Por supuesto, las pérdidas internas serán normales a la temperatura interna de trabajo, tan pronto se calienten los condensadores.

En nuestro medio, como la temperatura ambiente no baja de -5°C, prácticamente no tendríamos estos problemas.

### 3)- PERDIDAS EN EL CONDENSADOR.

Las pérdidas de un condensador están íntimamente ligadas con el voltaje y la temperatura ya discutidos. Realmente, estas pérdidas en watios son muy pequeñas, pero muy importantes en la vida de un condensador, por tres razones principales:

- 1.- Una alta diferencia de potencial en el dieléctrico requiere que las pérdidas y el calor resultante tengan un valor bajo para evitar el deterioro del papel.
- 2.- Los condensadores, con excepción de los que se configuran automáticamente, operan continuamente a plena carga.
- 3.- Debido a la construcción misma del condensador, mientras se desee un diseño práctico y económico, no se permitirá una rápida disipación del calor desde el interior de las bobinas del papel empleado como dieléctrico hacia el medio ambiente externo. Por consiguiente, los condensadores operan con una temperatura cercana al límite de la temperatura de estabilidad del dieléctrico.

Las pérdidas en el condensador se deben principalmente a las siguientes causas:

- a) Pérdida en el dieléctrico.
- b) Pérdida en la resistencia de descarga.
- c) Pérdida debida al flujo de corriente a través de los conductores y dieléctrico.

De todas éstas, la primera es la más importante porque constituye más del 97% de la pérdida total en el condensador. Esta pérdida es muy pequeña y su valor depende de la calidad del dieléctrico.

En aplicaciones de corriente alterna es normal considerar todas las pérdidas de potencia en el con-

condensador en un solo grupo, ya que todos originan un desplazamiento del vector corriente, al cual queda a menos de 90° con respecto al vector de la tensión aplicada. La pérdida de potencia lo da la fórmula:

$$P = VI \cos \theta \quad (39)$$

en donde  $\cos \theta$  es el factor de potencia del condensador.

También se acostumbra a expresar esta pérdida en función del ángulo  $\varphi'$  que corresponde al desplazamiento del vector corriente con respecto al vector ideal, en cuyo caso la pérdida se expresa por la siguiente fórmula:

$$P = VI \sin \varphi' \quad (40)$$

En donde,  $\sin \varphi'$  toma el nombre factor de pérdidas.

El factor de potencia de un condensador se define con exactitud como la relación entre la resistencia equivalente  $R$  y la impedancia  $Z$  del condensador. Para la mayoría de los condensadores, la impedancia  $Z$  difiere de la reactancia  $X$  en menos de 0,01%; por lo cual el factor de potencia puede expresarse por medio de la relación  $R/X$  con suficiente exactitud.

Como el factor de potencia de un condensador es una medida de la potencia perdida en forma de calor, es importante conocer su valor ya que constituye una limitación en los VA nominales que pueden obtenerse de un determinado diseño de condensador, para su aplicación en corriente alterna.

El factor de potencia de un condensador puede ser función de la temperatura y tensión aplicada, razón por la cual es necesario dar una idea de estas variaciones, en especial con relación a la temperatura.

Para analizar la variación de las pérdidas con la temperatura ambiente se puede referir a las curvas de la

figura 24, las cuales representan la variación para un

condensador de papel impregnado con askarel bajo dos condiciones de operación: (1), cuando el condensador esté continuamente energizado, y (2), cuando es conmutado automáticamente y por consiguiente no está continuamente energizado. Las pérdidas indicadas en la figura son watios expresados en porcentaje

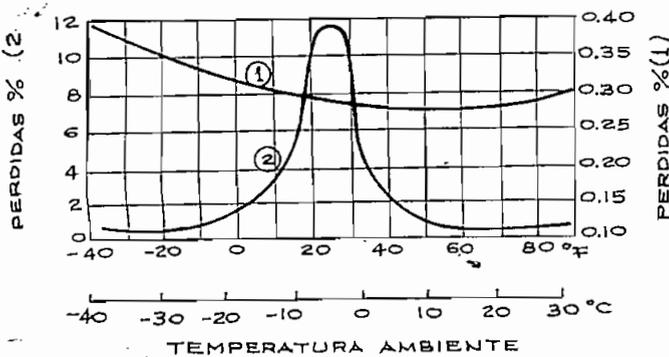


FIG. 24.- VARIACION DE LAS PERDIDAS CON LA TEMPERATURA PARA UN CONDENSADOR IMPREGNADO CON ASKAREL.

de los Volt-amperios medidos en los terminales del condensador.

4/

Como puede deducirse de la curva (1), las pérdidas de este tipo de condensador no exceden de 3,3 watios por KVAR al voltaje y frecuencia referidos a una temperatura ambiente de 25°C.

La variación de las pérdidas representada por la curva (2) explica porqué un condensador frío cuando es energizado a una baja temperatura, se calienta rápidamente de manera que recupera su capacidad y potencia nominales.

Refiriéndonos nuevamente a la definición y ecuaciones fundamentales de un condensador se puede deducir que el diseño y costo de un condensador son funciones de las características y dimensiones de los materiales usados en su construcción.

El bajo costo actual de los condensadores es el resultado de una extensiva investigación de las propiedades de los materiales aplicados en su construc-

ción, y mejoramiento de la técnica manufacturera.

El tamaño físico del condensador debe ser práctico y adecuado de manera que su costo sea lo suficientemente bajo como para justificar su aplicación.

Como el costo de un condensador es proporcional a su volumen, o sea al producto  $A \times d$ , para obtener la máxima potencia nominal en KVAR a un mínimo costo, es necesario disponer de un dieléctrico de espesor mínimo ( $d$ ) entre las placas, una constante dieléctrica ( $K$ ) lo más alta posible, y una máxima superficie en las placas. Esto ilustra la importancia de conservar el espesor del dieléctrico ( $d$ ) a un valor mínimo consecuente con la resistencia dieléctrica adecuada para el voltaje aplicado.

#### 2.2.4.- APLICACION.

Una de las aplicaciones más importantes de los condensadores es la de corregir el factor de potencia del circuito al que estén conectados. Este efecto del condensador se puede explicar fácilmente considerando el circuito de la figura 25 y su diagrama vectorial correspondiente.

Cuando se conecta un condensador en paralelo con la carga como lo indica el esquema de la figura (a), éste absorbe una corriente  $I_c$  que está avanzada en  $90^\circ$  con respecto al voltaje aplicado  $E_R$ . Si el factor de potencia es tal, que la corriente  $I$  de la carga se encuentra atrasada un ángulo  $\phi$  con respecto al voltaje, entonces la corriente total de la línea  $I_1$ , que es la suma vectorial de  $I$  e  $I_c$  resulta avanzada en fase debido a la adición de la componente  $I_c$  y, por consiguiente, el factor de potencia aumenta. Si  $I_c$  se hace igual a la componente reactiva de  $I$ , el factor de potencia será igual a la unidad.

- En resumen, cuando un condensador y una carga inductiva son instalados en el mismo circuito, la corrien-

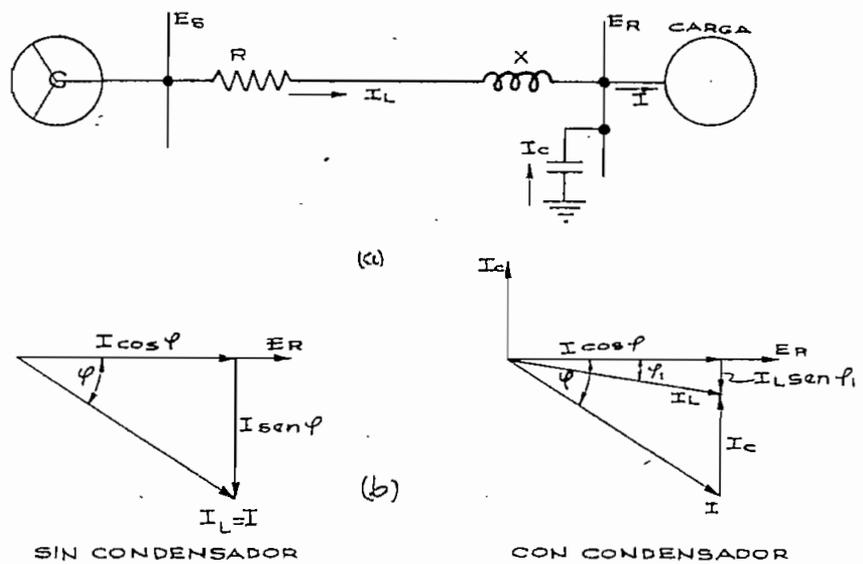


FIG. 25.- EFECTO FUNDAMENTAL DE UN CONDENSADOR EN DERIVACION.

La absorbida por el condensador compensa la corriente atrasada requerida por la carga inductiva, de tal modo que mejora el factor de potencia del circuito.

La aplicación de los condensadores para mejorar el factor de potencia de un sistema trae consigo los siguientes beneficios principales:

- 1- Aumenta el nivel del voltaje en la carga o disminuye la caída de tensión.
- 2- Libera capacidad o potencia en el sistema.
- 3- Reduce las pérdidas.
- 4- Reduce las facturas de energía.

Todos estos beneficios son función directa de la reducción de la componente reactiva de la corriente en los circuitos de alimentación, ya que la corriente reactiva requerida por la carga es compensada por los condensadores, y por consiguiente está limitada al cir-

cuito existente entre el condensador y la carga. En los párrafos que siguen, se dará una breve idea de estos efectos del condensador.

1) AUMENTA EL NIVEL DEL VOLTAJE EN LA CARGA.

Considerando el circuito indicado en la figura 25 tenemos que la expresión completa para la caída de tensión en la carga será:

$$E_r = E_s - I Z \tag{41}$$

$$E_r = E_s - I (R \cos \varphi - X \sin \varphi) - j I (X \cos \varphi - R \sin \varphi) \tag{42}$$

donde,

$E_r$  = Voltaje en la carga.

$E_s$  = Voltaje de salida.

$R$  = Resistencia de la línea.

$X$  = Reactancia de la línea.

Como

$$I_a = I \cos \varphi \tag{23}$$

$$I_q = I \sin \varphi \tag{43}$$

Entonces la ecuación (42) se convierte en

$$E_r = E_s - R I_a - X I_q - j X I_a + j R I_q \tag{44}$$

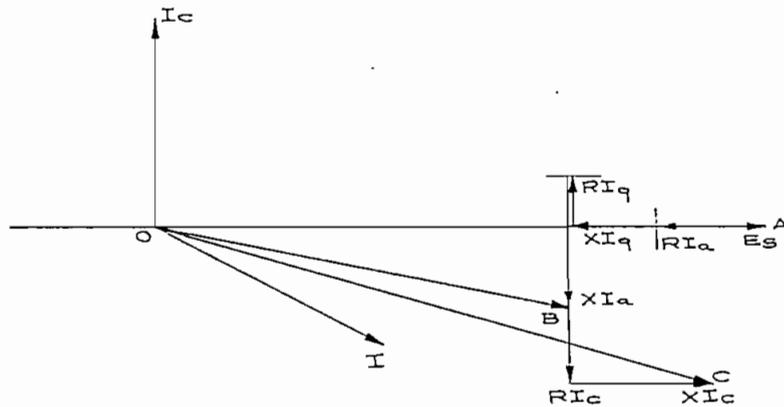
Esta relación se representa en el diagrama vectorial de la figura 26, en la cual  $E_r$  es el vector OB.

Si se instala un condensador en el circuito, la ecuación para el voltaje en la carga viene a ser.

$$E_r = E_s - R I_a - X I_q - j X I_a + j R I_q - j R I_c + X I_c \tag{45}$$

donde  $I_c$  es la corriente suministrada por el condensador al circuito.

El voltaje de recepción para esta condición



OA= VOLTAJE DE GENERACION.  
OB=VOLTAJE EN LA CARGA SIN CONDENSADORES.  
OC=VOLTAJE EN LA CARGA CON CONDENSADORES.

FIG. 26.- COMPONENTES DE LA CAIDA DE TENSION EN UN SISTEMA.

con el condensador añadido al circuito es el vector OC, representado en la figura 26. Es decir que el voltaje en la carga ha aumentado porque la caída de tensión en este punto del circuito es menor debido a la reducción de la magnitud de la corriente en la línea  $I_1$ , como se puede deducir del diagrama vectorial de la figura 25.

En la fórmula (45), despreciando las componentes en cuadratura se obtiene la expresión simplificada para calcular el voltaje en la carga en cualquier circuito:

$$E_r = E_s - RI_a - XI_q + XI_c \quad (46) \quad 5/$$

De esta relación es evidente que si  $I_c$  es de suficiente magnitud se puede compensar  $RI_a$  e  $XI_q$  y por consiguiente la caída de tensión.

De la misma expresión se puede deducir que si la caída de tensión es compensada a plena carga con

un condensador permanentemente conectado a la línea, durante el período de baja carga puede darse el caso de que la línea esté sobrecompensada ya que los valores de  $I_a$  e  $I_q$  disminuyen con la carga, mientras que el valor de  $I_c$  se mantiene constante porque depende solamente de la tensión aplicada y no de la carga.

Como el condensador aumenta el valor de la tensión ya sea durante los períodos de baja o plena carga, la regulación de la línea es prácticamente inalterable, a menos que los condensadores sean conmutados automáticamente. Durante los períodos de mínima carga, el aumento del voltaje puede ser excesivo de manera que podría representar una condición indeseable y aún intolerable. Para evitar este inconveniente es necesario prever un control manual o automático para conectar o desconectar los condensadores como se desee.

Puesto que el aumento del voltaje en la carga es aproximadamente proporcional a la componente  $XI_c$ , el aumento del voltaje debido a la instalación de un condensador dado, será aproximadamente igual a

$$\% V_c = \frac{KVAR_c \cdot X \cdot d}{10 (KV)^2} \quad (47)$$

siendo  $V_c$  = aumento del voltaje debido a los condensadores en %.

$KVAR_c$  = potencia nominal del condensador.

$X$  = reactancia del circuito existente entre la fuente de alimentación y el condensador ( $\Omega$ /milla)

$KV$  = Voltaje entre líneas.

$d$  = longitud del circuito en millas.

## 2) LIBERACION DE CAPACIDAD O POTENCIA EN EL SISTEMA.

Además de corregir el factor de potencia,

En estas consideraciones debe incluirse además, el costo del interruptor requerido para la conmutación. Por ejemplo, aunque el costo de los condensadores para 2.400 V es menor que para los de 460 o 575 V, sin embargo el costo del conjunto incluido el interruptor puede ser inferior que para el de 460 o 575 V, debido al alto costo de los interruptores para 2.400 V. Para dar una idea del costo estimado de los condensadores en relación con el voltaje nominal, incluido los diferentes tipos de interruptores, se incluyen las figuras 28 y 29.

En resumen, es necesario evaluar todos estos factores para determinar el lugar más conveniente en el que deben instalarse los condensadores, de manera que se obtengan los máximos beneficios a un mínimo costo.

Todas estas características y beneficios que presentan los condensadores analizados anteriormente; su bajo costo, y reducidas pérdidas, permiten que la aplicación de los condensadores estáticos para corregir el factor de potencia, sea una de las más preferidas.

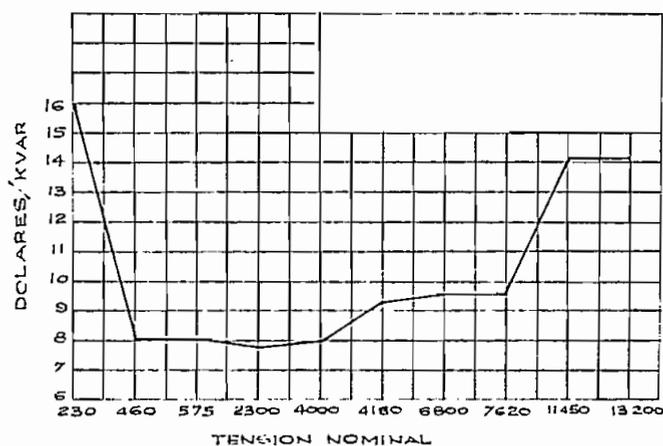


FIG. 27.- PRECIO PROMEDIO DE CONDENSADORES EN RELACION A LA TENSION NOMINAL

FIG. 28.- PRECIO APROXIMADO DE EQUIPO DE CONDENSADORES CON APARATOS DE MANIOBRA (INTERIOR-60c/seg.) PARA 230V.

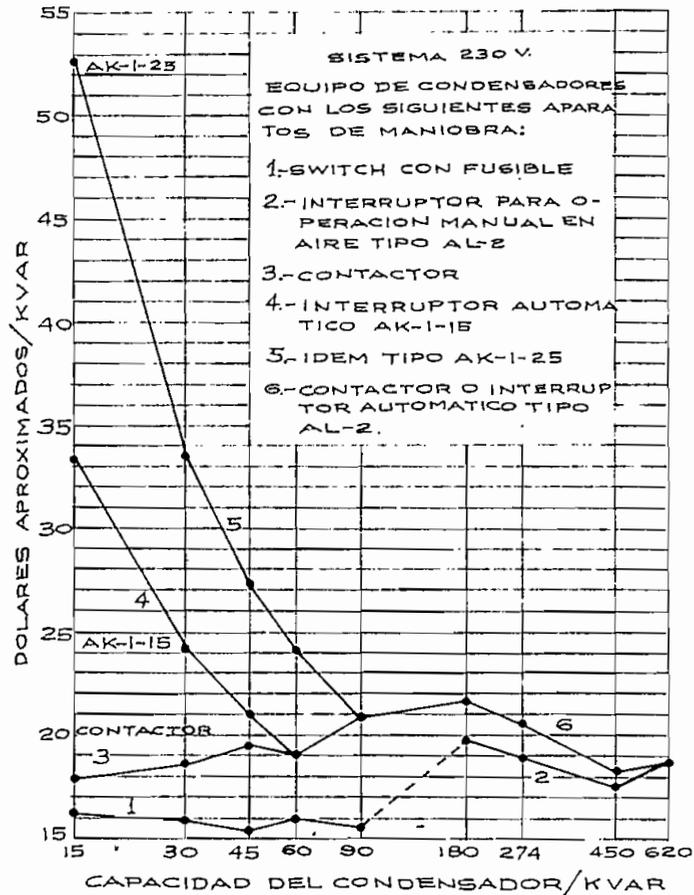
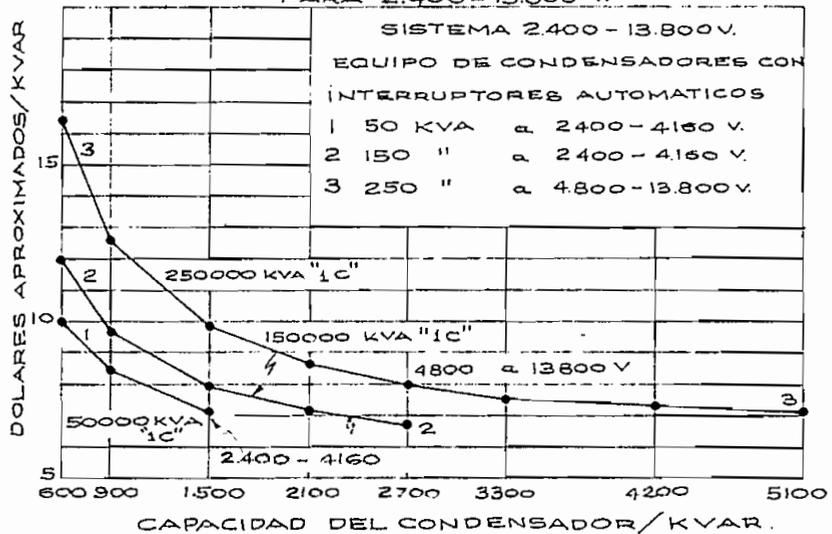


FIG. 29.- PRECIO APROXIMADO DE EQUIPO DE CONDENSADORES CON APARATOS DE MANIOBRA (INTERIOR-60 c/seg) PARA 2.400-13.800 V.



## CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES

Cuando se aplican condensadores con el propósito de mejorar el factor de potencia, algunas veces es necesario o deseable conectar o desconectar los condensadores del circuito, con el fin de eliminar las condiciones de sobretensión que pueden presentarse en los períodos de baja carga. Este caso ocurre con mucha frecuencia en las plantas industriales que tienen una carga muy variable.

Para determinar la necesidad de desconectar los condensadores se debe calcular el aumento del voltaje para los períodos de baja carga con los condensadores conectados en el circuito. De esta manera, es posible determinar anticipadamente si es práctico dejar a los condensadores permanentemente conectados.

El método para calcular el aumento de la tensión debido a los condensadores se ha indicado anteriormente (Ver Capítulo II).

En las plantas que tienen una carga muy variable, siendo la carga alta a determinada hora del día y reducida en otra, se requiere mayor potencia en condensadores para mejorar el factor de potencia a un valor deseado durante los períodos de máxima carga que para el caso de los períodos de baja carga.

Dicho en otras palabras, la potencia suministrada por los condensadores puede resultar excesiva durante los períodos de mínima carga, que puede dar lugar a una sobretensión en los circuitos, que si bien no es la suficiente para causar fallas en el aislamiento de las máquinas, en cambio reduce la vida de las lámpa-

ras cuando el alumbrado es alimentado por el mismo sistema en el que están conectados los condensadores. También, puede darse el caso de que circulen excesivas corrientes armónicas entre los condensadores y transformadores, que pueden producir fallas en los condensadores y posibles sobrecalentamientos en los transformadores.

Para evitar los problemas de una sobreten-sión, los condensadores pueden instalarse divididos en secciones adecuadas con sus respectivos interruptores, y con el fin de obtener el factor de potencia deseado, las secciones pueden conectarse cuando aumenta la carga o desconectarse cuando no sean necesarias.

La conmutación (conexión o desconexión) de los condensadores puede ser manual o automática, siendo esta última la más utilizada actualmente.

El que los condensadores sean conectados manual o automáticamente depende de las condiciones del local, localización de los condensadores, disponibilidad de personal que los atienda, etc.

La conmutación manual es utilizada cuando la variación de la carga es pequeña, no se precisa conectar con mucha frecuencia, y se dispone además de personal de servicio de confianza. Este tipo de control es el más económico de todos, y su realización es sencilla.

La conmutación automática es utilizada cuando las variaciones de voltaje o potencia reactiva que ocurren irregularmente se deben regular enseguida, ya que puede darse el caso de que exista una sobrecompensación o que el factor de potencia sea inferior al valor deseado.

En las plantas industriales se requiere usualmente control automático debido a una de las siguientes razones:

- a) Para controlar la corriente o carga del circuito.
- b) Para reducir el voltaje o las pérdidas durante las condiciones de mínima carga.
- c) Para satisfacer los requerimientos de la cláusula del factor de potencia.
- d) Para cumplir con los requerimientos de la planta.

Este tipo de control es muy importante en la aplicación de condensadores, razón por la cual estudiamos únicamente el control automático.

### 1.- MÉTODOS DE CONTROL.

Existen varios tipos de control automático, siendo los más adecuados para aplicaciones industriales, los controles en relación con:

- 1.- Voltaje.
- 2.- Corriente.
- 3.- Potencia reactiva.

El equipo de control, cualesquiera que sea el método de regulación, consiste esencialmente de los siguientes elementos:

- a) Un relé sensible a la variable fundamental voltaje, corriente o potencia reactiva.

Los relés de voltaje y corriente son esencialmente un voltímetro y amperímetro provisto de contactos, respectivamente. El relé de potencia reactiva es esencialmente un watímetro provisto de contactos, conectado al circuito de manera que sea sensible a los KVAR y es usualmente un relé del tipo de inducción.

- b) Un interruptor operado eléctricamente.

La conexión o desconexión de los condensadores del circuito, generalmente se realiza por medio de un interruptor operado eléctricamente, que puede ser

- del tipo de contactor o disyuntor automático en aceite o aire.
- c) Un dispositivo que determina la secuencia de conexión de los condensadores, es decir el orden en el cual se deben conectar o desconectar los condensadores del circuito. Este elemento es necesario solamente para control de varias etapas.
  - d) Dispositivos auxiliares, como relés auxiliares, conmutadores, hilos pilotos, etc.

Un esquema fundamental del control automático en el que se indican los principales elementos se representa en la figura 30.

La conmutación automática de los condensadores puede realizarse en una o varias etapas, dependiendo el número de éstas de la potencia del condensador y de su efecto total en el circuito.

Por ejemplo, si un condensador es capaz de producir un aumento de voltaje en el circuito del 2% y si este valor es el máximo permisible, la conmutación puede realizarse en una sola etapa. Pero, si el condensador produce un aumento de voltaje del 6%, la conmutación deberá efectuarse en 3 etapas.

Cuando el control se realiza regulando la potencia reactiva se procede de manera similar. Es decir que el límite máximo permisible de la variable a ser controlada y la potencia de los condensadores determinan el número de etapas en que deben conmutarse.

La conmutación en respuesta a las variaciones de la corriente, se realiza usualmente en una sola etapa.

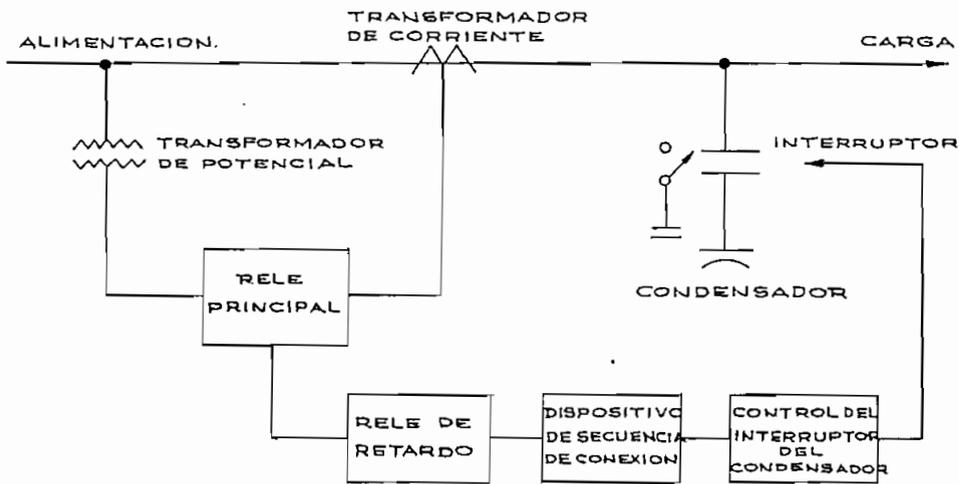


FIG. 30.-ESQUEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES

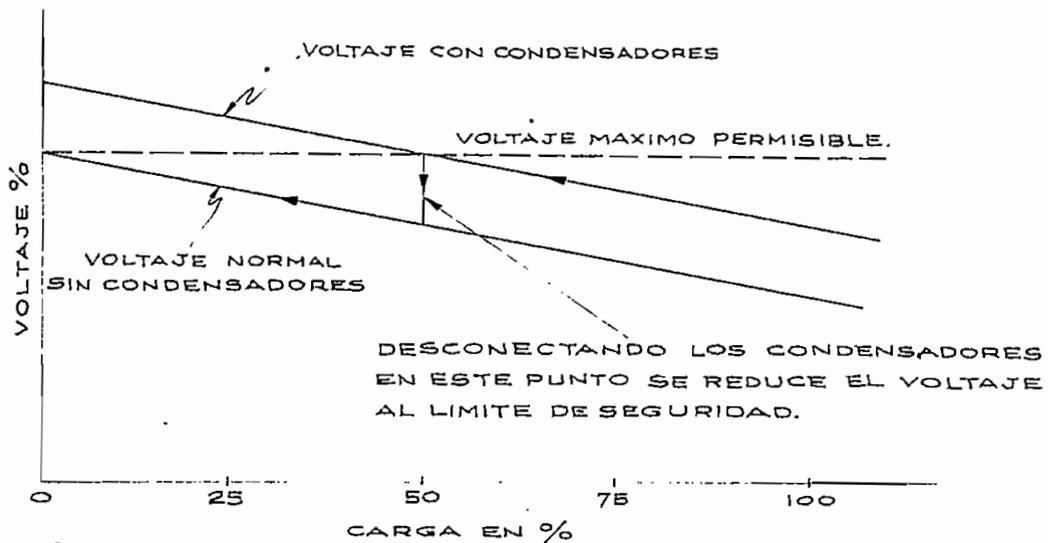


FIG. 31.-ILUSTRACION GRAFICA DE LA REGULACION DEL VOLTAJE POR MEDIO DE LA CONMUTACION AUTOMATICA DE CONDENSADORES EN RESPUESTA A LA VARIACION DEL VOLTAJE.

### 1.1.- CONTROL EN RELACION CON EL VOLTAJE.

Este tipo de control es aplicado cuando se tienen las siguientes condiciones:

- 1.- Ocurre una variación de voltaje objetable con las variaciones de la carga.
- 2.- Cuando no se emplean otros medios de regulación de voltaje.

Cuando los condensadores son instalados principalmente con el fin de mejorar el factor de potencia, éstos producen un aumento del valor del voltaje sobre el que existía en las condiciones iniciales. Esto se debe a que la corriente adelantada absorbida por el condensador que fluye a través de la reactancia del sistema, compensa la caída de tensión o parte de ella, producida por la componente atrasada reactiva de la corriente a plena carga que fluye a través de la misma reactancia del sistema.

Durante el período de mínima carga, la componente atrasada reactiva absorbida por la carga es reducida, mientras que la corriente adelantada absorbida por el condensador permanece constante, y en consecuencia, se produce un aumento del voltaje al vacío o en los períodos de baja carga, como se analizó en el capítulo anterior. Esta variación del voltaje se ilustra gráficamente en la figura 31.

Cuando la regulación del voltaje con carga es excesiva en los períodos de cargas intermedias, puede ser necesario conmutar los condensadores en varias etapas con el fin de mantener el valor del voltaje entre límites satisfactorios.

En la figura 32 se representa un esquema de

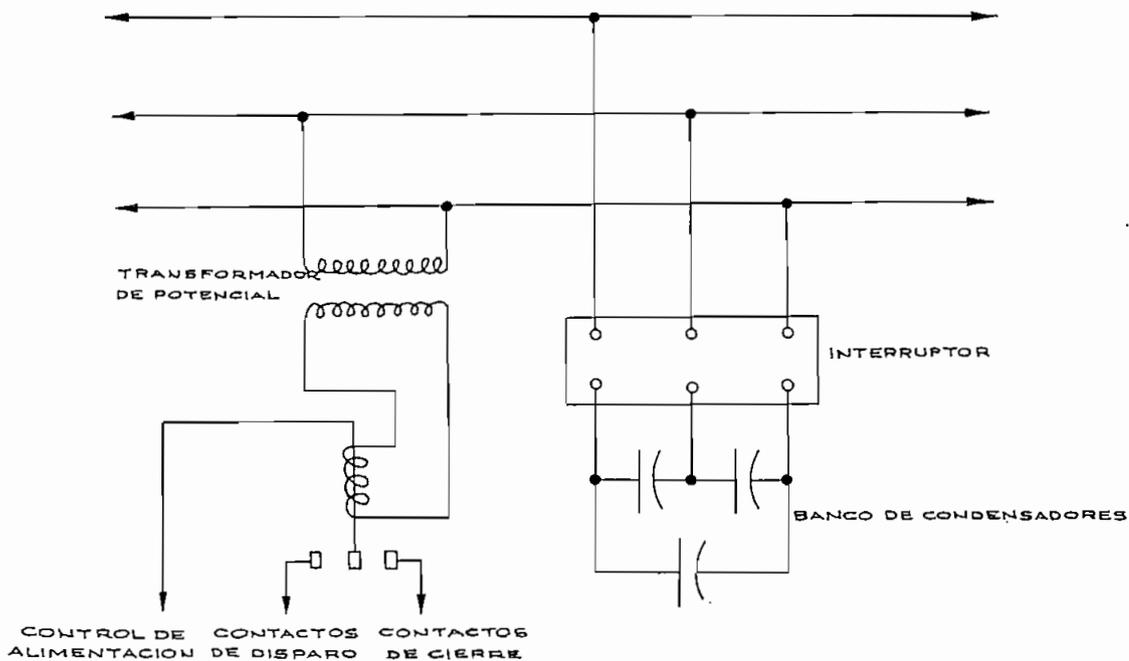


FIG. 32.- DIAGRAMA DE CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES, CON EL VOLTAJE (UNA ETAPA). EN RELACION

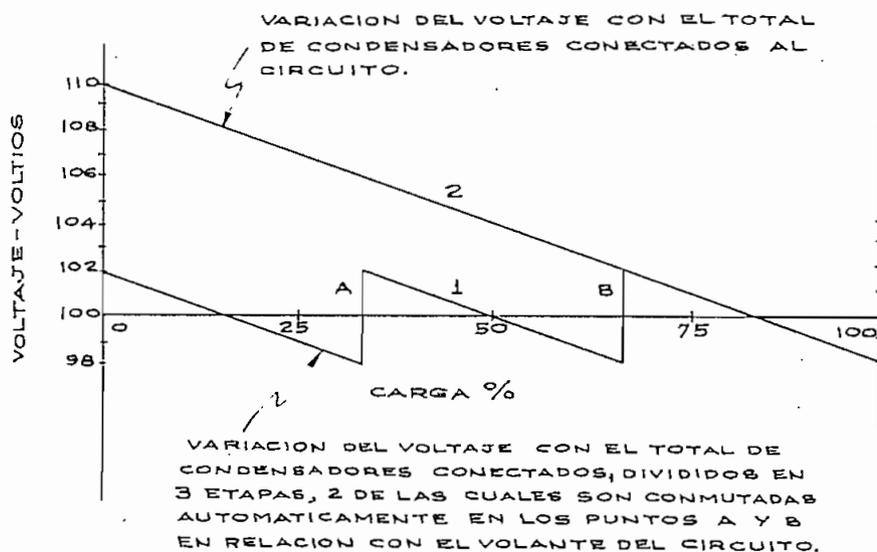


FIG. 33.- EFECTO DE LA CONMUTACION DE CONDENSADORES EN TRES ETAPAS.

las conexiones del control por medio del voltaje para una sola etapa.

Los efectos de una conmutación en varias etapas pueden observarse en la figura 33, en la cual la línea (1) representa la variación del voltaje con la potencia reactiva suministrada por los condensadores divididos en 3 grupos, dos de los cuales se conmutan automáticamente en los puntos A y B en relación con el voltaje del circuito. La variación del voltaje con la potencia reactiva total (considerada para la corrección) conectada al circuito se representa por la línea (2).

Para determinar la potencia reactiva que puede ser conectada permanentemente, es necesario conocer lo siguiente:

- 1- El voltaje en el período de baja carga con el condensador propuesto para la corrección del factor de potencia.
- 2- Si el valor del voltaje durante este período (1) es objetable, entonces es necesario conocer la máxima potencia reactiva capacitiva permisible durante los períodos de baja carga de manera que el voltaje no exceda del límite permisible.
- 3- La máxima potencia reactiva capacitiva que puede conectarse y permanecer en el circuito de manera que el valor del voltaje esté entre límites satisfactorios.
- 4- La diferencia entre los KVAR capacitivos propuestos en (1) y los KVAR capacitivos permisibles durante las condiciones de mínima carga (2), determina los KVAR capacitivos totales a conectarse.
- 5- La relación de los KVAR capacitivos que pueden conectarse (4) a los KVAR capacitivos que pueden conectarse y permanecer en el circuito de manera que el valor del voltaje esté entre límites satisfactorios (3), de-

termina el mínimo número de etapas de conmutación.

Como puede deducirse de lo anterior, el voltaje del sistema, juega un papel importante en la determinación de la potencia en condensadores que pueden conectarse y permanecer en el circuito sin peligro alguno.

#### 1.2.- CONTROL CON RELACION CON LA CORRIENTE.

Este tipo de control es utilizado en los sistemas en los que el factor de potencia permanece razonablemente constante con la variación de la carga (Kw) o varía en una forma definida. Generalmente, el control en relación con la corriente se realiza en una sola etapa por medio de un simple relé de corriente.

Cuando se utiliza el control de corriente, los condensadores son conmutados automáticamente de acuerdo con la carga de la planta, de manera que son desconectados del circuito durante los períodos de mínima carga, lo cual es deseable.

El esquema de conexiones para el control de corriente se representa en la figura 34.

#### 1.3.- CONTROL EN RELACION CON LA POTENCIA REACTIVA.

Cuando el factor de potencia de la carga varía y el voltaje es regulado por otros medios, puede ser conveniente utilizar la variación de la potencia reactiva (inductiva) en la carga para iniciar la conmutación de los condensadores, ya que el regulador de voltaje mantendrá el valor del mismo dentro de límites satisfactorios, independientemente de la potencia reactiva aplicada.

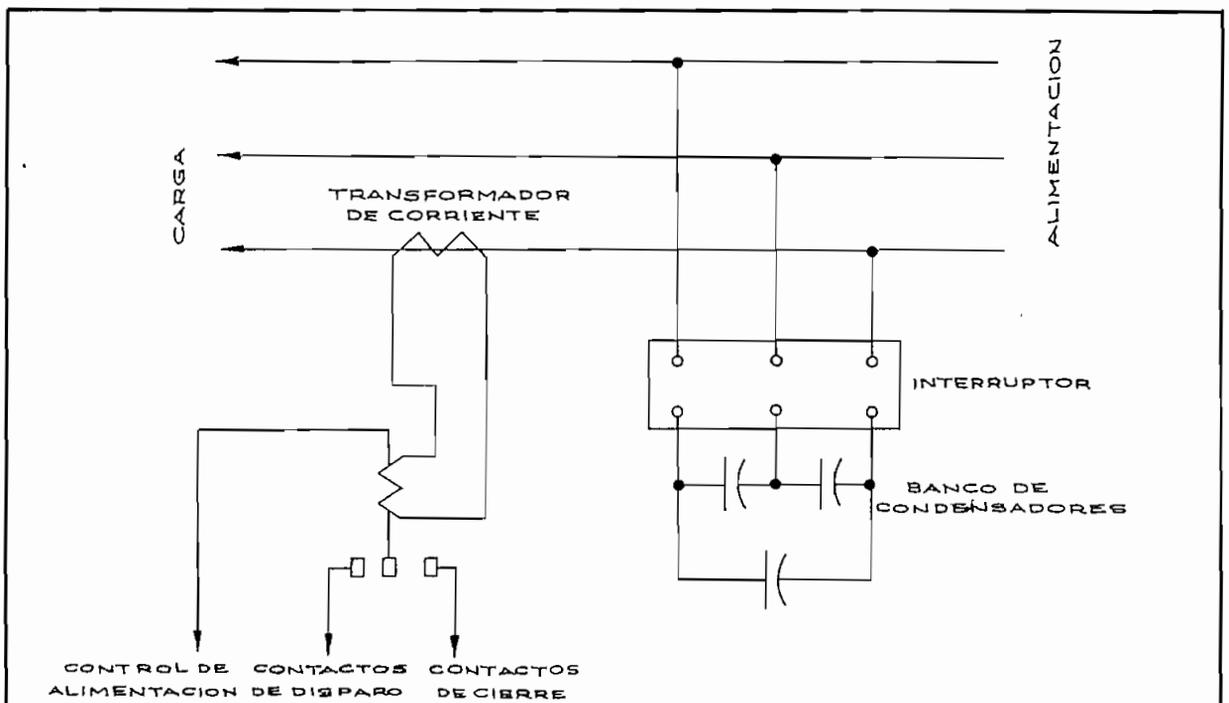


FIG. 34.- DIAGRAMA DE CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES EN RELACION CON LA CORRIENTE (UNA ETAPA)

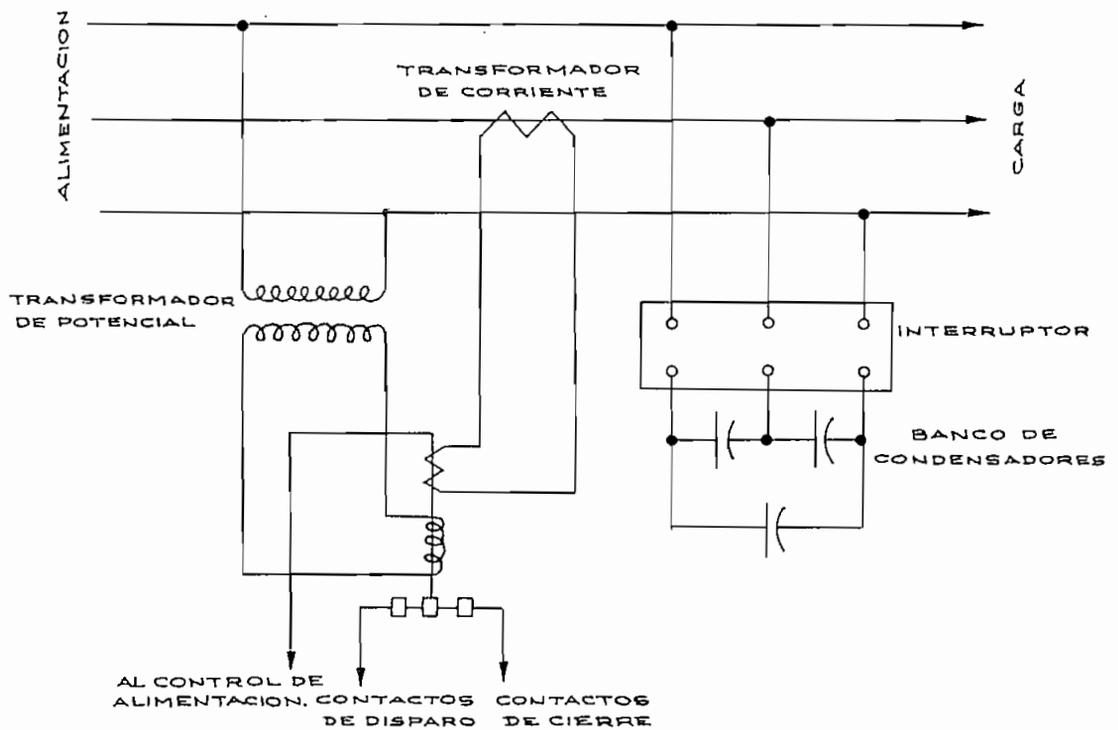


FIG. 35.- DIAGRAMA DE CONTROL AUTOMATICO DE CONDENSADORES EN RELACION CON LA POTENCIA REACTIVA (UNA ETAPA)

cionarse un relé sensible a la carga (corriente).

Una excepción de esta regla es el control del factor de potencia, el cual no es recomendado aunque los condensadores son aplicados para corregir el factor de potencia. La razón para esto es que con un factor de potencia constante los KVAR varían directamente con los Kw de la carga, y, como tal, un control de este tipo no sería adecuado cuando los KVAR de la carga son iguales a los KVAR capacitivos a conectarse en una etapa.

DESCRIPCION Y ANALISIS GENERAL DEL SISTEMA ELECTRICO  
DE LA FABRICA.

1.- CARACTERISTICAS GENERALES.

Antes de hacer una descripción de los circuitos eléctricos existentes en esta fábrica, conviene anotar algunas características del proceso que se efectúa en las diferentes secciones y del equipo eléctrico que acciona la maquinaria textil.

La especialidad de esta fábrica es la elaboración de hilados, tejidos y estampados de algodón, cuyos procesos se realizan en tres secciones bien definidas.

La potencia instalada en la fábrica es de 2130 HP, la cual está constituida en su mayor parte por motores de inducción trifásicos a jaula de ardilla.

En términos generales, las funciones que se realizan en cada una de ellas se pueden describir de la siguiente manera:

1.1.- PREPARACION E HILATURA.

En esta sección, se inicia el proceso con la apertura, batido y limpieza de las pacas de algodón, a través de grupos de abridoras y trenes de batanes, en las cuales se efectúa la preparación del material para el hilado. Estas máquinas son accionadas por grupos de motores pequeños de inducción a jaula de ardilla de baja velocidad (inferior a 1.800 RPM).

Luego el proceso continúa a través de un

numeroso grupo de cardas en las cuales se realiza el cardaje.

A continuación, el material pasa por los siguientes grupos de máquinas: manuales, peinadoras, reunidoras, estirajes y mercheras; obteniéndose en estas últimas, las bobinas de paxilo.

El accionamiento de las máquinas citadas se realiza con pequeños motores de inducción de baja velocidad, los cuales se adaptan fácilmente a las exigencias y a las diferentes funciones de las máquinas, tales como rápidas paradas y rápidas puestas en marcha.

Finalmente, las bobinas de paxilo son colocadas en las contínuas de hilar, bobinadoras y contínuas de retorcer (torcedoras), en donde se forman los conos de hilos. El material obtenido así, se encuentra listo para ser sometido al engomado y tisaje en la siguiente sección.

Las contínuas de hilar y de retorcer (torcedoras) son accionadas individualmente por motores trifásicos de colector, de característica shunt, provistos de un regulador de hilado que le permite realizar cambios de velocidad independientemente de la variación de la carga de la máquina y de la tensión de alimentación. Estos motores funcionan con regulación de velocidad contínua (no escalonada).

La sección está provista de instalaciones de acondicionamiento de aire, constituida por climatizadoras que son accionadas por grupos de dos motores pequeños de inducción de baja velocidad.

Las condiciones de trabajo de la maquinaria utilizada en esta sección, son más o menos similares, ya que funcionan las 24 horas del día, excepción hecha de los días feriados.

Esta sección tiene una potencia instalada de 1010 H.P., compuesta por 145 motores.

#### 1.2.- URDIDUMBRE Y TEJEDURIA.

En esta sección el proceso continúa en dos fases distintas: preparación o urdido, y tisaje.

La preparación se realiza en Urdidumbre a través de grupos de canilladoras, urdidoras y engomadoras, donde finalmente el material recibe una inmersión de goma para luego ser secado.

A continuación, el material pasa a Tejeduría constituida por unos 250 telares, en los cuales se forman los tejidos en diversidad de tipos; éstos son crudos y deben someterse a su descrude y acabado en la siguiente sección.

La mayor parte de la maquinaria utilizada en esta sección, es accionada individualmente por motores pequeños de inducción a jaula de ardilla de baja velocidad (canilladoras, urdidoras, telares, etc.). Los telares, por ejemplo utilizan motores de este tipo de 1,25 a 2 H.P.

En lo que se refiere a las condiciones de trabajo de la maquinaria utilizada y a las instalaciones de acondicionamiento de aire que existen, éstas son de características similares a las anotadas en Hilatura.

La sección tiene una potencia instalada de 415 H.P., constituida por unos 300 motores.

Cabe mencionar que las máquinas de las dos secciones anotadas, se encuentran muy próximas una de otra, con el fin de aprovechar al máximo el espacio dis-

ponible.

### 1.3.- TINTORERIA.

Las telas crudas obtenidas en Tejeduría, son sometidas en esta sección a su descrude, blanqueo y tinturación.

A diferencia de las dos secciones anteriores, la maquinaria utilizada en esta sala es de gran variedad y funciona con una diversidad de velocidades y condiciones de trabajo. Normalmente funcionan de 20 a 24 horas diarias.

En esta sección el proceso continúa a través de la tundidora, chamuscadora y equipo Kier, en las cuales se efectúa el descrude del tejido.

Luego, el material recibe el blanqueo y mercerización por medio de las blanqueadoras, calandras, secadoras de tambor y mercerizadora. A continuación, el tejido es tinturado mediante grupos de giggers y foulards.

Las bobinas de hilo que necesitan ser tinturadas antes del tisaje, son preparadas por medio del equipo thies.

Una vez efectuada la tinturación el tejido pasa por una ramasecadora grande, en donde es sometido al secado. Luego, prosigue la sanforización y calandrado a través de la evátizadora y calandria.

Finalmente el tejido pasa a las vareadoras y dobladoras, en las cuales se obtiene el producto acabado, listo para salir al mercado.

En lo que se refiere al equipo eléctrico de accionamiento, la mayor parte de la maquinaria utilizada en esta sección, es accionada por grupos de motores pequeños de inducción a jaula de ardilla de baja velocidad, y

en pocos casos por motores individuales de las mismas características (giggers, foulards, etc.).

En esta sección merecen atención especial, la rama secadora grande y el equipo thies. La primera es accionada por 27 motores pequeños de inducción de variada potencia y por seis motores de corriente continua, los cuales son alimentados por un grupo motor convertidor de 54 H.P. El equipo thies utiliza motores de inducción de una variedad de potencia y entre éstos, los de mayor capacidad dentro de la fábrica: 2 motores de 60 H.P., uno de alta velocidad (3.555 R.P.M.).

La sección tiene una potencia instalada de 605 H.P., compuesta por unos 120 motores.

Además de las secciones descritas, existen una sala de calderos y una estación de bombeo que se describen brevemente a continuación:

#### 1.4.- SALA DE CALDEROS.

A un costado de la sección Tintorería se halla ubicada la sala de calderos, que proporciona el vapor y agua caliente necesarios para los diferentes procesos de fabricación.

El equipo eléctrico de accionamiento de esta instalación, se compone de motores de inducción a jaula de ardilla de alta y baja velocidad y de una variedad de potencias.

#### 1.5.- ESTACION DE BOMBEO.

Esta instalación, que se encuentra ubicada junto a la sección Hilatura, proporciona el agua neces-

ria para el establecimiento. El equipo de bombeo es accionado individualmente por medio de motores de inducción de alta velocidad (25 H.P.).

La disposición general de las secciones de la fábrica puede observarse en el plano que se adjunta a esta descripción.

## 2.- DESCRIPCION Y ANALISIS GENERAL DEL SISTEMA ELECTRICO

En esta descripción, se mencionarán también los problemas eléctricos que afectan al factor de potencia de la instalación.

El sistema está constituido por los siguientes elementos:

- 1- Central térmica.
- 2- Acometida de la Empresa Eléctrica Quito y tableros de control.
- 3- Distribución primaria.
- 4- Subestaciones reductoras, y
- 5- Distribución secundaria.

### 2.1.- CENTRAL TERMICA.

Además de las construcciones que alojan las secciones descritas, existe una casa de máquinas en la cual están instalados cuatro grupos electrógenos a diesel, cuyas características se anotan a continuación:

GRUPO	MOTOR		ALTERNADOR		EXCITATRIZ		
	Potencia H.P.	Veloc. R.P.M.	Potencia KVA	cos $\phi$	Voltaje V	Potencia KW	Voltaje V
1a Fair- banks Morse	450	1.750	273	0,75	4.160	7,5	125
2a. Idem.	"	"	"	"	"	"	"
3a. Cater- pill.	426	1.200	438	0,80	240/480	5,0	125
4a. Lister Blacks tone	634	720	515	0,80	220	5,1	97,5

Los dos primeros grupos han sido instalados en 1.953 y posteriormente el tercero y cuarto, en los años 1956 y 1960, respectivamente.

Cada grupo dispone de un tablero de maniobra y control, provisto de un interruptor automático con protección termomagnética y de los instrumentos de medición necesarios, como puede observarse en el diagrama eléctrico unifilar de la instalación.

Para la sincronización de los grupos existe un tablero colgante de sincronización.

Los grupos tercero y cuarto, que generan a baja tensión, tienen transformadores de elevación a 4,16 KV, tensión a la que se sincronizan con las unidades 1a. y 2a.

Actualmente, la fábrica recibe la energía de la Empresa Eléctrica Quito, S.A., tanto para alumbrado como para fuerza, razón por la cual los grupos eléctricos se han dejado como unidades de emergencia.

La acometida de la Empresa Eléctrica llega a la central para alimentar a un juego de barras de 4,16 KV, que se sincroniza con las barras colectoras de los

cos.

Existen dos tableros para la acometida: un tablero de maniobra y control provisto del interruptor automático de sincronización, seccionadores y medidores de energía de la Empresa (incluyendo un medidor de KVARH), y un tablero de control provisto de un kilovatímetro, voltímetro y medidor de factor de potencia.

La Empresa Eléctrica ha instalado en 1964, un medidor<sup>de</sup> energía reactiva KVAR-H con el objeto de determinar el factor de potencia promedio para establecer el porcentaje de recargo adicional por bajo factor de potencia en la planilla de energía.

### 2.3.- DISTRIBUCION PRIMARIA.

Está constituida por cinco circuitos de 4,16 KV, que alimentan a tres subestaciones reductoras, como puede observarse en el diagrama unifilar del sistema.

Los circuitos se derivan de las barras colectoras de los generadores; dos de ellos (1a y 2) a través de un tablero de mando y control común, provisto de un interruptor automático con protección termomagnética, seccionadores y aparatos de medición.

Los circuitos restantes (1b, 1c y 3) se derivan a través de fusibles desconectadores o de fusibles solamente, y van en cables armados o con cubierta termoplástica.

### 24.- SUBESTACIONES REDUCTORAS.

La reducción de la tensión primaria (4,16 KV) a la tensión de servicio, 220 V, se efectúa por medio de tres subestaciones, cuya capacidad total instalada en trans-

tección térmica. Desde estas barras salen tanto los circuitos secundarios que distribuyen la energía a los tableros de distribución de las salas como los circuitos que sirven directamente a las máquinas.

Como las condiciones de trabajo de la sección alimentada por esta subestación son de una gran variedad, de acuerdo con las necesidades de la fábrica, la carga del sistema varía de un período a otro e igual cosa sucede con su factor de potencia, como se podrá apreciar de las curvas de carga y factor de potencia indicadas más adelante. (Ver Capítulo VI).

La carga máxima obtenida en el período de mediciones efectuadas para este trabajo, alcanzó el 60% de la capacidad nominal de los transformadores, la cual en su mayor parte está compuesta por motores de inducción a jaula de ardilla de una variedad de velocidades y potencias (0,6 a 60 H.P.), que se encuentran operando con bajo factor de potencia.

La carga del sistema de alumbrado está constituida por lámparas fluorescentes e incandescentes.

### c) SUBESTACION No. 3.

La subestación No. 3 está instalada a la intemperie, junto a la estación de bombeo, a la cual sirve.

Tiene en servicio dos transformadores trifásicos de 60 KVA cada uno conectados en paralelo (T3A - T3B), que sirven para fuerza y alumbrado.

La alimentación en alta tensión la recibe por medio de un circuito primario proveniente de la central térmica, y el lado de baja del sistema alimenta a barras colectoras a través de un interruptor manual pro-

visto de fusibles.

Desde estas barras se sirve a las instalaciones de bombeo de agua y a un taller contiguo a la sección Hilatura por medio de circuitos secundarios directos.

A diferencia de las subestaciones anteriores, la carga de este sistema en su mayor parte está constituida por motores de inducción de alta velocidad, que trabajan con factores de potencia elevados en relación con los de baja velocidad.

Es ésta la razón, por la cual el sistema está operando con una carga con factor de potencia aceptable.

Los sistemas de las subestaciones Nos. 1 y 2 operan normalmente las 24 horas del día con excepción de los fines de semana; mientras que el sistema de la subestación No. 3 no tiene un período de trabajo definido, sino que funciona de acuerdo con las necesidades de la fábrica.

## 2.5.- DISTRIBUCION SECUNDARIA.

La distribución secundaria se efectúa desde las barras colectoras de baja tensión de los transformadores hacia los tableros de distribución, localizados en las diferentes secciones, por medio de cables tripolares armados o con cubierta termoplástica.

En general, la distribución hacia las máquinas continúa por medio de cables tripolares, que se derivan de los tableros de distribución, a través de interruptores manuales provistos de fusibles. Estos circuitos a su vez se subdividen en varios ramales que van a alimen-

tar a una máquina o grupo de máquinas.

En la instalación de bombeo, la alimentación a las máquinas se efectúa directamente desde las barras de baja tensión de la Subestación No. 3, por medio de cables tripolares con cubierta termoplástica.

Los accesorios eléctricos de los motores de accionamiento de la maquinaria textil, es decir los mecanismos de mando y protección, se componen en términos generales de cajas de mando electromagnético y de interruptores provistos de desconectores térmicos.

Esto, en lo que se refiere a la distribución secundaria de los sistemas de fuerza. Con respecto a los sistemas de alumbrados, que son independientes de los de fuerza, en las subestaciones Nos. 1 y 2, la distribución secundaria se efectúa a través de numerosos circuitos protegidos por un interruptor general provisto de fusibles tipo cartucho.

A esta breve descripción y análisis del sistema, se adjunta un diagrama eléctrico unifilar y un esquema de la disposición de los principales elementos que componen el sistema eléctrico actual de la fábrica.

## 2.6.- COMENTARIOS.

De lo expuesto en esta descripción, se pueden hacer las siguientes comentarios:

- 1.- En todas las secciones y demás instalaciones de la fábrica, con excepción de la instalación de bombeo, la carga está constituida en su mayor parte por motores de inducción a jaula de ardilla de baja velo-

cidad, razón por la cual tienen un factor de potencia bajo.

La instalación de bombeo en cambio tiene una carga con factor de potencia aceptable, porque está compuesta por motores de inducción de alta velocidad, los cuales trabajan con mejor factor de potencia.

- 2.- En términos generales, los motores de accionamiento están trabajando con cargas inferiores a las nominales.
- 3.- El sistema de alumbrado de toda la fábrica está constituido principalmente por lámparas fluorescentes, que son otra fuente de factor de potencia bajo.
- 4.- Debido a las características de la carga anotadas, el factor de potencia resultante de la instalación total es bastante bajo como se verá más adelante; éste varía entre 0,50 y 0,65.

Como este valor es muy inferior al indicado en la cláusula de bajo factor de potencia establecida por la Empresa Eléctrica Quito (ver Capítulo I) que tarde o temprano entrará en vigencia, la fábrica deberá pagar un porcentaje de recargo adicional en su planilla de energía.

De acuerdo con la fórmula especificada, el porcentaje de recargo adicional en la planilla, considerando un factor de potencia promedio de 0,60, será el siguiente:

$$\begin{aligned} \% \text{ Recargo} &= \frac{100}{3} \left( \frac{0,80}{0,60} - 0,6 \right) \\ &= 24,3 \% \end{aligned}$$

Ahora, puesto que las planillas mensuales de la fábrica por concepto de energía, son del orden de los \$ 100.000 (sucres) aproximadamente, el porcentaje de recargo equivalente será de \$ 24.300, que tendrá que abonar la fábrica tarde o temprano, cuando se haga efectiva la cláusula mencionada.

Es decir que en este caso, corrigiendo el factor de potencia de la instalación, se evitará el pago del recargo en la planilla mensual, obteniéndose de esta manera un ahorro permanente en la planilla, luego de amortizar rápidamente el costo del equipo de corrección.

Por otro lado, para el caso de que la fábrica se vea obligada a generar su propia energía con el factor de potencia actual, la potencia disponible (1499 KVA nominales) alcanza a satisfacer estrechamente las necesidades (carga promedio 1200KVA) haciendo funcionar todas las unidades a plena carga. En este caso, con la corrección del factor de potencia se evitaría el funcionamiento de una de las unidades (una de 273 KVA) ya que se aumentará la potencia disponible.

De las consideraciones anteriores, se deduce que la corrección del factor de potencia de la fábrica se justifica plenamente, ya sea que reciba energía de la Empresa Eléctrica Quito, que genere su propia energía, o se combinen las dos fuentes.

Se justifica plenamente, porque además de la ventaja económica que representa en los dos casos, la corrección trae consigo beneficios adicionales muy importantes, como son: liberación de carga o KVA, mejora de voltaje y reducción de las pérdidas en el sistema.

## ELECCION DEL METODO DE CORRECCION MAS CONVENIENTE

Una vez que se han analizado los medios disponibles para mejorar el factor de potencia de un sistema (Capítulo II), veremos cuál de éstos resulta el más conveniente para nuestro caso particular.

### 1.- MEDIDAS PREVENTIVAS

Estas medidas de mejoramiento son bastante efectivas cuando se trata de proyectar una instalación nueva o la ampliación de las instalaciones existentes.

La prevención para nuestro caso, sería probablemente la selección y aplicación adecuada de los motores disponibles en la fábrica, de manera que trabajen con su capacidad muy cerca de la nominal.

Esto implicaría tener un conocimiento exacto de las condiciones de trabajo de toda la maquinaria textil del establecimiento, cosa que se apartaría del objeto de este estudio, y además sería necesario determinar el término medio de la carga y sus variaciones para cada motor, que se obtendrían después de realizar numerosas pruebas, ensayos y registros, que llevan mucho tiempo, dinero y requieren de aparatos de medida apropiados (analizadores de carga y registradores gráficos).

Por otra parte, la sustitución de varios de los motores existentes por otros que desarrollen el mismo trabajo, pero con un factor de potencia mejor como medio preventivo, no se justificaría económicamente, ya que el grado de mejoramiento obtenido en la instalación general no compensaría los gastos adicionales, ya que de todas ma-

neras habría que instalar otros equipos de corrección.

De acuerdo con estas consideraciones y teniendo en cuenta que se trata de una instalación existente, se deduce que este medio de corrección no es el más conveniente para la fábrica.

Desde luego, estas medidas deben considerarse cuando se vayan a ampliar las instalaciones existentes.

## 2.- MEDIDAS COMPENSATIVAS

Las medidas compensativas para este caso se reducen a la aplicación de máquinas sincrónicas o condensadores estáticos.

### 2.1.- MAQUINAS SINCRONICAS.

En ciertos casos, la aplicación de las máquinas sincrónicas con doble propósito: uno de accionar una carga mecánica, y otro, de mejorar el factor de potencia, es la mejor solución del problema. En nuestro caso, no sería favorable esta aplicación porque no existen grandes cargas mecánicas que puedan ser accionadas por motores sincrónicos.

La aplicación de un condensador sincrónico se justifica solamente cuando su amortización y gastos de mantenimiento son considerablemente inferiores al aumento de costo del Kwh producido por el reducido valor del factor de potencia, como sería en el caso de una línea de transmisión de gran longitud.

Además, los condensadores sincrónicos presentan las siguientes desventajas en relación con los

condensadores estáticos:

- 1- Su instalación es complicada y costosa.
- 2- Tienen mayores gastos de operación y mantenimiento ya que son máquinas rotativas.
- 3- Necesitan de fundaciones más costosas.
- 4- Tienen mayores pérdidas.
- 5- Su potencia económica mínima es 15.000 KVAR.
- 6- Añaden al sistema corrientes de cortocircuito que aumentan la capacidad de los interruptores requeridos.
- 7- Necesitan de un relé adecuado para su protección contra fallas internas.
- 8- Requieren de interruptores y relés para su protección contra fallas externas.
- 9- Desde el punto de vista económico no es conveniente localizarlos en puntos cercanos a la carga, cuando se trata de condensadores sincrónicos de pequeña potencia.
- 10- El costo por KVAR obtenido de las máquinas rotativas, es mayor.
- 11- En general, la instalación es demasiado costosa para justificar su utilización solamente con el fin de corregir el factor de potencia.

Como puede deducirse de las desventajas anotadas, la aplicación de condensadores sincrónicos no es la mejor solución para nuestro problema, ni se justifica económicamente.

Conviene también analizar la posibilidad de utilizar las máquinas sincrónicas disponibles en la fábrica como medio de compensación.

Las máquinas sincrónicas existentes en la fábrica son los cuatro generadores diesel-eléctricos.

Uno de estos generadores podría funcionar como condensador sincrónico, solamente con el fin de suministrar potencia reactiva capacitiva al sistema, sobre-excitando su campo de corriente continua.

El funcionamiento del grupo como generador de potencia reactiva implicaría gastos de mantenimiento y operación, lo cual no ocurriría en el caso de emplear condensadores estáticos, ya que éstos necesitan muy poco o casi ningún mantenimiento.

Por otra parte, como los generadores constituyen unidades de emergencia, en el caso de ocurrir una suspensión del servicio eléctrico de la Empresa, todos los generadores deben operar normalmente para suministrar la energía requerida por la fábrica, ya que de otro modo se pararían las máquinas y por consiguiente la producción.

Este solo hecho descarta la posibilidad de utilizar una de las máquinas disponibles en la fábrica.

En resumen, de todas estas consideraciones indicadas se deduce que la aplicación de las máquinas sincrónicas no es la más conveniente para esta fábrica.

## 2.2.- CONDENSADORES ESTATICOS.

La aplicación de condensadores estáticos para corregir el factor de potencia presenta las siguientes ventajas con respecto a los condensadores sincrónicos:

- 1- Son fáciles de instalar y tienen gran seguridad de servicio y duración.

- 2- Los condensadores son estáticos de manera que casi no requieren mantenimiento, solamente debe hacerse inspecciones visuales y ocasionales de los fusibles que se instalan con el fin de proteger a los condensadores.
- 3- Como no tienen gastos de mantenimiento se amortizan más rápidamente que otros equipos.
- 4- A pesar del pequeño mantenimiento a que son sometidos no disminuye su eficacia y sus pérdidas son muy pequeñas.
- 5- Como no ocupan mucho espacio, pueden localizarse en puntos convenientes del sistema que permita aprovechar al factor de diversidad de la carga.
- 6- Pueden conectarse en puntos cercanos a la carga inductiva, con lo cual eliminan la corriente reactiva atrasada de los sistemas de distribución, de manera que liberan capacidad del sistema para futuras ampliaciones.
- 7- Como no producen vibración, no requieren fundación costosa.
- 8- Se construyen de diferentes potencias que permite obtener fácilmente la potencia requerida.
- 9- El aumento de temperatura bajo condiciones normales de funcionamiento no excede del 15<sup>o</sup> C.
- 10- La potencia reactiva de los condensadores puede aumentarse o disminuirse fácilmente según los requerimientos de la carga del sistema, por medio de la conmutación automática.
- 11- Los medios de control automático de los condensadores si es que se requieren, son bastante sencillos.

- 12- El bajo costo de su instalación hace más económica su aplicación.
- 13- Su protección contra fallas internas es muy simple: por medio de un fusible individual.
- 14- Prácticamente no requiere protección contra fallas externas.

Desde luego, la aplicación de los condensadores tiene pequeñas desventajas que felizmente se pueden solucionar con medios adecuados. Tales desventajas serían:

- 1- Los condensadores tienen una capacidad fija que depende de la tensión y frecuencia del sistema, de manera que cuando existen amplias fluctuaciones de carga reactiva o voltaje, es necesario procurar la regulación automática de la capacidad conectada por medio de relés adecuados.
- 2- Si los condensadores son desconectados de la línea, éstos retienen una carga que depende del voltaje aplicado y como esta carga es mantenida por un tiempo largo, es necesario prever algún medio de descarga del condensador para eliminar el peligro al personal. Por esta razón los condensadores modernos se construyen con una resistencia interna de descarga conectada en paralelo con sus terminales, diseñada para reducir el voltaje a 50 V aproximadamente en un tiempo especificado.

De acuerdo con las normas NEC los condensadores para 600 voltios o menos deben descargarse en 1 minuto, y los condensadores para más de 600 voltios en 5 minutos.

En resumen la aplicación de los condensadores presentan numerosas ventajas y muy pocas desventajas, aunque éstas últimas se solucionan fácilmente.

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA BAJO LAS  
CONDICIONES ELECTRICAS ACTUALES

Una vez que se ha elegido el medio de compensación adecuado para la instalación, el próximo paso a seguirse es determinar la ubicación del equipo en el sistema de manera que se obtenga el mínimo costo.

Decidido el sitio de compensación, es necesario determinar la potencia reactiva capacitiva requerida en dicha parte del sistema para corregir el factor de potencia a un valor conveniente.

1.- UBICACION DEL EQUIPO DE CORRECCION.

Teóricamente, como se indicó en la primera parte de este trabajo, (Capítulo II) se obtienen los máximos beneficios cuando los condensadores son instalados junto a cada carga. Sin embargo, tal localización no siempre resulta práctica y económica, como veremos más adelante.

Como en este caso, uno de los propósitos más importante a conseguirse con la corrección del factor de potencia, es evitar el recargo en la planilla de energía que tendrá que abonar la fábrica tarde o temprano, cuando se haga efectiva la cláusula de bajo factor de potencia, los condensadores pueden instalarse en cualquier parte del sistema anterior a los contadores de energía, consultando desde luego la ubicación más conveniente económicamente.

Existen cuatro sitios alternativos en los que se pueden instalar los condensadores:

1- En los terminales de cada motor.

- 2- En cada uno de los alimentadores secundarios principales.
- 3- En el lado secundario de los transformadores.
- 4- En las barras generales de alta tensión a 4.160 V.

La ubicación de los condensadores para estas alternativas se puede observar en el diagrama unifilar del sistema.

A continuación analizaremos brevemente las ventajas y desventajas que presenta cada ubicación, para luego elegir la más conveniente.

#### 1.1.- EN LOS TERMINALES DE CADA MOTOR.

La aplicación de los condensadores en los terminales de cada motor de inducción presente los siguientes beneficios:

- 1- Reduce la planilla de energía.
- 2- Reduce las pérdidas en los alimentadores individuales de los motores.
- 3- Reduce las pérdidas en los transformadores de reducción.
- 4- Mejora la regulación de voltaje en los alimentadores de los motores.
- 5- Libera capacidad o potencia en los alimentadores de los motores, alimentadores secundarios principales, alimentadores primarios y en los transformadores.

Todos estos beneficios se derivan de la reducción de la corriente reactiva en los sistemas de distribución debido a la instalación de los condensadores.

Aparte de estos beneficios, la corrección de los motores individuales presenta las siguientes condiciones favorables:

- a) Los condensadores no requieren de control automático ya que son conectados o desconectados del sistema juntamente con el motor, es decir que los condensadores son conectados solamente cuando son necesarios, de manera que reducen a un mínimo el aumento del voltaje durante los períodos de baja carga.
- b) Se permite flexibilidad para reacondicionamientos futuros en la fábrica.

Cuando la fábrica requiera una reedistribución del equipo, el condensador y motor pueden ser movilizadas juntos, asegurando de esta manera una adecuada corrección del factor de potencia del motor en cualquier localización.

Frente a todas estas ventajas, la corrección del factor de potencia de los motores individuales presenta también las siguientes consideraciones desfavorables:

- 1- Como la fábrica dispone de un gran número de motores pequeños de una variedad de potencias, que van desde 1 HP hasta 60 HP, no resultaría económico obtener la potencia reactiva requerida por cada uno de los motores, ya que los condensadores son fabricados generalmente para potencias normalizadas.
- 2- Los condensadores no son plenamente utilizados.

Esta condición se presenta realmente porque no todos los motores operan a un mismo tiempo, de manera especial en la sección Tintorería la cual tiene una carga muy variable. Dicho en otras palabras, no se aprovecha del factor de diversidad de los motores instalados, de manera que con esta aplicación se re-

quiere de mayor potencia en condensadores que para el caso de agrupar los condensadores en conjuntos centralizados.

- 3- La corrección del factor de potencia de los motores individuales tiene la limitación de mejorar solamente la carga del motor, de manera que si es necesario una corrección adicional para la fábrica, del sistema de alumbrado por ejemplo, los condensadores adicionales requeridos no pueden ser conmutados con los motores.
- 4- El costo de los condensadores para baja tensión es más de dos veces que el de los condensadores para alta tensión.

Es decir que desde el punto de vista económico no resulta conveniente la corrección del factor de potencia de los motores individuales.

También debe considerarse la posibilidad de corregir en los motores grandes o en grupos de motores que trabajan al mismo régimen, ya que el control puede ser más efectivo y barato que en el caso de agrupar los condensadores en conjuntos centralizados, siempre que estos últimos requieran control automático.

Sin embargo, como se verá más adelante, a pesar de que siempre es conveniente adaptar un control automático para la conmutación de los bancos de condensadores requeridos, lo cual aumenta el costo de la corrección, de todas maneras en este caso particular, en el cual los motores grandes disponibles o grupos de motores que trabajan al mismo régimen no operan continuamente (en Tintorería), será más favorable corregir con bancos centralizados antes que individualmente, porque la primera aplicación aprovecha la ventaja del factor de diversidad de los motores.

Por ejemplo, si solamente funciona el 50% de la carga total, entonces sólo se necesitará un banco de condensadores igual en potencia a la mitad que se necesitaría si el factor de diversidad fuera igual a 1. De ahí la importancia de tener en cuenta este factor.

Por otra parte, a pesar de que los condensadores ocupan pequeño espacio, no sería conveniente la corrección individual porque las máquinas de las secciones Hilatura y Tejeduría se encuentran muy próximas una de otra aprovechando al máximo el espacio disponible, de manera que al instalar los condensadores en el piso, habría la posibilidad de que el personal que opera las máquinas estuviese expuesto a contactos ocasionales y accidentales.

Esto en cuanto se refiere al sistema de fuerza. Con respecto al sistema de alumbrado fluorescente, - prácticamente será más conveniente una corrección centralizada para todo el sistema.

De acuerdo con todas estas consideraciones, se concluye que la corrección individual en los motores o en grupos de motores no es la más favorable para esta fábrica y por tanto debe descartarse.

#### 1.2.- EN LOS ALIMENTADORES SECUNDARIOS PRINCIPALES.

Esta aplicación presenta los siguientes beneficios:

- 1- Reduce la planilla de energía.
- 2- Reduce las pérdidas, mejora el voltaje, y libera capacidad en los transformadores y alimentadores primarios.
- 3- Aprovecha la ventaja del factor de diversidad de la

carga.

Frente a estos beneficios, la corrección en cada uno de los alimentadores presenta las siguientes consideraciones desfavorables:

- 1- Debido al gran número de alimentadores existentes, aproximadamente unos 30 con excepción de los de alumbrado, se requiere igual número de equipos de corrección, lo cual no es conveniente desde el punto de vista económico.
- 2- No se aprovecha del factor de diversidad de cada uno de los alimentadores.
- 3- Su realización presenta dificultades debido a la poca accesibilidad de llegar a varios de los alimentadores que se derivan de las barras generales de baja tensión. Además no existe mucho espacio disponible en las subestaciones como para instalar un equipo de condensadores para cada alimentador.
- 4- El costo de los condensadores para baja tensión es un poco más del doble que el de los condensadores para alta tensión.

De las consideraciones anteriores, se puede deducir que la corrección en cada uno de los alimentadores no es la más conveniente para la fábrica bajo el punto de vista económico, y por tanto debe descartarse.

Descartados los dos primeros sitios de compensación, nos quedan solamente dos alternativas: la una, en el lado secundario de los transformadores, y la otra, en las barras generales de alta tensión a 4.160 voltios.

Cualesquiera de estas dos alternativas es posible realizarla, siendo los factores puramente económicos los que determinarán la alternativa más favorable.

### 1.3.- EN EL ESTADO SECUNDARIO DE LOS TRANSFORMADORES.

Esta aplicación presenta prácticamente los mismos beneficios anotados para el caso anterior, es decir:

- 1- Reduce la planilla de energía.
- 2- Reduce las pérdidas, mejora el voltaje, y libera potencia aparente o KVA en los transformadores y alimentadores primarios.
- 3- Aprovecha la ventaja del factor de diversidad de la carga.

Frente a estos beneficios, la corrección en baja tensión presenta las siguientes condiciones desfavorables:

- 1- Los condensadores para baja tensión cuestan más que el doble que los de alta tensión.
- 2- No hay suficiente espacio disponible en las subestaciones que permita una adecuada instalación de los equipos de condensadores, a pesar de que ocupan pequeño espacio.

### 1.4.- EN LAS BARRAS GENERALES DE ALTA TENSION.

La corrección en las barras de alta tensión presenta los siguientes beneficios:

- 1- Reduce la planilla de energía (cuando existe una cláusula de bajo factor de potencia ).
- 2- Puede resultar más económica debido al bajo costo de las unidades para 4.160 voltios, como veremos más adelante.

Aparte de estos beneficios hay algunas condiciones particulares que favorecen esta aplicación:

- a) Existe un banco de condensadores (195 KVAR) conectado a las barras generales de alta tensión, de acuerdo como se ha indicado en la descripción del sistema.
- b) Su realización no presenta dificultades ya que existe suficiente espacio para instalar el equipo, en la parte posterior de los tableros de control generales.
- c) Como existe personal de servicio permanente en la casa de máquinas, en la cual se encuentran los tableros de control general, se facilita la inspección del equipo en cualquier momento.

Las condiciones desfavorables que se tienen con esta alternativa serán las siguientes:

- 1- No se reduce las pérdidas en todo el sistema de la planta.
- 2- No se libera potencia aparente o KVA en todos los circuitos de distribución y en los transformadores reductores.

Como puede deducirse de los beneficios que se obtienen con estas dos alternativas, la corrección en el lado secundario de los transformadores (que en adelante le llamaremos corrección en baja tensión) presenta mayores ventajas que para el caso de corregir en alta tensión, como es por ejemplo la liberación de carga o KVA en los transformadores, que permitirá añadir una carga adicional para futuras ampliaciones. Sin embargo, desde el punto de vista económico puede ser más favorable la corrección en alta tensión debido al bajo costo de las unidades para esta tensión (4.160 voltios).

Ya que se ha insistido en que el factor eco-

nómico determinará la alternativa más favorable, conviene entonces hacer un análisis económico entre estas últimas alternativas, para lo cual es necesario conocer la magnitud de la potencia reactiva capacitiva y el método de control adecuado que se requiere en los dos casos, porque son los elementos que inciden mayormente en el costo total de la instalación. Obtenidos estos datos se puede llegar a una conclusión final sobre la alternativa más favorable, que se ajuste mejor a la realidad.

Con este objeto, en lo que sigue se analizarán las necesidades para el uno y otro caso.

## 2.- MEDIDAS REALIZADAS

Para determinar la potencia reactiva capacitiva requerida en los dos casos, es necesario conocer las variaciones de la carga y su factor de potencia en el lado secundario de cada uno de los sistemas de transformación existentes (ya que no operan en paralelo) y en el sistema primario, para luego proceder al cálculo de los KVAR requeridos para la corrección.

Con este objeto se realizaron mediciones de corriente, voltaje y factor de potencia en el lado de baja de los transformadores, utilizando un volt-amperímetro de pinzas y un medidor de factor de potencia.

Ha sido factible el empleo de estos instrumentos de un solo elemento de medida, por cuanto los circuitos de fuerza y alumbrado se encuentran prácticamente equilibrados, lo cual se ha comprobado mediante lecturas periódicas en las tres fases. Esto se debe, para el caso del sistema de fuerza, a que la carga predominante de la fábrica está constituida por motores trifásicos.

De acuerdo con los valores obtenidos en diferentes períodos del año (enero y abril de 1964, y febrero de 1965) se ha deducido que la carga se mantiene aproximadamente constante en los sistemas que alimentan a Hilatura y Tejeduría (subestación No. 2, sistemas T1A y T1B de fuerza, y T1C de alumbrado), mientras que en los otros sistemas que alimentan a Tintorería y a la Estación de Bombeo, la carga es variable.

Las mediciones se han efectuado periódicamente con el intervalo de media y una hora durante varios días del mes de febrero de este año.

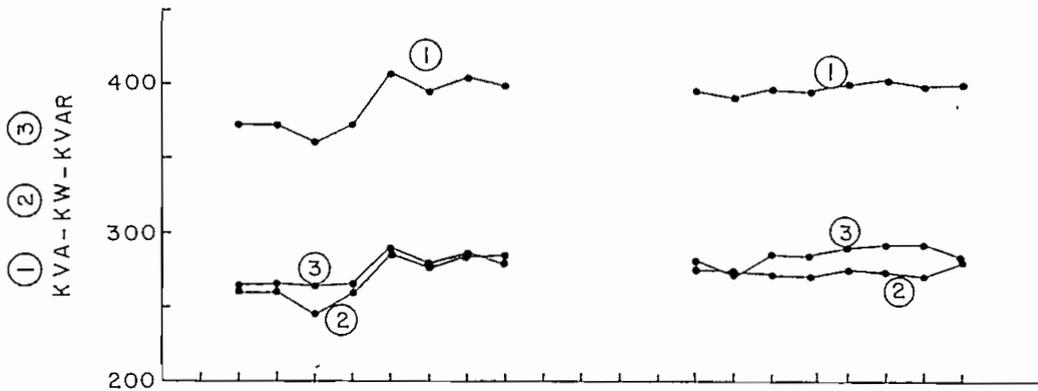
Para el caso de alta tensión, se pueden utilizar las lecturas de las variaciones de la carga (corriente), voltaje y factor de potencia obtenidas de los instrumentos existentes en el tablero de control general durante dos semanas sucesivas del mes de abril de 1964.

Las lecturas así obtenidas tanto en el sistema secundario como en el primario, se pueden emplear perfectamente como referencia para analizar los requerimientos en los dos sistemas, a pesar de que no se las ha tomado durante un mismo período, debido a que las instalaciones no han experimentado ninguna ampliación importante de un período al otro, y por tanto no se ha aumentado la carga.

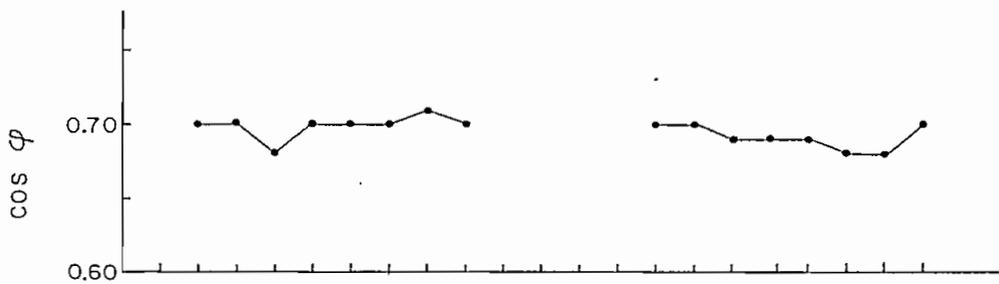
Al final de este trabajo se incluyen tablas con los valores de corriente; voltaje; potencias aparente, activa y reactiva, y del factor de potencia obtenidos para los dos sistemas baja-alta tensión (2) (Anexos Nos. 2 y 3), los cuales han servido de base para los cálculos de la corrección del factor de potencia.

En base a estos mismos valores se han graficado curvas de carga diaria y del factor de potencia correspondientes para los dos sistemas, como puede observarse en las figuras anexas (Fgrs. 38 a 44).

CURVAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA  
 MIERCOLES 24-FEBRERO-1965  
 SISTEMA T1A (PREPARACION-HILATURA)



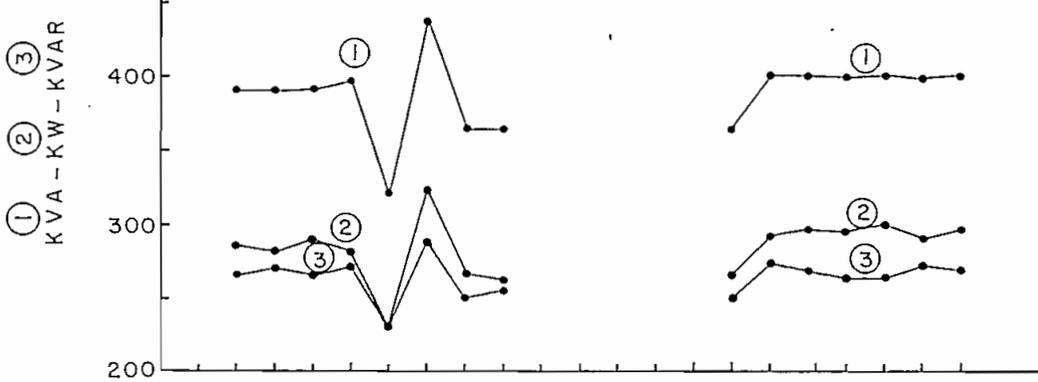
(a)



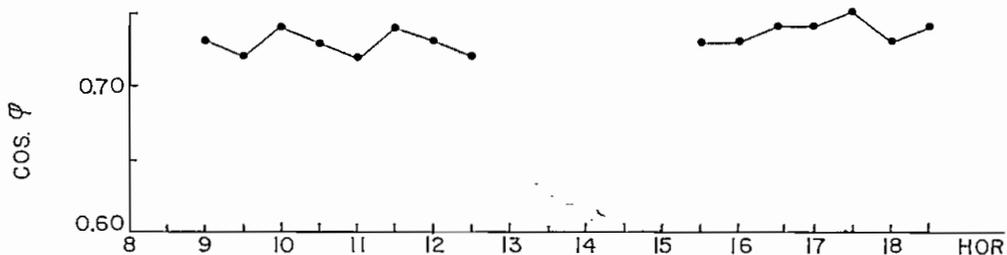
(b)

FIG. 38

SISTEMA T1B (PREPARACION-HILATURA)



(a)



(b)

FIG. 39

8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 HORAS

### 3.- CALCULO DE LA CORRECCION

La corrección del factor de potencia de una carga dada implica un cálculo muy simple para determinar la potencia reactiva a suministrarse con el equipo correctivo. Se calculan tanto la potencia reactiva actual como la correspondiente al factor de potencia deseado, y la diferencia entre los dos valores obtenidos, es la potencia reactiva requerida para la corrección.

En el presente caso, el cálculo se hará a la inversa, es decir que conocida la potencia reactiva actual requerida en el sistema, se consideran diferentes valores de potencia reactiva capacitiva a suministrarse con condensadores y luego se determina el factor de potencia final correspondiente. De esta manera, se puede elegir un factor de potencia adecuado, que no sea menor de 0,85 (límite especificado por la Empresa Eléctrica Quito) ni mayor de 0,95, ya que no es práctico corregir sobre este valor.

Para el cálculo se ha considerado una carga promedio en KW con su respectivo factor de potencia, obtenida durante uno de los días en los que se realizaron las medidas, y luego se estudiarán las variaciones del factor de potencia para los valores máximos y mínimos de carga registrados durante estos días, como puede verse a continuación.

La nomenclatura empleada para los cálculos tanto en el sistema secundario como en el primario, es la siguiente:

KVA a - potencia aparente actual.

KW a - potencia activa actual (promedio)

- KVAR a - potencia reactiva inductiva actual.  
 Cos  $\varphi$  a - factor de potencia actual (inductivo)  
 KVARc - potencia reactiva capacitiva suministrada en condensadores.  
 KVA f - potencia reactiva inductiva final (después de la corrección).  
 Cos  $\varphi$  f - factor de potencia final o corregido (inductivo)  
 KVA l - potencia aparente liberada en los transformadores.

### 3.1.- CORRECCION EN BAJA TENSION.

#### a) SUBESTACION No. 1

##### 1- SISTEMA T1A (HILATURA Y TEJEDURIA - FUERZA)

KVA	a -	373	373	373	373	373
KWa	-	261	261	261	261	261
KVAR	a -	266	266	266	266	266
Cos $\varphi$	a -	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
KVARc	-	60	90	120	150	180
KVARf	-	206	176	146	116	86
KVA f	-	332	315	298	285	275
Cos $\varphi$	f -	0,79	0,83	0,87	0,92	0,95
KVA l	-	51	58	75	88	98

De acuerdo con estos resultados, si consideramos una instalación de 150 KVAR en condensadores para este sistema, se obtendrá un factor de potencia inductivo de 0,92 y se liberará 88 KVA en los transformadores (Banco de tres monofásicos). En este caso, las variaciones del factor de potencia para los valores máximos y mínimos de carga registrados, serán las siguientes:

KVA	a -	407	407	343	312
KW	a -	293	285	243	215

CURVAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA  
 MIERCOLES 24 - FEBRERO - 1965  
 SISTEMA T1A (PREPARACION - HILATURA)

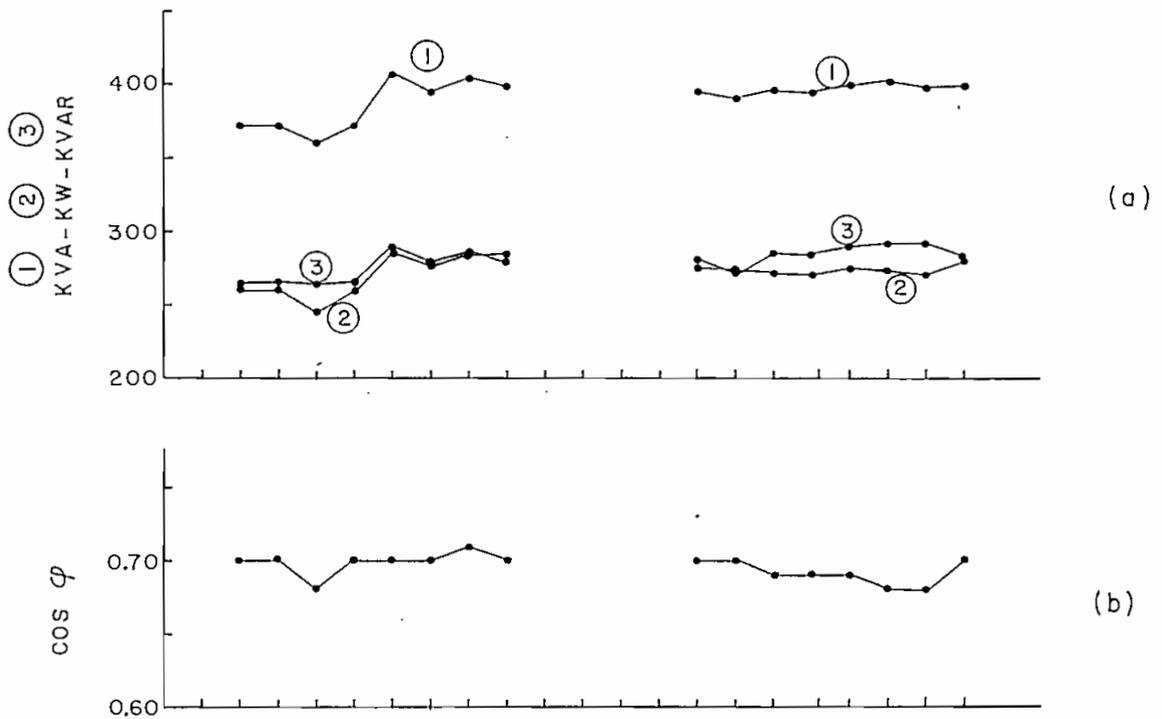


FIG. 38

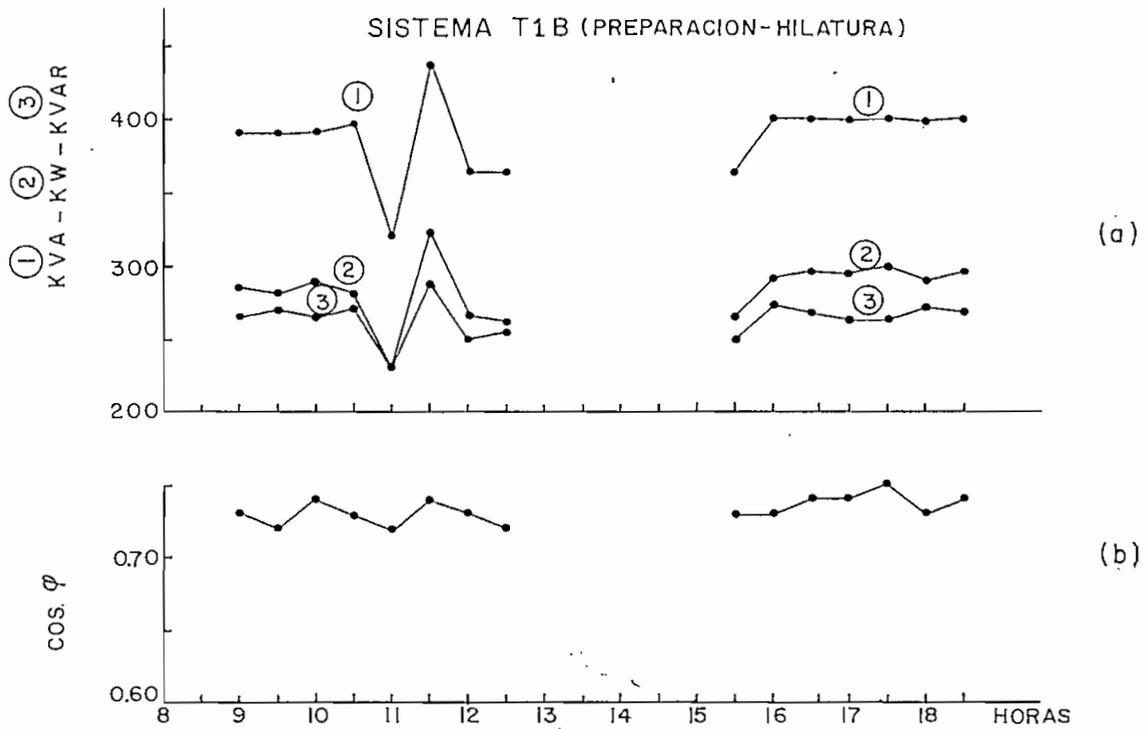
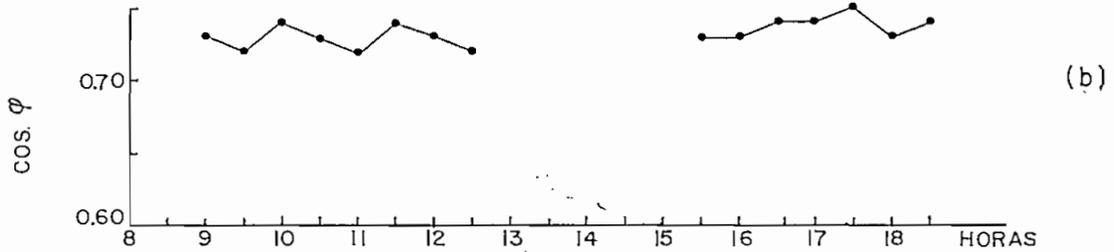


FIG. 39



CURVAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA  
 MIERCOLES 24 - FEBRERO - 1965

SISTEMA T1C (ALUMBRADO : PREPARACION - HILATURA)

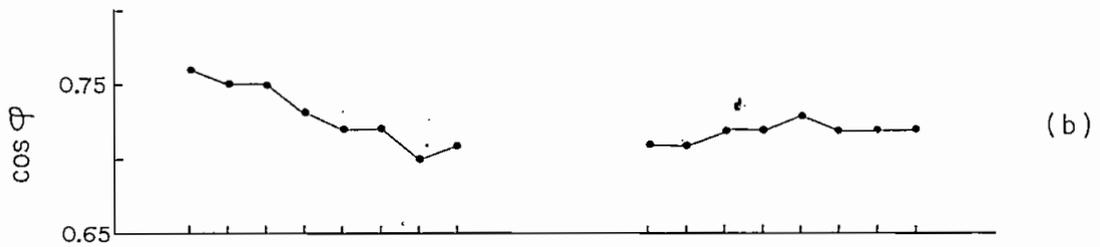
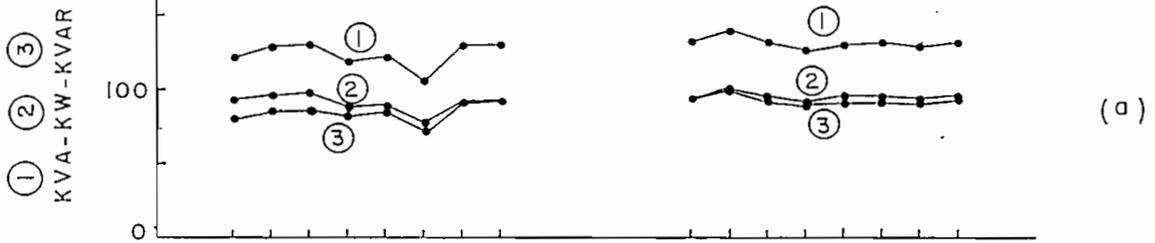


FIG. 40

SISTEMA T3A - T3B  
 (ESTACION DE BOMBEO)

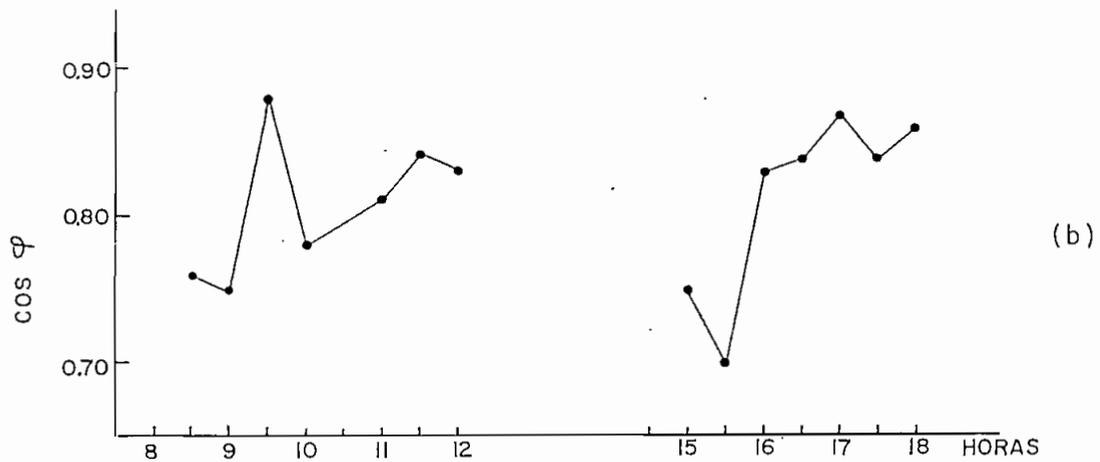
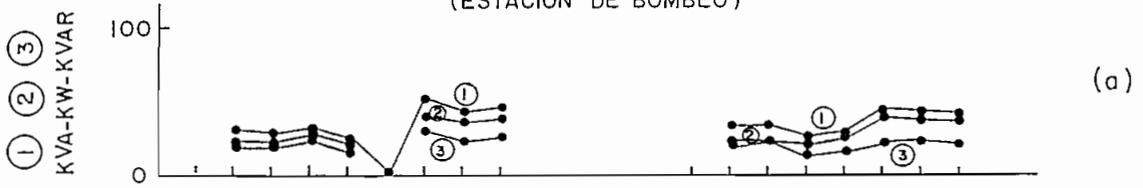
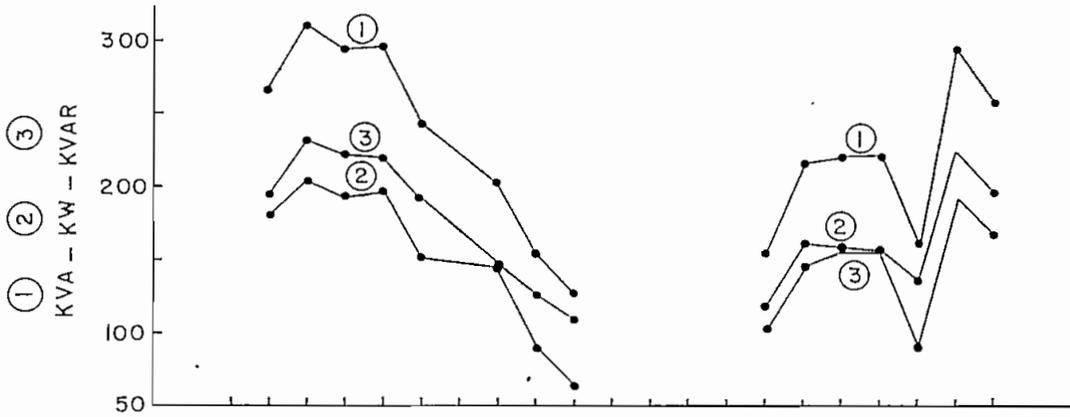
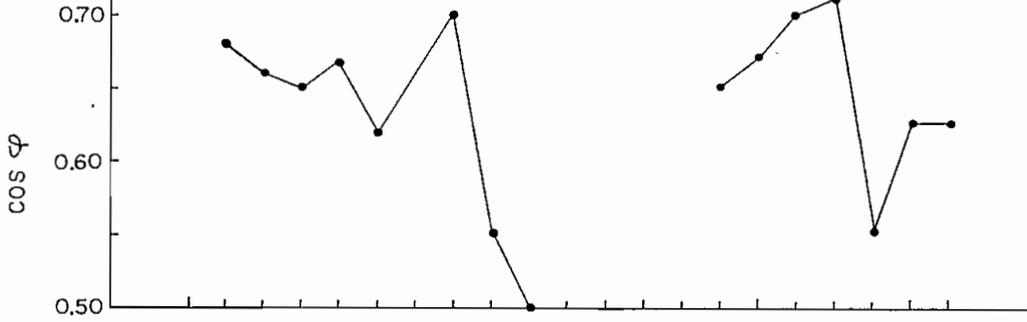


FIG. 41

CURVAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA  
SISTEMA T2A (TINTORERIA)  
MIERCOLES 24 - FEBRERO - 1965



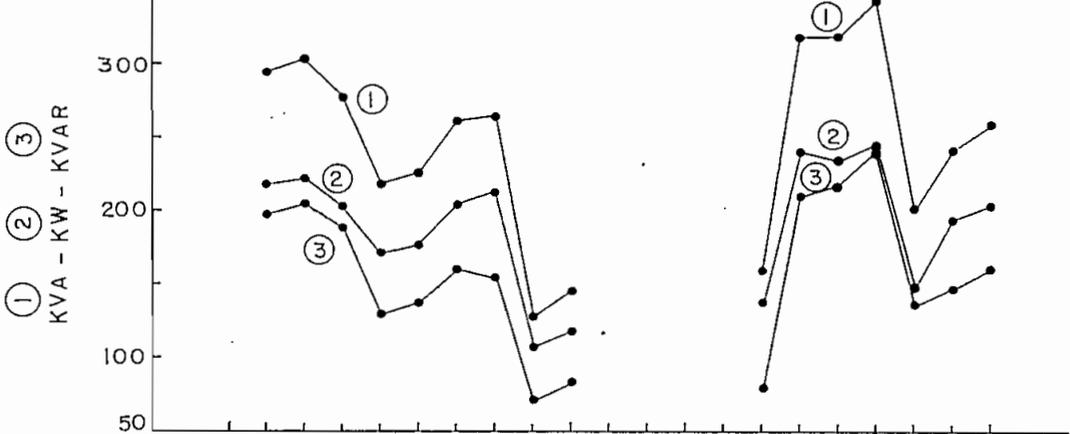
(a)



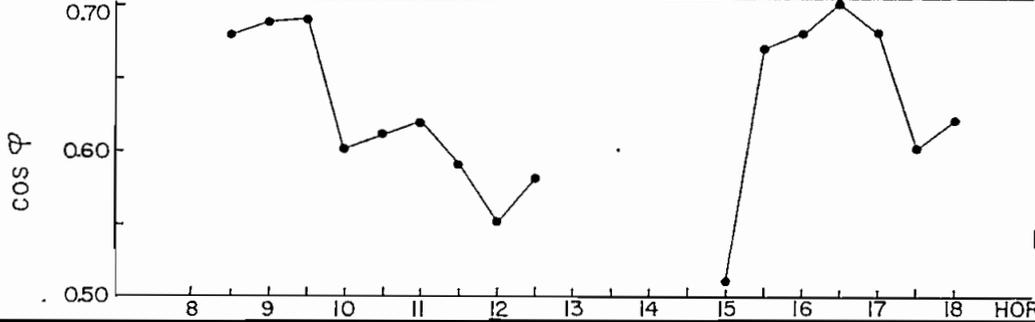
(b)

FIG. 42

JUEVES 25 - FEBRERO - 1965



(a)



(b)

FIG. 43

8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 HORAS

CURVAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL  
 FABRICA TEXTIL "EL RECREO"  
 VIERNES 24 - ABRIL - 1.964

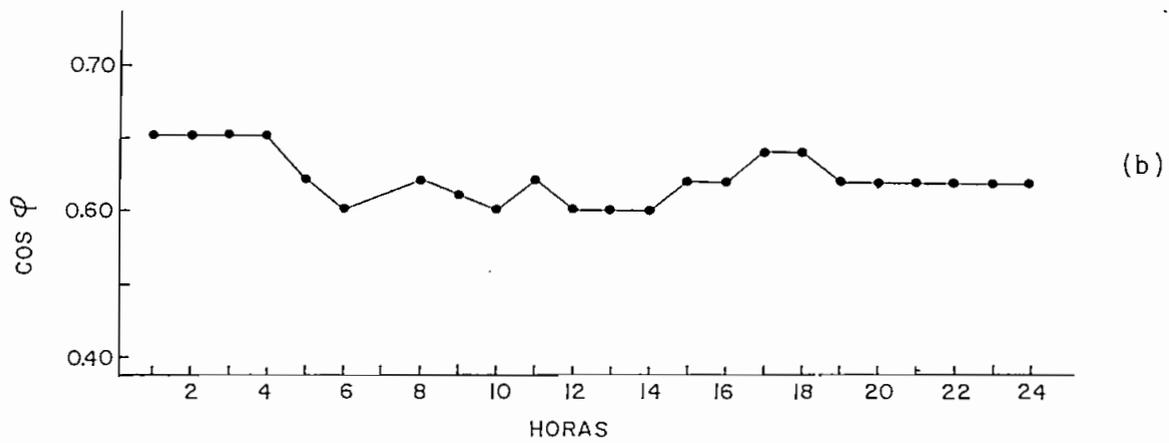
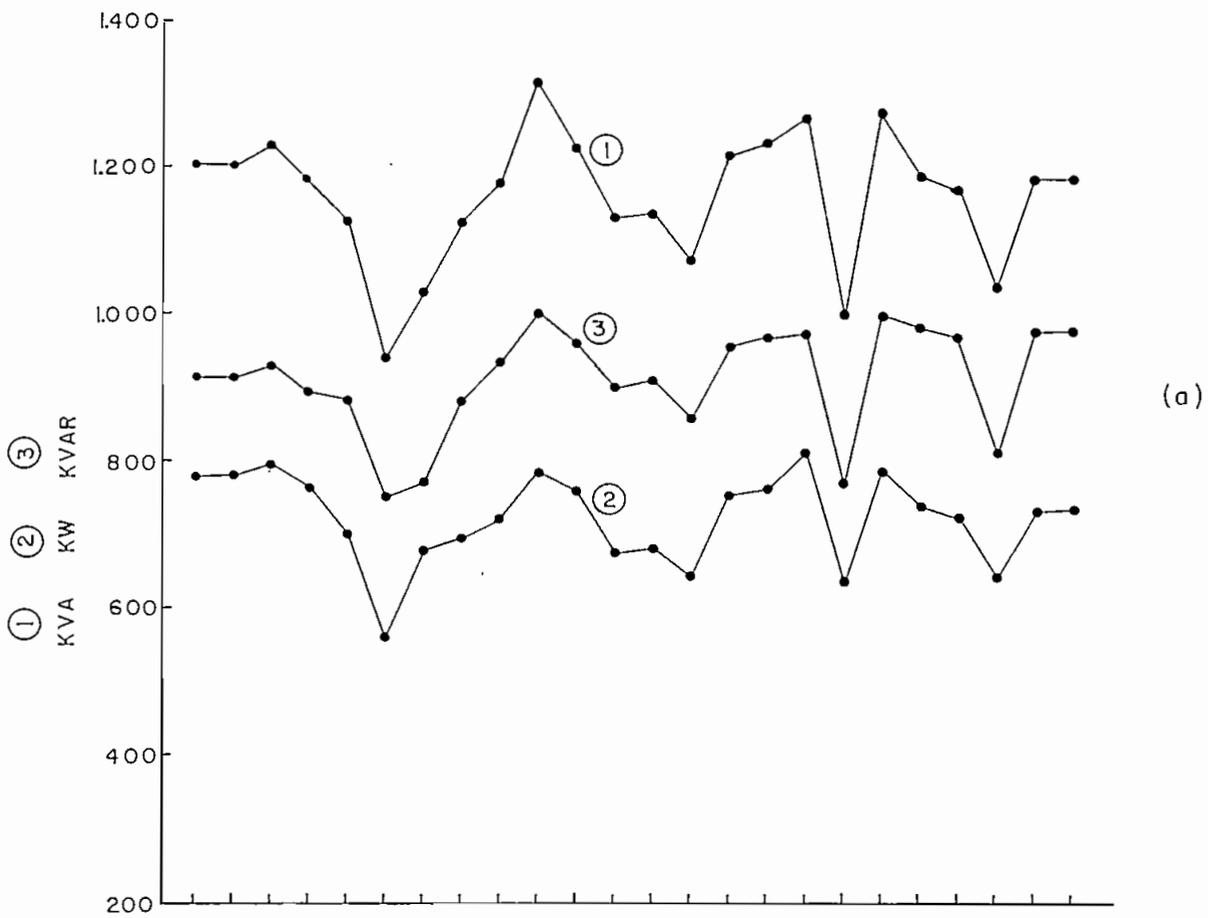


FIG. 44

KVAR	a	-	283	290	247	225
Cos $\varphi$	a	-	0,72	0,70	0,70	0,69
KVARc		-	150	150	150	150
KVAR	f	-	133	140	97	75
KVA	f	-	322	317	261	227
Cos $\varphi$	f	-	0,91	0,90	0,93	0,95
KVA	l	-	85	90	92	85

Como se puede apreciar de estas cifras, el factor de potencia no es menor que el límite fijado ni tampoco se vuelve capacitivo (sobrecapensado), de manera que la potencia reactiva capacitiva considerada resulta conveniente.

Con iguales consideraciones se ha determinado la magnitud de la potencia reactiva capacitiva requerida en los demás sistemas, incluyendo el sistema primario.

## 2- SISTEMA TLB (HILATURA Y TEJEDURIA - FUERZA)

KVA	a	-	397	397	397	397	397
KW	a	-	280	280	280	280	280
KVAR	a	-	271	271	271	271	271
Cos $\varphi$	a	-	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
KVARc		-	60	90	120	150	180
KVAR	f	-	211	181	151	121	91
KVA	f	-	350	333	318	305	294
Cos $\varphi$	f	-	0,80	0,84	0,88	0,92	0,95
KVA	l	-	47	64	79	92	103

En este sistema convendría añadir 150 KVAR capacitivos con lo cual se obtendría un factor de potencia de 0,92 (inductivo) y se liberaría 92 KVA en el transformador.

En este caso, las variaciones del factor de potencia serán:

KVA	a	-	436	441	364	320
KW	a	-	323	317	262	230
KVAR	a	-	287	306	253	228
Cos $\varphi$	a	-	0,74	0,72	0,72	0,72
KVARc	-	-	150	150	150	150
KVAR	f	-	137	156	103	78
KVA	f	-	368	370	281	243
Cos $\varphi$	f	-	0,88	0,86	0,93	0,95
KVA	l	-	68	71	83	77

3- SISTEMA TIC (HILATURA Y TEJEDURIA - ALUMBRADO)

KVA	a	-	129	129	129	129
KW	a	-	92	92	92	92
KVAR	a	-	91	91	91	91
Cos $\varphi$	a	-	0,71	0,71	0,71	0,71
KVARc	-	-	15	30	45	60
KVAR	f	-	76	61	46	31
KVA	f	-	119	106	103	97
Cos $\varphi$	f	-	0,77	0,87	0,89	0,95
KVA	l	-	10	23	26	32

Considerando una instalación de 60 KVARc capacitivos, se elevaría el factor de potencia a 0,95 inductivo y se liberaría 32 KVA en el transformador. Las variaciones del factor de potencia para este sistema serán:

KVA	a	-	140	121
KW	a	-	101	85
KVAR	a	-	97	86
Cos $\varphi$	a	-	0,72	0,70

KVARc	-	60	60
KVAR f	-	37	26
KVA f	-	112	89
Cos $\varphi$ f	-	0,90	0,96
KVA l	-	28	32

6) SUBESTACION No. 2.

1- SISTEMA T2A (TINTORERIA Y CALDEROS - FUERZA)

KVA	a	-	265	265	265	265
KW	a	-	156	156	156	156
KVAR	a	-	214	214	214	214
Cos $\varphi$	a	-	0,59	0,59	0,59	0,59
KVARc	-		60	90	120	150
KVAR	f	-	154	124	94	64
KVA	f	-	218	200	181	168
Cos $\varphi$	f	-	0,71	0,78	0,86	0,93
KVA	l	-	46	65	84	97

En este sistema convendría instalar 120 KVARc capacitivos, con lo cual se obtendría un factor de potencia de 0,86 inductivo y se liberaría 84 KVA en los transformadores.

Las variaciones del factor de potencia para los valores máximos y mínimos de carga serán los siguientes:

KVA	a	-	345	320	149	124
KW	a	-	242	217	87	62
KVAR	a	-	246	235	121	107
Cos $\varphi$	a	-	0,70	0,68	0,58	0,50
KVARc	-		120	120	120	120
KVAR	f	-	126	115	1	13 (')

(') valores capacitivos.

KVA	f	-	272	234	87	63
Cos $\varphi$	r	-	0,89	0,93	1,00	0,98(')
KVA.	l	-	73	86	62	61

c) SUBESTACION No. 3.

-1- SISTEMA T3A-T3B (ESTACION DE BOMBEO - FUERZA Y ALUMBRADO)

KVA	a	-	46,5	46,5
KW	a	-	39,0	39,0
KVAR	a	-	25,3	25,3
Cos $\varphi$	a	-	0,84	0,84
KVARc		-	7,5	15
KVAR	f	-	17,8	10,3
KVA	f	-	43,0	41,5
Cos $\varphi$	f	-	0,86	0,94
KVA	l	-	3,5	5,0

En este sistema convendría añadir 15 KVARc capacitivos con lo cual se elevaría el factor de potencia a 0,94 inductivo y se liberaría 5 KVA en los transformadores.

En este caso, las variaciones del factor de potencia serán:

KVA	a	-	54,0	24,7
KW	a	-	45,3	19,2
KVAR	a	-	29,3	15,4
Cos $\varphi$	a	-	0,84	0,78
KVAR	c	-	15,0	15,0
KVAR	f	-	14,3	0,4
KVA	f	-	47,5	19,2
Cos $\varphi$	f	-	0,95	1,0
KVA	l	-	6,5	5,5

Como se puede apreciar de los resultados obtenidos, el factor de potencia corregido en cada uno de los sistemas de baja tensión no será inferior a 0,85 durante los períodos de máxima y mínima carga registrados, ni tampoco será sobrecompensado (capacitivo) salvo para el sistema T2A durante el período de baja carga, de manera que la potencia reactiva capacitiva considerada en cada uno de los sistemas resulta conveniente.

El sistema T2B que alimenta al alumbrado de Tintorería, de 30 KVA de capacidad, no se le ha considerado debido a que se encuentra trabajando con poca carga. Igual consideración se ha hecho para el Transformador de 60 KVA que presta el servicio auxiliar a la casa de máquinas.

### 3.2.- CORRECCION EN ALTA TENSION.

KVA	a	-	1129	1129	1129	1129	1129	1129
KW	a	-	700	700	700	700	700	700
KVAR	a	-	886	886	886	886	886	886
Cos $\varphi$	a	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
KVARc		-	200	300	400	500	<u>525</u>	600
KVAR	f	-	686	586	486	386	361	286
KVA	f	-	980	913	852	800	787	756
Cos $\varphi$	f	-	0,714	0,767	0,821	0,875	<u>0,889</u>	0,926

En el sistema primario eonvendría instalar una potencia de 525 KVAR capacitivos, con lo cual se obtendría un factor de potencia de 0,889 inductivo.

En este caso, las variaciones del factor de potencia durante los períodos de máxima y mínima carga registrados serán:

KVA	a	-	1378	1341	945
KW	a	-	896	872	520

KVAR	a	-	1047	1019	789
Cos $\varphi$	a	-	0,65	0,65	0,55
KVARc		-	525	525	525
KVAR	f	-	522	494	264
KVA	f	-	1036	1002	583
Cos $\varphi$	f	-	0,864	0,870	0,891

De acuerdo con estos resultados, se deduce que la potencia reactiva capacitiva considerada para esta alternativa es adecuada.

La potencia requerida en condensadores para corregir el factor de potencia en las dos alternativas, como también la potencia aparente liberada en los transformadores para el caso de corregir en baja, se resumen en el cuadro siguiente:

A L T E R N A T I V A		KVARc	KVA <sub>1</sub>
3-	CORRECCION EN BAJA TENSION (SISTEMA SECUNDARIO)		
	Sistema T1A	150	88
	" T1B	150	92
	" T1C	60	32
	" T2A	120	84
	" T3A-T3B	15	5
	Total en baja tensión	495	301
4.-	CORRECCION EN ALTA TENSION (Sistema primario)	525	---

Es decir que prácticamente se requiere la misma capacidad en condensadores para las dos alternativas baja-alta tensión.

Otro aspecto importante que debe considerarse en este análisis, es el método de control para la conmutación de los condensadores, razón por la cual estudiaremos brevemente el método adecuado para

los dos casos.

4.- METODO DE CONTROL MAS CONVENIENTE.

4.1.- EN BAJA TENSION.

Según los registros de carga y factor de potencia obtenidos (ver tablas y esquemas), se puede apreciar que la carga se mantiene aproximadamente constante en los tres sistemas que alimentan a Hilatura y Tejeduría, tanto en fuerza como en alumbrado, mientras que en los sistemas que alimentan a Tintorería y a la Estación de Bombeo, la carga es variable.

De acuerdo con esto, se podría pensar en la aplicación de control manual en los tres primeros sistemas, y de control automático en los dos últimos. Pero, antes de decidirnos calcularemos los aumentos de voltaje debido a la instalación de los condensadores.

Cuando los condensadores son instalados en el lado secundario de un transformador, el aumento del voltaje producido por los condensadores puede calcularse aproximadamente con la siguiente fórmula:

$$\% V_c = \frac{KVAR_c}{KVA} X\% \quad (50)$$

donde,

$V_c$  = aumento del voltaje en % debido a los condensadores.

$KVAR_c$  = potencia nominal de los condensadores

$KVA$  = potencia nominal del transformador

$X$  = reactancia del transformador en %.

Esta fórmula se basa en la suposición de que la reactancia del sistema primario es despreciable en comparación con la reactancia del transformador, condi-

ción que se cumple en el presente caso.

Aplicando esta fórmula se han obtenido los resultados que se resumen en el cuadro siguiente:

SISTEMA	KVA	KVARc	X%	Vn	Vc%	Vc (Voltios)
T1A	660	150	4,9	230	1,12	2,60
T1B	550	150	4,7	220	1,28	2,82
T1C	200	60	4,0	230	1,20	2,96
T2A	660	120	4,9	230	0,89	1,86
T3A-T3B	120	15	3,9	220	0,48	1,05

donde Vn es el voltaje nominal del transformador y Vc el aumento de voltaje debido a los condensadores, en voltios.

Es decir que de acuerdo con estos resultados, los condensadores pueden conectarse en cada uno de los sistemas en una sola etapa y permanecer en el circuito sin que haya el peligro de que el aumento del voltaje sea excesivo.

Sin embargo, siempre es conveniente adaptar un control automático para la conmutación de los condensadores por una u otra razón. Por ejemplo, en el caso de que se produzca una sobrecarga en los alimentadores secundarios principales, éstos se desconectarán automáticamente del circuito, de tal modo que el transformador puede operar con poca carga o quedar al vacío. En estas condiciones, la conexión permanente de los condensadores puede representar un peligro para el aislamiento del transformador.

Por otro lado, desde el punto de vista del personal de servicio que atiende la instalación, y de la localización de los condensadores en subestaciones

alejadas una de otra, creemos que será más conveniente adaptar un control automático para la conmutación.

Ahora bien, dada las características de la carga en los sistemas considerados, sería más adecuado controlar la maniobra de los condensadores por medio de un relé sensitivo a la carga (corriente), de manera que se desconecten durante los períodos de baja carga, y se conecten cuando la carga alcance cierto valor.

De acuerdo con estas consideraciones, y tomando en cuenta la magnitud de la potencia reactiva requerida en los sistemas, así como también la manera como varían los KW y KVAR de la carga, sería conveniente prever un control automático en relación con la carga (corriente) para los tres sistemas de fuerza de mayor importancia: Hilatura, Tejeduría y Tintorería.

Con respecto a los sistemas restantes; alumbrado de Hilatura y Tejeduría, y la estación de bombeo, ya que éstos no requieren de una magnitud de potencia reactiva capacitiva de importancia, no justifican la aplicación de control automático debido a su alto costo, de manera que para estos sistemas se puede adaptar un control manual para maniobrar los condensadores cuando sea necesario.

En resumen para el caso de corregir en el lado secundario de los transformadores, sería conveniente adoptar un control automático en relación con la carga (corriente) en los sistemas T1A, T1B y T2A, y un control manual para los sistemas T1C y T3A-T3B.

#### 4.2.- EN ALTA TENSION.

De acuerdo con los registros de carga y fac-

tor de potencia obtenidos en los instrumentos existentes en el tablero de control general durante dos semanas consecutivas (ver tablas, curvas), se puede observar que la carga total no experimenta grandes variaciones durante un día típico. Sus variaciones se deben mayormente a las fluctuaciones de carga en los sistemas de Tintorería y la estación de bombeo.

Por otra parte, el aumento del voltaje en las barras generales debido a la instalación de los condensadores para este caso, puede calcularse con la siguiente fórmula (Ver capítulo II):

$$\% V_c = \frac{KVAR_c \cdot X \cdot d}{10 (KV)^2} \quad (47)$$

donde,

$V_c$  = aumento de voltaje debido a los condensadores, en %.

$KVAR_c$  = potencia nominal de los condensadores = 525 KVARc.

$X$  = reactancia ( $\Omega$ /milla) desde la subestación de alimentación (subestación Sur de la ciudad) hasta la instalación de los condensadores = 0,6818-~~2~~/milla.

$d$  = distancia desde la subestación de alimentación hasta la instalación = 1,86 millas (3 Km aproximadamente).

$KV$  = voltaje nominal entre líneas = 4,160 KV.

$$\% V_c = \frac{525 \cdot 0.6818 \cdot 1.86}{10 (4.16)^2} = 3,85 \%$$

Este aumento del voltaje debido a la instalación de los condensadores, en lugar de constituir algún problema, más bien compensará la caída de tensión del circuito aéreo de alimentación a la fábrica, que

parte desde la subestación sur de la ciudad, situada a unos 3 Km de la fábrica.

Es decir que los condensadores pueden conectarse al sistema en una sola etapa y permanecer en el circuito, sin que haya peligro de que se produzca un aumento de voltaje excesivo. Además, como la carga total no experimenta grandes fluctuaciones durante el período diario de trabajo, se podría pensar perfectamente en el empleo de control manual para la maniobra de los condensadores.

Embargo, como se indicó para el caso de <sup>de alta tensión, siempre.</sup> siempre es más conveniente adaptar un <sup>control automático.</sup> automático para la conmutación, ya sea debido al peligro que pueden representar los condensadores cuando la carga del sistema es muy reducida, o/a la falta de personal de servicio que atienda la instalación.

Igual que en el caso anterior, el método de control automático más apropiado para esta alternativa sería también el control de corriente de manera que los condensadores puedan desconectarse cuando la carga es muy reducida o conectarse cuando ésta alcanza un determinado valor.

Una vez que se han determinado la potencia de las instalaciones requeridas en las dos alternativas y el método de control conveniente, procedemos a hacer el análisis económico incluyendo el costo de los principales elementos obtenidos de catálogos de fabricantes, para los dos casos, como puede observarse en el siguiente cuadro (anexo No. 1).

En esta comparación es necesario considerar también, la economía que representa la liberación

de potencia o KVA en los transformadores reductores para el caso de corregir en baja tensión, lo cual permitiría añadir una carga adicional para futuras ampliaciones.

La potencia aparente o KVA liberadas en los transformadores, conforme se ha analizado anteriormente sería de 301 KVA, de manera que si consideramos un costo de \$ 20 por KVA instalado en las subestaciones, esta potencia liberada representaría una economía de \$ 6.020, la cual debe restarse del costo total de la instalación en baja tensión.

Como puede apreciarse en el cuadro comparativo adjunto, las cifras obtenidas por si solas demuestran que la corrección en alta tensión es mucho más barata que la corrección en baja, aún considerando la economía que representan los KVA liberados en los transformadores. La diferencia entre las dos alternativas, de acuerdo con los resultados obtenidos es de unos \$ 95.106 sucres en favor de la alternativa en alta tensión, lo cual es bastante apreciable.

De acuerdo con este análisis y consideraciones anteriores, se concluye finalmente que para esta fábrica, resulta más económico la corrección en alta tensión con respecto a la de baja y, por consiguiente que las otras alternativas planteadas; razón por la cual elegimos definitivamente la ubicación de los condensadores en las barras de alta tensión, en un punto anterior a los contadores de energía, tal como puede observarse en el diagrama unifilar del sistema.

## SELECCION DEL EQUIPO DE CORRECCION Y CONTROL DEFINITIVO

Una vez que se ha elegido la ubicación del equipo de corrección en las barras de alta tensión a 4.160 voltios, como la más favorable para la fábrica, procedemos a seleccionar el equipo de condensadores y control.

### 1.- SELECCION DEL EQUIPO Y CONTROL

Como se ha visto anteriormente, la potencia reactiva requerida en condensadores para corregir el factor de potencia a un valor conveniente (un promedio de 0,9 aproximadamente), es de 525 KVAR.

#### a) CONDENSADORES.

Las unidades normalizadas fabricadas en la industria, para un voltaje de 4.160 voltios, son monofásicas de 25 , 50 y 100 KVAR de potencia nominal. De acuerdo con esto podemos utilizar una unidad de 25 y 3 de 50 KVAR (175 KVAR) por fase para formar un banco trifásico de 525 KVAR. La conexión del banco constituido por estas unidades obviamente será en delta.

#### b) RELE DE CONTROL.

Para la conmutación de los condensadores, conforme se ha analizado en el capítulo anterior, resulta muy conveniente adaptar un control automático en relación con la carga (corriente) del sistema.

Entre varios tipos de relés de corriente fabricados en la industria, se ha elegido el relé construído por la casa Line Material porque es apropiado para este caso, y además porque es efectivo y sencillo en su funcionamiento.

Este aparato dispone de un elemento térmico sensible a la corriente que activa al relé en función de esta variable con un retardo de tiempo inherente, el cual a su vez accionará al interruptor del condensador.

Como en este caso, la carga del sistema está constituída en su mayor parte por motores trifásicos, y por consiguiente los circuitos se encuentran prácticamente equilibrados, se puede utilizar un solo relé de corriente para el control.

Lo que interesa en este problema, es que los condensadores sean desconectados del circuito cuando la carga es muy reducida, y conectados cuando la carga alcance cierto valor.

La potencia nominal de los transformadores existentes, es de 2.280 KVA, es decir que la corriente nominal referida al lado primario será:

$$I = \frac{2.280 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 4,16 \text{ KV}} = 320 \text{ A.}$$

Luego, para la aplicación del relé es necesario utilizar un transformador de relación 300/5 amperios.

La desconexión de los condensadores puede iniciarse cuando la carga alcance por ejemplo el 25% de la carga promedio (obtenida durante un día típico

1129 KVA) o sea

$$I = \frac{1129 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 4.16 \text{ KV}} = 158 \text{ A (promedio)}$$

$$I = 0,25 \times 158 = 39,5 \text{ A (25\%)}$$

que referida al secundario el transformador de corriente es igual a

$$39,5 \times \frac{5}{300} = 0,66 \text{ A}$$

Como este valor se encuentra dentro del campo de ajuste del relé seleccionado que es de 0,5 a 5 A, resulta apropiado prever la desconexión cuando la carga se reduce al 25%.

La conexión de los condensadores, en cambio, puede iniciarse cuando la carga alcance el 50%, con lo cual se permite que el valor del factor de potencia sea mayor que el establecido por la Empresa Eléctrica, inclusive durante los valores mínimos de carga registrados en el período diario, como puede deducirse de las lecturas obtenidas para este trabajo.

La mínima carga registrada durante el período de dos semanas consecutivas (ver tablas) es de 945 KVA, o sea

$$I = \frac{945 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 4,16 \text{ KV}} = 131 \text{ A}$$

que corresponde aproximadamente al 80% de la carga promedio (1.129 KVA). Es decir, que si la conexión se ajusta para el 50% de la carga, con ello se asegura la corrección del factor de potencia adecuadamente.

Este valor referido al secundario del transformador de corriente será igual:

$$\frac{50}{100} \times 158 \times \frac{5}{300} = 1,32 \text{ A}$$

Luego el relé deberá graduarse para iniciar la desconexión y conexión para los valores 0,66 y 1,32 amperios, respectivamente.

El transformador de corriente para la aplicación del relé deberá conectarse en el circuito comprendido entre los condensadores y la carga de manera que el control de corriente mida y responda solamente a la corriente de la carga.

c) INTERRUPTOR.

Según las normas standard NEMA, el interruptor requerido para la maniobra de los condensadores será dimensionado para una intensidad mínima del 1,65% de la corriente nominal del banco de condensadores, es decir:

$$I = \frac{525 \text{ KVAR}}{\sqrt{3} \cdot 4,16 \text{ KV}} \times 1,65 = 120 \text{ A.}$$

Para nuestro caso, creemos conveniente elegir un interruptor en aceite diseñado para una corriente nominal de 200 A, que puede ser operado manual o eléctricamente. Este interruptor será apropiado para ser accionado eléctricamente por medio de un relé sensible a la corriente.

d) CABLES DE CONEXION.

De acuerdo con las normas NEC (National Electrical Code), el cable de conexión de los condensadores deberá ser dimensionado para una intensidad mínima del 1,35% de la intensidad nominal del banco de

condensadores, o sea

$$1,35 \times 73A = 100 A$$

Con el objeto de facilitar la instalación, la conexión del equipo deberá hacerse con cables unipolares de cobre con aislamiento de caucho y armados, apropiados para instalación directa bajo tierra.

La conexión entre las unidades del banco de condensadores, y de las unidades a los terminales del interruptor deberá efectuarse con cable de cobre con aislamiento especial de PVC.

e) PROTECCIONES.

Para la protección de la instalación se emplearán fusibles individuales convenientemente dimensionados, cuya fusión aparte de la protección dará una indicación de una sobrecorriente que puede dañar a los condensadores, Las razones fundamentales para la utilización de fusibles individuales son las siguientes:

- a) Eliminan del servicio al condensador en cortocircuito antes de que éste pueda propagarse a unidades adyacentes, debiendo hacerlo sin provocar el disparo de otros dispositivos protectores ni interrumpir la continuidad del servicio.
- b) Evita la explosión violenta de la caja de un condensador.
- c) Aisla el condensador o condensadores defectuosos dejando en servicio al resto del banco.
- d) Identifica inmediatamente la unidad defectuosa.

En condiciones normales, la capacidad no-

minal del fusible debe ser del 165 al 235% de la intensidad nominal del condensador a la tensión y potencia nominales.

Para el presente caso, los fusibles individuales requeridos uno por cada condensador, deberán preverse con una capacidad mínima del 165% de la intensidad nominal del condensador, es decir de 15 y 10 Amperios para las unidades de 50 y 25 KVAR, respectivamente.

Una referencia general de la disposición del equipo y control se indican en el esquema y diagrama eléctrico que se incluyen a continuación.

## 2.- ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE CONDENSADORES Y CONTROL.

Las presentes especificaciones comprenden todo el equipo de condensadores y control automático requeridos para corregir el factor de potencia de esta fábrica.

Los equipos de condensadores y control (con excepción del relé de corriente y auxiliares) deberán operar en un sistema de 4.160 voltios, 3 fases, 60 ciclos.

El equipo de condensadores estará constituido por un banco trifásico de 525 KVAR, formado por 9 unidades que den 175 KVAR por fase (3 de 50 y 1 de 25 KVAR). La conexión del banco será en delta.

La conmutación del equipo de condensadores será controlado automáticamente por medio de un relé de corriente.

### GENERAL.

Los equipos de condensadores y control de-

berán cumplir las especificaciones normales de la AIEE, NEMA y ASA para condensadores en derivación: El equipo deberá ser garantizado por el fabricante contra todo defecto en la fabricación y materiales, para un período de un año después del embarque. Además deberá ser adecuado para operar a una temperatura ambiente de hasta 40°C.

#### CONSTRUCCION.

Cada unidad será apropiada para servicio interior y montaje en soportes metálicos, según los esquemas de disposición general que se indican.

El interruptor en aceite deberá ser montado junto al banco de condensadores, según el esquema general indicado.

El equipo de control automático deberá ser adecuado para servicio interior y será montado en un panel metálico (con excepción del interruptor en aceite). Este equipo deberá ser embarcado completo con todo el alambrado, listo para ser instalado en la fábrica. Todos los grupos de cables y elementos del equipo deberán estar provistos de bloques terminales correctamente numerados con una identificación adecuada.

#### ELEMENTOS DEL CONTROL.

Este equipo deberá incluir un relé principal sensible a la corriente (con retardo de tiempo inherente) y relés auxiliares, el cual iniciará la operación de cierre o disparo del interruptor del condensador selectiva y automáticamente en respuesta a un

valor predeterminado de corriente deseado.

En este equipo se incluirán los siguientes elementos:

- a) 1 Relé principal sensible a la corriente.
- b) Relés auxiliares para control del interruptor:
  - 1 Interruptor de transferencia manual-automático.
  - 1 Interruptor de control de la posición de operación del interruptor principal, abierto - cerrado, con lámparas indicativas.

#### CONDENSADORES.

Los condensadores serán unidades de 50 y 25 KVAR para 4.160 Voltios, 1 fase, 60 ciclos, adecuados para servicio interior. El líquido impregnante del dieléctrico no debe ser inflamable (askarel, inerteen o similar). Cada unidad deberá tener una resistencia interna de descarga conectada a sus terminales adecuada para reducir el voltaje a 50 voltios o menos en un tiempo inferior a 5 minutos.

A continuación se anotan las especificaciones de los equipos, elementos y materiales requeridos para la instalación, luego se estima un presupuesto y finalmente se determina el lapso en el cual se amortizará el costo de la instalación.

Ren- CANTI-  
glón DAD

E S P E C I F I C A C I O N

CORRIENTE:

Corriente nominal continua            200 A.  
Corriente máxima del equipo        200 A  
de condensadores. .

Capacidad de interrupción (a 60  
ciclos)                                    9000 A.

El interruptor será adecuado para monta-  
je en su-porte metálico, según esquema  
general indicado, y servicio interior.  
Se suministrará con los siguientes ac-  
cesorios:

- a) Tapas terminales aisladas.
- b) Caja de conexión con cables y conec-  
tadores terminales, para la opera-  
ción simultánea de las unidades uni-  
polares.

Referencia: Westinghouse catálogo No.  
505D1914G03 tipo CSL.

4        1        Panel metálico de dimensiones adecuadas  
(60x60x20 cms.) para montaje de los si-  
guientes aparatos, incluido el alambra-  
do.

- a) Un relé de control de corriente de  
las siguientes características:  
Valor mínimo de disparo            0,5 A  
Valor máximo de disparo            5 A  
Relé de carga (load relay)        20 A

Referencia Line Material tipo CC1C1

- b) Un interruptor de transferencia ma-  
nual-automática.
- c) Un interruptor de control de la po-

Ren- CANTI-  
glón DAD

E S P E C I F I C A C I O N

sición de operación del interruptor principal, cerrado, abierto, con lámparas indicativas, una de color verde y la otra de color rojo.

- 5      1      Transformador de corriente, para la aplicación del relé de corriente del renglón 4, apropiado para montaje en celda metálica y servicio interior, de relación 300/5 amperios, aislado para 5 KV, clase de precisión Q3 ASA (60 ciclos) para burden B 0,5 (12,5 VA). Estará provisto de tornillos de contactos en los terminales secundarios y un dispositivo para cortocircuitarlo. Referencia Westinghouse catálogo No. 254 A 5866 11, tipo ECT.
- 6      12      Fusible tipo BAC (en ácido bórico) de 15 A adecuado para montaje directo en uno de los terminales del condensador del renglón, con disco indicativo de la operación del elemento fusible. Referencia Westinghouse, catálogo No. 1014239.
- 7      3      Idem al renglón 6, pero de 10 A, adecuado para montaje directo en uno de los terminales del condensador de 25 KVAR (renglón 2).
- 8      100 mts. Cable unipolar de cobre con aislamiento de caucho Butyl para 5000 voltios, adecuado

Ren- CANTI-  
glón DAD

E S P E C I F I C A C I O N

DO Para instalación directa bajo tierra, resistente al fuego, humedad y ozono, diseñado según los requerimientos de IP CEA. Especificación S-19-81 (tercera edición). El cable estará constituido de los siguientes elementos:

- a) Conductor de cobre cableado No. 1/0 AWG 19 hilos, el cual debe cumplir los requerimientos de ASTM especificación B-189.
- b) Pantalla semiconductora sobre el conductor.
- c) Funda exterior de neopreno resistente al ozono, de 0,080" de espesor.

El cable será diseñado para operar hasta una temperatura máxima de 90° C y se suministrarán también materiales para efectuar 6 terminales.

- 9 100 mts. Cable unipolar de cobre sólido No. 6 AWG con aislamiento especial de PVC para 5.000 voltios, adecuado para realizar la conexión entre las unidades y de las unidades a los terminales del interruptor, diseñado según los requerimientos de ASTM, Especificación B-3, y para operar hasta una temperatura máxima de 75° C. El espesor del aislamiento será 10/64".
- 10 100 mts. Cable de cobre con aislamientos de PVC, a adecuado para los circuitos de control,

Ren- CANTI-  
glón DAD

E S P E C I F I C A C I O N

- formado por dos conductores de cobre No. 8 AWG aislados para 600 voltios, preinstalados en conduit flexible, y diseñados para operar hasta una temperatura de 75°C.
- 11 3 Cabeza terminal (pothead) adecuada para el cable del renglón 8, diseñado para operar a 5000 voltios, completo con conectores, incluyendo el compundaje aislante.
- 12 1 Compartimento metálico formado por estructura de hierro angular de 2-1/2 x 2-1/2 x 1/4" galvanizado, forrada con malla de alambre y con una puerta lateral que dé acceso al interior, adecuado para montaje del banco de condensadores, interruptores en aceite y panel metálico (en la parte delantera ), según esquema general indicado. Se suministrará con todos los elementos, pernos, tuercas necesarios para la instalación.

PRESUPUESTO      APROXIMADO

RENGLON	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$ ( DOLAR)	COSTO TOTAL \$ (DOLAR)
1	9	70	630
2	3	70	210
3	1	425	425
4	1	220	220
5	1	97	97
6	12	6	72
7	3	6	18
8	100 mts.	6	600
9	100 mts.	0,5	50
10	100 mts.	1	100
11	3	20	60
12	1	150	150

SUMAN	\$ 2.632
Imprevistos 10% (del presupuesto)	" 263
Subtotal	\$ 2.875
Dirección técnica, instalación y montaje 25% (subtotal)	" 725
Costo total en dólares	\$ 3.620
Costo total en sucres (a \$ 22,00, por dólar)	\$79.640 (Sucres).

3.- CALCULO ECONOMICO DE LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

Cuando las compañías establecen en las planillas de energía una cláusula que pena el bajo factor de potencia, el costo de la instalación de condensadores requerida para elevar el factor de potencia sobre el límite fijado por la compañía, se amortizará rápidamente como se puede apreciar a continuación.

Si bien es cierto que la Empresa Eléctrica Quito S.A., compañía suministradora de la energía en el presente caso, no ha puesto en vigencia todavía la cláusula de bajo factor de potencia; sin embargo, para efectos del cálculo de la amortización supondremos que ésta se encuentra en vigencia.

Como se ha visto anteriormente, el porcentaje de recargo por bajo factor de potencia, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Recargo} = \frac{100}{3} \left( \frac{\text{seno del ángulo del factor de potencia}_{0,6}}{\text{FACTOR DE POTENCIA EN FORMA DECIMAL}} \right)$$

Siendo el factor de potencia, el valor promedio mensual.

Para el presente caso, tomando el promedio del factor de potencia de la instalación igual a 0,60 tendremos lo siguiente:

$$\begin{aligned} \% \text{ de Recargo} &= \frac{100}{3} \left( \frac{0,80}{0,60} - 0,60 \right) \\ &= 24\% \text{ (aproximadamente)} \end{aligned}$$

Es decir que la fábrica deberá recargar su planilla de energía en un 24%, una vez que se haga efectiva la cláusula de factor de potencia, cosa que

se hará tarde o temprano. En este caso el porcentaje de recargo equivale a la economía a obtenerse con la corrección del factor de potencia, la cual amortizará a corto plazo el costo de la instalación.

Las planillas pagadas por la fábrica en los nueve primeros meses del presente año, han sido las siguientes:

Enero .....	\$/	106.724
Febrero .....	"	104.294
Marzo .....	"	122.084
Abril .....	"	112.604
Mayo .....	"	122.714
Junio .....	"	119.324
Julio .....	"	116.624
Agosto .....	"	112.964
Septiembre .....	"	116.024

Como estos valores representan el 100% de la planilla, el 24% de recargo correspondiente sería:

Enero .....	\$/	25.614
Febrero .....	"	25.030
Marzo .....	"	29.300
Abril .....	"	27.025
Mayo .....	"	29.451
Junio .....	"	28.638
Julio .....	"	27.989
Agosto .....	"	27.111
Septiembre .....	"	27.845

De acuerdo con las cifras obtenidas se puede considerar un ahorro mensual promedio de ... \$/ 25.000 (sucres), de manera que el ahorro anual será de \$/ 300.000 (sucres).

Ahora bien la inversión se justificará

plenamente cuando los costos de operación y mantenimiento sean menores o, a lo sumo, iguales que el ahorro anual a obtenerse con la instalación correctiva, que es justamente lo que vamos a demostrar.

Dicho de otra manera, deberá cumplirse la siguiente ecuación:

$$b + c + d \leq r$$

Siendo  $b$  = rentabilidad del capital invertido (12% de la inversión total para industrias)

$c$  = Costo anual de operación y mantenimiento (1% de la inversión total para equipo de condensadores).

$d$  = Cuota anual de depreciación (La vida media del equipo puede considerarse 30 años, con la cual se tiene \$ 2.700 de cuota anual)

$r$  = Ahorro anual obtenido con la corrección (\$ 300.000).

Sumando los costos anuales tendremos:

$b$	=	0,12 \$ 80.000 (inversión)	=	\$ 9.600
$c$	=	0,01 \$ 80.000	=	800
$d$	=		=	2.700
				<hr/>
				\$13.100

$$\text{Luego, } \$ 13.100 \leq \$ 300.000$$

Es decir que con el factor de potencia actual el recargo sería de \$ 300.000 anuales, mientras que corrigiendo el factor de potencia con el equipo previsto anteriormente, resultaría un ahorro anual de

$$\$ 300.000 - \$ 13.100 = \$ 286.900$$

De esta manera, la inversión inicial se

recuperaría o amortizaría en los cuatro primeros meses de operación, ya que se obtiene un ahorro mensual equivalente de

$$\$/ \frac{286.900}{12} = \$/ 23.908.$$

Como se puede apreciar de este cálculo económico, la corrección del factor de potencia mediante condensadores estáticos está por demás justificada, de manera que no hace falta más comentarios.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como parte final de este trabajo se anotarán las conclusiones y las recomendaciones que pueden hacerse.

### 1.- CONCLUSIONES

Del presente estudio se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- 1.1.- La carga predominante del sistema eléctrico de esta industria está compuesta por motores de inducción a jaula de ardilla (trifásicos), pequeños y de baja velocidad, que se caracterizan por operar con bajo factor de potencia.
- 1.2.- El factor de potencia general de la instalación, es bajo. De las medidas realizadas y lecturadas observadas en los aparatos de medida general, concluimos que éste varía del 50 al 65%.
- 1.3.- Como consecuencia de lo anterior, en el sistema eléctrico de la industria se hallan presentes todos los efectos adversos producidos por el bajo factor de potencia, que se indicaron en el capítulo I.
- 1.4.- Cuando en las planillas de energía de las Empresas Eléctricas existen cláusulas que penan el bajo factor de potencia, la corrección del factor de potencia aparte de evitar los efectos adversos, representa un ahorro importante en las planillas, y además trae consigo beneficios adicionales que también representan una economía de

orden general.

Este ahorro en las planillas permite amortizar a corto plazo la inversión realizada, en menos de un año en la mayoría de los casos, tal como ocurre en el presente caso.

- 1.5.- Bajo estas consideraciones, la corrección del factor de potencia de una instalación se justifica plenamente, cuando el establecimiento recibe energía de una Empresa de esta naturaleza.
- 1.6.- Para el caso en que la Fábrica decidiera generar su propia energía mediante la central diesel- - eléctrica de que dispone, la compensación del factor de potencia actual, también se justifica porque se aumenta la potencia disponible y se evita el funcionamiento de uno de los grupos de baja tensión, lo cual equivaldría a disminuir los costos de operación y mantenimiento en la central.
- 1.7.- Debido a la naturaleza misma de la carga predominante (motores de inducción a jaula de ardilla pequeños), el medio más conveniente, simple y económico para elevar el factor de potencia de la instalación, se obtiene con la aplicación de condensadores estáticos.
- 1.8.- Las medidas preventivas para mejorar el factor de potencia no son convenientes para el presente caso, por tratarse de una instalación existente. Desde luego, para la ampliación de las instalaciones debe tenerse muy en cuenta las

medidas preventivas (estudiadas en el Capítulo II) como un medio de mejoramiento.

1.9.- Desde el punto de vista teórico, la corrección individual de la carga presenta los máximos beneficios, como son: mejora de la regulación de tensión, reducción de pérdidas y liberación de potencia en los circuitos de distribución y transformadores. Sin embargo, desde el punto de vista económico y si el propósito primordial de la corrección es evitar alguna penalidad por bajo factor de potencia, resulta más económico corregir en alta tensión, debido al bajo costo de los condensadores para alta tensión con respecto a los de baja, tal como sucede en el presente caso.

1.10.-Esta se refiere al sistema de alumbrado de la Industria. Como se indicó en el Capítulo IV, el sistema de alumbrado de esta fábrica está constituido principalmente por lámparas fluorescentes, las cuales por naturaleza misma contribuyen a reducir el factor de potencia.

De acuerdo con las medidas realizadas en el sistema de alumbrado (TLC) que alimenta a las secciones de Hilatura y Tejeduría durante 24 horas al día (ver tablas), el sistema se encuentra operando con un factor de potencia medio de 0,73 que prácticamente se mantiene constante. Para elevar el factor de potencia de este sistema, se podría utilizar la corrección a base del sistema de dos lámparas (two-lamp), intercalando en una de ellas un reactor mientras que la otra lle-

va además del reactor un condensador en serie.

De acuerdo con el efecto producido con la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva en un circuito de corriente alterna, resulta que con esta disposición no solamente se obtiene el defasaje necesario para eliminar el parpadeo de las lámparas sino que también se consigue elevar el factor de potencia a un valor aproximado de 0,95.



En un estudio de esta naturaleza, en el que el factor primordial es el económico, este medio de elevar el factor de potencia del sistema de alumbrado constituido por lámparas fluorescentes, también sería práctico.

## 2.- RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que pueden hacerse sobre este trabajo serían las relacionadas con el equipo de condensadores estáticos, medidas preventivas y afines con la mejora del factor de potencia de la instalación.

- 2.1.- Los condensadores deberán ser instalados en locales ventilados, de atmósfera limpia y temperatura uniforme. Estas condiciones se cumplen para nuestro caso.
- 2.2.- Una vez instalados los equipos de condensadores, deberá comprobarse el conexionado eléctrico y, finalmente, deben hacerse lecturas para comprobar lo siguiente:
  - a- Inspección regular del local.

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T1A ( HILATURA Y TEJEDURIA: FUERZA)

MIERCOLES 24 DE FEBRERO DE 1965.

HORA	A	v	KVA	KV	KVAR(ind)	COS $\varphi$ (ind)
<u>08;30</u>	<u>1000</u>	<u>215</u>	<u>373</u>	<u>261</u>	<u>266</u>	<u>0,70</u>
09:00	1000	215	373	261	266	0,70
09;30	980	215	362	245	265	0,68
10:00	1000	215	373	261	266	0,70
<u>10:30</u>	<u>1075</u>	<u>217</u>	<u>407</u>	<u>285</u>	<u>290</u>	<u>0,70</u>
11:00	1050	217	395	276	282	0,70
11:30	1060	221	405	287	285	0,71
12:00	1050	220	400	280	285	0,70
14:30	1030	222	395	276	282	0,70
15:00	1025	222	392	274	272	0,70
15:30	1025	223	396	273	286	0,69
16:00	1030	222	395	272	285	0,69
16:30	1050	221	400	276	290	0,69
17:00	1060	218	402	273	294	0,68
17:30	1050	219	399	271	293	0,68
18:00	1050	220	400	280	285	0,70

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T 1 B (HILATURA Y TEJEDURIA: FUERZA)

MIERCOLES 24 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR(ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	1100	204	390	285	266	0,73
09:00	1100	204	390	281	270	0,72
09:30	1100	205	391	289	263	0,74
<u>10:00</u>	<u>1100</u>	<u>208</u>	<u>397</u>	<u>280</u>	<u>271</u>	<u>0,73</u>
<u>10:30</u>	<u>900</u>	<u>205</u>	<u>320</u>	<u>230</u>	<u>228</u>	<u>0,72</u>
<u>11:00</u>	<u>1200</u>	<u>210</u>	<u>436</u>	<u>323</u>	<u>287</u>	<u>0,74</u>
11:30	1000	210	364	266	249	0,73
<u>12:00</u>	<u>1000</u>	<u>210</u>	<u>364</u>	<u>262</u>	<u>253</u>	<u>0,72</u>
15:00	1000	210	364	266	249	0,75
15:30	1100	210	400	292	273	0,73
16:00	1100	210	400	296	268	0,74
16:30	1100	209	398	295	263	0,74
17:00	1100	210	400	300	264	0,75
17:30	1100	208	397	290	272	0,73
18:00	1100	210	400	296	268	0,74

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T1B ( HILATURA Y TEJEDURIA: FUERZA)

JUEVES 25 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
08:00	1150	208	415	299	287	0,72
09:00	1150	208	415	302	283	0,73
10:00	1100	210	400	292	273	0,73
11:00	1200	200	415	306	279	0,74
12:00	1100	210	400	292	273	0,73

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA TIB ( HILATURA Y TEJEDURIA: FUERZA)

JUEVES 25 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
08:00	1150	208	415	299	287	0,72
09:00	1150	208	415	302	283	0,73
10:00	1100	210	400	292	273	0,73
11:00	1200	200	415	306	279	0,74
12:00	1100	210	400	292	273	0,73
13:00	1100	208	397	290	271	0,73
15:00	1000	210	363	262	252	0,72
16:00	1100	205	390	300	249	0,77
17:00	1000	208	361	274	235	0,76

VIERNES 26 DE FEBRERO DE 1965

08:00	1000	210	363	266	247	0,73
09:00	1050	208	378	280	255	0,74
10:00	1050	210	380	281	255	0,74
11:00	1100	200	380	292	237	0,77
12:00	1050	210	380	277	260	0,73
13:00	1100	210	400	296	269	0,74
15:00	1000	203	352	272	224	0,74
16:00	1000	210	363	272	240	0,75
17:00	1000	210	363	276	241	0,76
18:00	1000	207	357	268	236	0,75

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA TIC ( HILATURA Y TEJEDURIA: ALUMBRADO)

MARTES 23 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR(ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	350	117	121	86	85	0,71
<u>09:00</u>	<u>350</u>	<u>117</u>	<u>121</u>	<u>85</u>	<u>86</u>	<u>0,70</u>
09:30	380	116	132	95	92	0,72
10:00	390	117	137	99	95	0,72
10:30	360	113	122	88	85	0,72
11:00	370	116	128	92	89	0,72
11:30	380	114	130	95	89	0,73
12:00	400	118	142	99	101	0,70
14:30	360	115	124	89	86	0,72
15:00	360	116	126	90	89	0,71
<u>15:30</u>	<u>400</u>	<u>116</u>	<u>140</u>	<u>101</u>	<u>97</u>	<u>0,72</u>
16:00	350	115	121	88	83	0,72
16:30	370	115	126	90	84	0,71
17:00	380	116	132	95	92	0,72
17:30	380	116	132	94	93	0,71
18:00	375	116	130	94	90	0,72

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA TIC (HILATURA Y TEJEDURIA - ALUMBRADO)

MIÉRCOLES '24 de FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR(ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	360	113	122	93	79	0,76
09:00	370	113	128	96	85	0,75
09:30	380	113	129	97	85	0,75
10:00	350	113	119	87	81	0,73
10:30	360	113	122	88	85	0,72
11:00	310	113	105	76	73	0,72
11:30	370	116	129	90	91	0,70
<u>12:00</u>	<u>370</u>	<u>116</u>	<u>129</u>	<u>92</u>	<u>91</u>	<u>0,71</u>
14:30	380	116	132	94	93	0,71
15:00	400	116	139	99	98	0,71
15:30	400	116	139	99	98	0,71
16:00	366	116	127	92	88	0,72
16:30	370	117	130	95	89	0,73
17:00	380	117	132	95	92	0,72
17:30	370	116	129	93	90	0,72
18:00	380	116	132	95	92	0,72

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)  
JUEVES 25 DE FEBRERO DE 1965

SISTEMA HORA	TIC A	(HILATURA Y TEJEDURIA V	- ALUMBRADO) KVA	KV	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
08:00	370	115	122	87	86	0,71
09:00	370	115	122	88	85	0,72
10:00	380	115	131	95	91	0,72
11:00	400	113	136	99	93	0,75
12:00	370	114	126	91	87	0,72
13:00	380	115	130	94	90	0,72
15:00	390	116	136	98	94	0,72
16:00	370	112	124	93	83	0,75
17:00	366	114	125	95	81	0,76
18:00	370	115	127	95	84	0,75

VIERNES 26 DE FEBRERO DE 1965

08:00	370	116	132	96	95	0,73
09:00	370	116	132	95	92	0,72
10:00	365	115	132	94	93	0,71
11:00	370	113	129	94	88	0,73
12:00	370	115	132	95	92	0,72
13:00	370	114	129	93	90	0,72
15:00	365	114	125	91	85	0,73
16:00	370	115	132	95	92	0,72
17:00	370	115	132	95	92	0,72
18:00	365	114	125	90	87	0,72

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T2A (TINTORERIA Y CALDEROS: FUERZA)

MARTES 23 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR(ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	750	220	285	185	216	0,65
09:00	875	218	330	211	253	0,64
09:30	800	220	304	195	233	0,64
10:00	850	210	309	201	234	0,65
10:30	625	210	227	138	180	0,61
11:00	750	210	272	174	208	0,64
11:30	570	220	217	126	176	0,58
12:00	430	220	164	90	137	0,55
15:00	400	208	145	94	110	0,65
15:30	825	202	291	117	230	0,61
16:00	900	201	313	206	235	0,66
16:30	950	207	328	217	246	0,66
17:00	775	202	270	159	217	0,59
17:30	775	202	270	157	128	0,58
18:00	725	203	254	150	204	0,59

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T2A (TINTORERIA Y CALDEROS: FUERZA)

MIERCOLES 24 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	775	198	265	180	194	0,68
09:00	900	198	308	203	232	0,66
09:30	850	199	293	191	222	0,65
10:00	850	200	294	197	218	0,67
10:30	700	201	243	151	191	0,62
11:30	575	202	201	140	144	0,70
12:00	425	204	150	88	125	0,55
<u>12:30</u>	<u>340</u>	<u>211</u>	<u>124</u>	<u>62</u>	<u>107</u>	<u>0,50</u>
15:00	420	209	152	99	116	0,65
15:30	600	203	213	143	158	0,67
16:00	625	202	217	157	155	0,70
16:30	625	203	218	155	154	0,71
17:00	440	208	159	88	133	0,55
17:30	825	204	292	189	221	0,65
18:00	725	203	254	165	193	0,65

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

SISTEMA T2A (TINTORERIA Y CALDEROS: FUERZA )

JUEVES 25 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR(ind)	COS $\phi$ (ind)
08:30	850	202	296	198	220	0,67
09:00	875	202	305	207	223	0,68
09:30	800	202	278	190	204	0,68
10:00	625	202	217	130	173	0,60
10:30	650	202	226	138	179	0,61
11:00	750	201	261	162	205	0,62
<u>11:30</u>	<u>750</u>	<u>204</u>	<u>265</u>	<u>156</u>	<u>214</u>	<u>0,59</u>
12:00	360	206	128	71	107	0,55
12:30	400	208	145	84	118	0,58
15:00	450	205	160	82	138	0,51
15:30	950	195	320	211	240	0,66
<u>16:00</u>	<u>950</u>	<u>195</u>	<u>320</u>	<u>217</u>	<u>235</u>	<u>0,68</u>
<u>16:30</u>	<u>1035</u>	<u>194</u>	<u>345</u>	<u>242</u>	<u>246</u>	<u>0,70</u>
17:00	550	202	202	137	148	0,68
17:30	700	200	242	145	194	0,60
18:00	750	200	259	160	203	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

SISTEMA T2A (TINTORERIA Y CALDEROS: FUERZA)

VIERNES 26 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\varphi$ (ind)
09:00	550	203				
09:30	500	203	176	102	143	0,58
10:00	525	202	184	109	148	0,59
10:30	635	200	207	132	158	0,64
11:00	600	200	207	132	158	0,64
<u>11:30</u>	<u>430</u>	<u>200</u>	<u>149</u>	<u>87</u>	<u>121</u>	<u>0,58</u>
12:00	460	203	162	104	124	0,64
12:30	420	205	150	93	118	0,62
13:00	430	204	152	94	119	0,62
15:00	550	200	190	114	152	0,60
15:30	540	199	186	125	138	0,67
16:00	450	200	156	100	120	0,64
16:30	550	203	194	116	155	0,60
17:00	600	203	210	130	165	0,62

SABADO 27 DE FEBRERO DE 1965

10:00	635	210	230	147	177	0,64
-------	-----	-----	-----	-----	-----	------

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T3A - T 3B ( ESTACION DE BOMBEO Y TALLERES:  
FUERZA Y ALUMBRADO)

MARTES 23 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\varphi$ (ind)
08:30	90	210	32,7	24,5	21,6	0,75
<u>09:00</u>	<u>65</u>	<u>220</u>	<u>24,7</u>	<u>19,2</u>	<u>15,4</u>	<u>0,78</u>
09:30	95	210	34,5	27,6	20,6	0,80
10:00	75	210	27,2	21,2	17,0	0,78
10:30	125	210	45,3	38,5	23,8	0,85
11:00	130	210	47,2	39,6	25,6	0,84
11:30	150	215	56,2	46,1	32,0	0,82
12:00	63	220	24,2	20,0	14,4	0,83
15:00	160	210	58,7	48,0	32,8	0,82
15:30	16	202	---	---	---	---
16:00	---	---	---	---	---	---
16:30	---	---	---	---	---	---
17:00	127	210	46,2	40,0	22,7	0,87
17:30	130	215	48,3	41,5	24,7	0,86
<u>18:00</u>	<u>125</u>	<u>215</u>	<u>46,5</u>	<u>39,0</u>	<u>25,3</u>	<u>0,84</u>

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

(BAJA TENSION)

SISTEMA T 3A - T 3B

MIÉRCOLES 24 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\psi$ (ind)
08:30	95	210	--	---	---	---
09:00	90	210	32,7	24,4	21,6	0,75
09:30	95	210	34,5	30,3	16,4	0,88
10:00	75	210	27,3	21,3	17,1	--
10:30	16	210	5,8	---	---	---
11:00	150	210	54,3	43,0	32,0	0,81
11:30	130	210	47,3	39,7	25,5	0,84
12:00	135	210	49,0	40,6	27,3	0,83
15:00	95	215	35,4	26,5	23,4	0,75
15:30	98	215	36,4	25,5	26,1	0,70
16:00	78	215	29,0	24,0	16,2	0,83
16:30	90	214	33,4	28,0	18,1	0,84
17:00	127	215	47,3	41,2	23,3	0,87
17:30	125	214	46,5	39,0	25,3	0,84
18:00	125	215	46,5	40,0	23,3	0,86

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA  
SISTEMA T 3a - T 3B

JUEVES 25 DE FEBRERO DE 1965

HORA	A	V	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\varphi$ (ind)
08:00	65	215	--	--	---	--
09:00	65	217	28,3	23,2	16,2	0,82
10:00	75	215	28,0	22,9	16,0	0,82
11:00	70	212	25,6	20,7	15,0	0,81
12:00	120	220	45,7	39,7	22,7	0,87
13:00	120	218	45,5	39,1	23,2	0,86
<u>15:00</u>	<u>143</u>	<u>218</u>	<u>54,00</u>	<u>45,3</u>	<u>29,3</u>	<u>0,84</u>
16:00	98	210	35,6	26,7	23,6	0,75
17:00	130	215	48,3	41,6	24,7	0,86
18:00	125	215	46,5	39	25,3	0,84

VIERNES 26 DE FEBRERO DE 1965

08:00	90	215	33,5	27,5	19,2	0,82
09:00	95	215	35,3	28,6	20,6	0,81
10:00	130	215	48,3	41,6	24,6	0,86
11:00	132	210	47,8	41,1	24,4	0,86
12:00	63	220	24,3	21,3	12,2	0,87
13:00	65	218	24,6	21,2	12,4	0,86
15:00	95	214	35,2	27,4	22,0	0,78
16:00	65	215	24,2	20,9	11,9	0,87
17:00	65	215	24,2	20,7	12,3	0,86
18:00	98	214	36,3	29,7		0,82

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

LUNES 13 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\psi$ (ind)
14:00	3,98	920	552	756	0,57
15:00	3,80	1345	808	1076	0,60
16:00	3,80	1310	815	1028	0,62
<u>17:00</u>	<u>3,90</u>	<u>1378</u>	<u>896</u>	<u>1047</u>	<u>0,65</u>
18:00	3,75	1300	807	1020	0,62
19:00	3,75	1300	807	1020	0,62
20:00	3,75	1300	832	1000	0,64
21:00	3,85	1250	750	1000	0,60
22:00	3,85	1175	705	940	0,60
23:00	1230	1230	764	965	0,62
24:00	3,70	1260	782	989	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL  
(ALTA TENSION)

MARTES 14 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
01	3,70	1260	793	980	0,63
02	3,70	1218	790	926	0,65
03	3,70	1218	790	926	0,65
04	3,75	1196	740	939	0,62
05	3,85	1068	672	831	0,63
06	3,95	1056	656	830	0,62
07	3,95	1250	812	950	0,65
08	3,75	1300	847	988	0,65
09	3,80	1290	774	1032	0,60
10	3,90	1315	814	1032	0,62
11	3,88	1320	816	1036	0,62
12	3,90	1215	693	999	0,57
13	3,88	1142	685	914	0,60
14	3,98	920	552	756	0,57
15	3,75	1300	845	988	0,65
16	3,75	1300	845	988	0,65
17	3,80	1320	855	1003	0,65
18	3,75	1300	820	1011	0,63
19	3,85	1306	811	1025	0,62
20	3,80	1290	802	1013	0,62
21	3,80	1250	774	981	0,62
22	3,95	1065	640	852	0,60
23	3,80	1290	814	1004	0,63
24	3,65	1264	821	961	0,64

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

(ALTA TENSION)

MIÉRCOLES 15 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\varphi$ (ind)
01	3,7	1180	731	926	0,62
02	3,75	1297	817	1009	0,63
03	3,80	1315	828	1023	0,63
04	3,80	1288	773	1030	0,60
05	3,85	1225	735	980	0,60
06	3,90	1080	648	864	0,60
07	3,70	1306	849	992	0,65
08	3,78	1230	799	935	0,65
09	3,80	1249	774	980	0,62
10	3,78	1308	850	994	0,65
11	3,70	1306	849	992	0,65
<u>12</u>	<u>3,80</u>	<u>1341</u>	<u>872</u>	<u>1019</u>	<u>0,65</u>
13	3,80	1236	742	989	0,60
14	3,98	1033	589	844	0,57
15	3,75	1297	843	986	0,65
16	3,70	1280	858	950	0,67
17	3,75	1297	843	986	0,65
18	3,75	1271	763	1017	0,60
19	3,70	1280	832	973	0,65
20	3,70	1280	832	973	0,65
21	3,80	1262	820	959	0,65
22	3,85	1199	719	959	0,60
23	3,75	1272	839	954	0,66
24	3,75	1235	801	936	0,65

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

(ALTA TENSION)

JUEVES 16 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (imd)	COS $\phi$ (imd)
01	3,75	1142	742	868	0,65
02	3,75	1103	717	838	0,65
03	3,75	1142	742	868	0,65
04	3,75	1142	742	868	0,65
05	3,950	1025	666	779	0,65
06	3,95	888	577	674	0,65
07	3,90	1282	769	1020	0,60
08	3,75	1272	789	998	0,62
09	3,76	1300	806	1020	0,62
10	3,73	1316	855	1000	0,65
11	3,71	1309	851	995	0,65
12	3,89	1265	759	1012	0,60
13	3,95	1230	676	1027	0,55
14	3,85	1199	719	959	0,60
15	3,75	1246	810	947	0,65
16	3,75	1297	843	986	0,65
17	3,75	1297	843	986	0,65
18	3,75	1297	804	1018	0,62
19	3,65	1263	821	960	0,65
20	3,70	1280	832	973	0,65
21	3,80	1249	774	980	0,62
22	3,90	1106	686	868	0,62
23	3,75	1232	776	958	0,63
24	3,75	1272	789	998	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

VIERNES 17 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	Cos $\phi$ (ind)
01	3,85	1172	703	938	0,60
02	3,85	1199	719	959	0,60
03	3,85	1172	703	938	0,60
04	3,85	1132	679	906	0,60
05	3,95	1093	656	874	0,60
06	3,95	957	574	766	0,60
07	3,73	1265	810	973	0,64
08	3,78	1308	837	1006	0,64
09	3,75	1259	818	957	0,65
10	3,75	1297	843	986	0,65
11	3,75	1272	827	967	0,65
12	3,80	1315	842	1011	0,64
13	--	--	--	--	--
14	3,75	1194	716	955	0,60
15	3,75	1246	772	978	0,62
16	3,80	1315	815	1032	0,62
17	3,85	1332	826	1046	0,62
18	3,85	1199	719	959	0,60
19	3,75	1232	801	936	0,65
20	3,80	1249	774	980	0,62
21	3,85	1146	710	900	0,62
22	3,95	1011	607	809	0,60
23	3,80	1249	749	999	0,60
24	3,85	1265	759	1012	0,60

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

SABADO 18 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind.)	COS $\psi$ (ind.)
01	3,85	1132	679	906	0,60
02	3,85	1172	727	920	0,62
03	3,85	1225	759	962	0,62
04	3,85	1132	702	887	0,62
05	3,90	1012	607	810	0,60
06	3,95	888	533	710	0,60
07	3,78	1229	762	965	0,62
08	3,72	1235	803	939	0,65
09	3,80	1302	846	989	0,65
10	3,76	1301	833	1000	0,64
11	3,73	1316	855	1000	0,65
12	3,90	1160	696	928	0,60
13	3,85	1172	715	928	0,61
14					

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL  
( ALTA TENSION )

LUNES 20 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
07:00	3,82	1071	664	841	0,620
08:00	3,85	1132	724	870	0,640
09:00	3,80	1183	710	840	0,600
10:00	3,82	1190	773	904	0,650
11:00	3,90	1107	642	902	0,580
12:00	4,00	996	578	812	0,580
13:00	3,88	1100	671	871	0,61
14:00	3,95	956	554	779	0,58
15:00	3,80	1118	671	894	0,60
16:00	3,80	1210	726	968	0,60
17:00	3,85	1199	743	941	0,62
18:00	3,80	1249	774	980	0,62
19:00	3,80	1210	750	950	0,62
20:00	3,80	1210	750	950	0,62
21:00	3,85	1172	680	955	0,58
22:00	3,95	956	554	779	0,58
23:00	3,80	1249	774	980	0,62
24:00	3,80	1249	774	980	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

MARTES 21 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\psi$ (ind)
01	3,80	1249	774	980	0,62
02	3,80	1249	774	980	0,62
03	3,80	1249	774	999	0,60
04	3,85	1199	719	959	0,60
05	3,85	1132	679	906	0,60
06	3,90	972	564	792	0,58
07	3,80	1118	704	870	0,63
08	3,90	1147	688	918	0,60
09	3,88	1168	700	934	0,60
10	3,82	1137	682	910	0,60
11	3,80	1275	790	1000	0,62
12	3,90	1093	645	881	0,59
13	3,85	1145	653	941	0,57
<u>14</u>	<u>3,90</u>	<u>945</u>	<u>520</u>	<u>789</u>	<u>0,55</u>
15	3,85	1199	719	959	0,60
16	3,85	1199	695	977	0,58
17	3,80	1210	702	986	0,58
18	3,85	1199	695	977	0,58
19	3,85	1225	710	998	0,58
20	3,85	1199	719	959	0,60
21	3,85	1172	703	938	0,60
22	3,90	1147	688	918	0,60
23	3,80	1183	733	929	0,62
24	3,80	1183	733	929	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

MIERCOLES 22 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ima)	COS $\psi$ (ima)
01	3,80	1183	733	929	0,62
02	3,80	1183	733	946	0,60
03	3,80	1157	694	926	0,60
04	3,85	1172	703	938	0,60
05	3,85	1132	679	906	0,60
06	3,90	1026	595	836	0,58
07	3,85	1145	687	916	0,70
08	3,80	1131	701	888	0,62
09					
10	3,83	1219	731	975	0,60
11	3,83	1259	755	1007	0,60
12	3,95	1120	616	935	0,55
13	3,93	1197	682	984	0,57
14	4,00	968	523	815	0,54
15	3,80	1118	671	894	0,60
16	3,80	1210	750	950	0,62
17	3,80	1183	733	929	0,62
18	3,80	1183	733	929	0,62
19	3,80	1157	694	926	0,60
20	3,85	1225	735	980	0,60
21	3,85	1172	703	938	0,60
22	3,95	956	593	750	0,62
23	3,80	1118	671	894	0,60
24	3,80	1118	671	894	0,60

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

( ALTA TENSION )

JUEVES 23 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
01	3,80	1118	671	894	0,60
02	3,85	1132	679	906	0,60
03	3,85	1092	655	874	0,60
04	3,85	1066	640	853	0,60
05	3,90	918	551	734	0,60
06	3,95	888	513	724	0,58
07	3,82	1150	690	920	0,60
08	3,80	1144	709	898	0,62
09	3,79	1206	748	947	0,62
10	3,75	1233	764	968	0,62
11	3,80	1262	770	1001	0,61
12	3,90	1133	657	923	0,58
13	3,80	1144	697	907	0,61
14	3,85	986	572	803	0,58
15	3,75	1194	752	929	0,63
16	3,80	1183	710	946	0,60
17	3,85	1265	754	1012	0,60
18	3,80	1210	726	968	0,60
19	3,85	1199	743	941	0,62
20	3,85	1132	702	889	0,62
21	3,85	932	578	732	0,62
22	3,85	866	537	680	0,62
23	3,75	1271	826	966	0,65
24	3,75	1271	826	966	0,65

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

(ALTA TENSION)

VIERNES 24 DE ABRIL DE 1964

HORA	A	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\phi$ (ind)
01	196	3,750	1271	826	966	0,65
02	196	3,750	1271	826	966	0,65
03	140	3,750	1232	800	936	0,65
04	180	3,780	1283	770	899	0,65
05	172	3,780	1231	702	888	0,62
06	140	3,790	945	568	756	0,60
07	168	3,780	1098	725	823	0,66
<u>08</u>	<u>168</u>	<u>3,780</u>	<u>1129</u>	<u>700</u>	<u>886</u>	<u>0,62</u>
09	182	3,750	1181	722	936	0,61
10	200	3,710	1118	791	1054	0,60
11	188	3,780	1230	763	965	0,62
12	168	3,790	1135	680	908	0,60
13	170	3,780	1144	686	915	0,60
14	160	3,790	1078	646	862	0,60
15	188	3,750	1220	758	958	0,62
16	140	3,750	1234	765	969	0,62
17	196	3,750	1270	815	977	0,64
18	184	3,750	1140	762	915	0,64
19	196	3,750	1110	787	997	0,62
20	184	3,750	1190	738	934	0,62
21	180	3,750	1168	724	917	0,62
22	160	3,750	1038	642	815	0,62
23	180	3,780	1183	735	929	0,62
24	180	3,780	1183	736	929	0,62

MEDIDAS DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA TOTAL

(ALTA TENSION)

SABADO 25 DE ABRIL DE 1964

HORA	KV	KVA	KW	KVAR (ind)	COS $\psi$ (ind)
01	3,80	1172	750	901	0,64
02	3,80	1172	750	901	0,60
03	3,85	1132	724	870	0,64
04	3,85	1139	727	850	0,65
05	3,85	1066	693	810	0,65
06	3,90	944	623	708	0,66
07	3,80	1172	727	920	0,62
08	3,80	1052	684	799	0,65
09	---	---	----	---	---
10	----	---	----	---	---
11	---	---	----	---	----
12	3,95	957	526	799	0,35
13	3,9	1052	610	857	0,58
14	3,9	1080	648	864	0,60

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 / CHESTER DAWES. Tratado de Electricidad.  
Tomo II. Barcelona, 1959.
- 2 / ALEXANDER GRAY. Electrotenia - Madrid,  
y  
G.A. WALLACE. 1954.
- 3 / CLIFFORD C. CARR. Electric Machinery, U.S.A.  
1958.
- 4 / W.C. BLOOMQUIST. Capacitors for Industry  
U.S.A., 1950.
- 5 / WESTINGHOUSE ELECTRIC Shunt Capacitors Appli-  
CORPORATION. cation to Electric  
Utility Systems, U.S.A.  
1961.
-

B I B L I O G R A F I A

- CHESTER DAWES. Tratado de Electricidad. Tomos I y II. Barcelona 1959.
- ALEXANDER GRAY  
y  
G.A. WALLACE. Electrotecnia. Madrid, 1954.
- CLIFFORD C. CARR. Electric Machinery- U.S.A. 1958.
- W.C. BLOOMQUIST. Capacitors for Industry, U.S.A., 1950.
- R.E. MARBURY. Power Capacitors. East Pittsburgh, Pa., 1950.
- ELECTRIC MACHINERY  
M.F.G. Co. El Factor de Potencia (The power Factor Book) Minneapolis, U.S.A.
- R.P. LAWRENCE. Principles of Alternating Current Machinery. U.S.A. 1953.
- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. Electrical Transmission and Distribution, Reference Book. East Pittsburgh. Pa, 1950.
- A.E. KNOLWTON. Manual "Standard" del Ingeniero Electricista, Tomos I y II, Barcelona, 1956.

KERCHNER & CORCORAN

Circuitos de Corriente  
Alterna, México, 1962.

A.E.G.

Manual para Instalaciones  
Eléctricas de alumbrado y  
fuerza motriz. Alemania,  
1956.

PENDER DEL MAR.

Manual del Ingeniero Elec-  
tricista. Electrotecnia I.  
Buenos Aires, 1952.

E.S. LINCOLN.

Equipos de protección eléc-  
trica y corrección del fac-  
tor de potencia. Buenos Ai-  
res, 1950.

#### PUBLICACIONES Y CATALOGOS

WESTINGHOUSE ELECTRIC  
CORPORATION.

Shunt Capacitors. Application  
to Electrical Utility Sys-  
tems. U.S.A. 1961.

S.M. COLLINS.

Power Factor Correction in  
Industrial Plant by Con-  
trolled Shunt Capacitors,  
Canadá, 1958.

H.A. JONES.

Power Factor Correction.  
Londres.

A.E.G.	Power Capacitors. Berlín 1952.
LINE MATERIAL INDUSTRIES.	Power Factor Improvement for Industrial Loads. Wisconsin. (U.S.A.)
BICC.	Aplication of Shunt Capa- citors on Distribution Sys- tems. Londres, 1962.
SIEVERTS KABELVERK.	Capacitors for Power Factor Conection. Suecia, 1962.
SIEVETS KABELVERK.	Capacitors for Improving the Power Factor. Suecia.
RAYMOND GAUTHERET.	L'amélioration du Facteur de Puissance Dans les Ins- tallations Industrielles. Paris, 1956.
GENERAL ELECTRICA ESPAÑOLA.	Condensadores Electrostá- ticos. Barcelona, 1952.
GENERAL ELECTRIC.	Aplicaciones de Condensado- res. U.S.A.
SIEMENS.	Instalaciones automáticas de regulación para condensa- dores estáticos. Berlín.

A.E.G.	Regulación de Potencia Reactiva con Condensadores en Redes e Instalaciones Industriales.
SPRAGUE.	Capacitores Industriales para Corrección del Factor de Potencia.
R.L. TREMAINE. Westinghouse Electric Corporation.	Control de los Capacitores de conmutación. East Pittsburgh.P.a. U. S.A.
WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.	Distribution Apparatus Digest.Catalog 50-000, 19 th Edition.
WESTINGHOUSE INTERNATIONAL.	Capacitors catalog 49-000. Instruments transformes catalog. 44-000.
WESTINGHOUSE INTERNATIONAL.	Basic Apparatus Catalog U.S.A, 1964.
WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.	Quick Selector Capacitors. Catalog 30-000, 25 th Edition.
LINE MATERIAL	Apparatus Sections 200-299. Capacitors Section 220. Wisconsin, 1965.