



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**SISTEMAS DE DISTRIBUCION EN LA  
CIUDAD DE MEXICO**

**T E S I S**

Para obtener el título de:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P r e s e n t a n :**

**ESTRADA VERGARA SERGIO E.  
FLORES GARCIA ALFREDO  
HERNANDEZ OSNAYA JUAN M.  
LIRA RODRIGUEZ ERNESTO  
MARTINEZ RICHIA LUIS  
OLMEDO YAÑEZ JOSE MANUEL  
SCIANDRA SANCHEZ RUBEN  
LOPEZ SANCHEZ FRANCISCO**



**México, D. F.**

**1984**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

	Pag.
Introducción. . . . .	1
<b>CAPITULO I. CONCEPTOS GENERALES DE LAS REDES DE DISTRIBUCION.</b>	
I.1 Sistemas Trifásicos y Monofásicos. . . . .	5
I.2 Estudio Económico. . . . .	7
I.3 Voltajes de Distribución. . . . .	15
I.4 Sistemas de Distribución Subterránea Radial. . . . .	17
I.5 Sistemas de Distribución Subterránea en Anillo. . . . .	19
I.6 Ejemplo Práctico de una Red de Distribución. . . . .	25
<b>CAPITULO II. REGULACION DE VOLTAJE EN ALIMENTADORES Y PROTECCION DE POTENCIA REACTIVA, BANCOS DE CAPACITORES Y ELECCION DE CAPACITORES.</b>	
II.1 Introducción. . . . .	36
II.2 Aplicación de Capacitores. . . . .	38
II.3 Capacitores Serie. . . . .	43
II.4 Capacitores en Derivación. . . . .	44
II.5 Regulación en un Sistema Eléctrico. . . . .	44
II.6 Potencia Reactiva. . . . .	56
II.7 Elección de Capacitores. . . . .	61
<b>CAPITULO III. PROTECCION CONTRA SOBREVOLTAJES Y CONTRA SOBRECORRIENTES.</b>	
III.1 Introducción. . . . .	79
III.2 Protección Contra Sobrevoltajes. . . . .	83
III.3 Protección Contra Sobrecorrientes. . . . .	106

CAPITULO IV. OPERACION DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS  
DE DISTRIBUCION EN LA CIUDAD DE  
MEXICO.

IV.1 Introducción. . . . .	171
IV.2 Planeación. . . . .	173
IV.3 Operación. . . . .	190
IV.4 Conclusiones. . . . .	215

CAPITULO V. MANTENIMIENTO EN LAS REDES DE  
DISTRIBUCION.

V.1 Introducción. . . . .	218
V.2 Mantenimiento a Las Redes de Distribución Aérea. . . . .	220
V.3 Mantenimiento Preventivo a Redes de Distribu- ción Subterránea en el D.F. . . . .	239
V.4 Fallas de Redes Subterráneas de Distribución Eléctrica y su localización. . . . .	244
V.5 Sistemas de Mantenimiento Preventivo Actual. . .	256
V.6 Método de Trabajo de Equipo Energizado y Desenergizado. . . . .	274
V.7 Medidas de Seguridad en Cables Subterráneos. .	312
BIBLIOGRAFIA. . . . .	324

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

En las últimas décadas el crecimiento de la Ciudad de México ha sido desmesurado, lo cual ha repercutido directamente en las redes de distribución de energía eléctrica, que han tenido que crecer al mismo ritmo de la Cd. de México.

En el presente trabajo se han tratado de agrupar todos los aspectos técnicos que intervienen en el suministro de energía eléctrica y así presentar de una manera funcional la operación y el mantenimiento de la redes de distribución en la Cd. de México.

Se puede decir que la Cd. de México es un ejemplo representativo de la mayoría de los sistemas de distribución que existen en este momento en todo el país; esto es debido a que existen diferentes tipos de zonas tales como:

**Industriales**

**Residenciales** (fraccionamientos de diferentes categorías)

**Comerciales** (De gran densidad de carga como el centro de la Ciudad y grandes conjuntos comerciales ).

En zonas industriales; normalmente la distribución es aérea, ya que en éste sistema el mantenimiento es más sencillo.

En zonas residenciales, el tipo de distribución va a depender de la categoría del fraccionamiento; ésto es la zona ur bana en que se localice en la Cd. de México.

En zonas comerciales el sistema de distribución va a depender de la densidad de carga que se tenga.

Dentro del sistema de operación de las redes de distribución encontramos la planeación y la estadística, que son dos de los aspectos más importantes para que un sistema sea operativo y funcional; la planeación encuentra su base fundamentalmente en las estadísticas del sistema.

Se puede ver como un ejemplo práctico el diseño de la protegción de un sistema; en el cual interviene la Planeación y la Estadística; ya que teniendo una buena Planeación los problemas de falla van a disminuir y por consecuencia lógica el -- servicio será continuo. Si a lo anterior sumamos un buen -- programa de mantenimiento preventivo, la eficiencia del sistema será confiable y además tendrá una gran estabilidad.

Este estudio presenta de una manera práctica sin llegar a -  
dar soluciones a los problemas actuales; ya que esto no de-  
pende estrictamente de la técnica, si no que intervienen --  
otros factores tales como, las políticas internas de la com-  
pañía suministradora ( políticas de trabajo, sindicato, sis-  
temas administrativos, etc.) y también los problemas que --  
representa una Ciudad de la magnitud de la Cd. de México. -  
El principal problema de ésta Ciudad es que ha crecido sin  
planeación, por lo tanto cuando se van a ampliar las redes -  
de distribución subterráneas se encuentran con : redes tele-  
fónicas, drenajes, redes de distribución de agua potable, -  
zonas de gran densidad de tráfico, etc. Todo lo anterior -  
no se registra en los planos de la Compañía o Sección guber-  
namental que ejecutó el trabajo; esto obliga a tomar decisio-  
nes inmediatas para la solución del problema; estas solucio-  
nes se presentan con base técnica a los problemas que se ob-  
servaron durante la elaboración de la Tesis.

## C A P I T U L O I

### CONCEPTOS GENERALES DE LAS REDES DE DISTRIBUCION.

- I.-1 Sistemas Trifásicos y Monofásicos.
- I.-2 Estudio Económico.
- I.-3 Voltajes de Distribución.
- I.-4 Sistemas de Distribución Subterránea Radial.
- I.-5 Sistemas de Distribución Subterránea en Anillo.
- I.-6 Ejemplo Práctico de una Red de Distribución.

" CONCEPTOS GENERALES DE LAS REDES DE DISTRIBUCION "

I.- 1 Sistemas Trifásicos y Sistemas monofásicos.

El sistema de corriente alterna trifásico presenta una gran ventaja en comparación con el sistema monofásico, que es la de suministrar una potencia total constante, siempre que el sistema sea equilibrado, ya que un sistema monofásico proporciona una potencia pulsante.

Además, para una misma potencia un generador ó un motor monofásico, es más grande y por lo tanto más caro que el correspondiente trifásico.

Haremos una comparación desde el punto de vista de las dimensiones de los conductores, de un sistema monofásico de dos hilos con un trifásico de tres hilo, y un monofásico de tres hilos con un trifásico de cuatro hilos.

Para tal comparación necesitamos suponer que se transmite la misma potencia, con las mismas pérdidas, a la misma distancia con la misma tensión a tierra, esta última condición determinará el aislamiento en las líneas trifásicas y los cables monofásicos.

Fig. I.-1 Sistema 1  $\phi$  2 Hilos

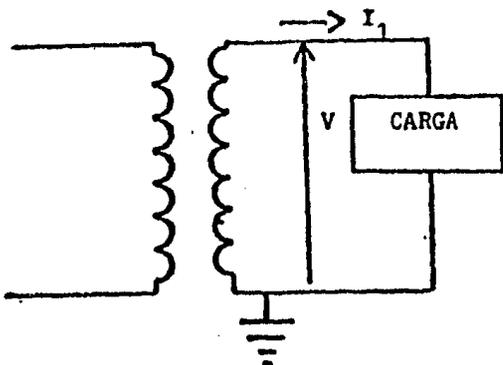
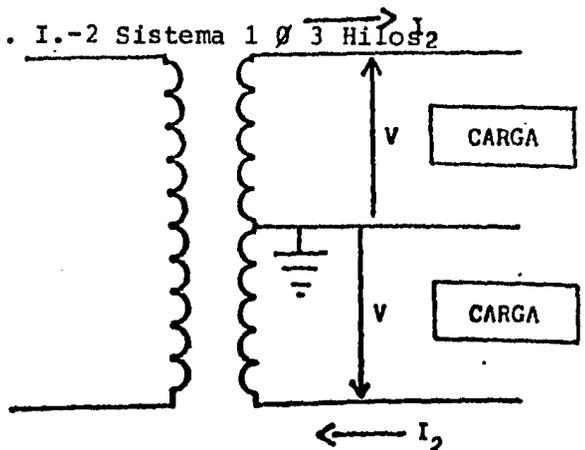


Fig. I.-2 Sistema 1  $\phi$  3 Hilos



Para nuestra comparación:

Llamamos;

$p$  = potencia real transmitida.

$p_e$  = pérdidas por efecto joule.

$v$  = tensión a tierra.

$I_1, I_2, I_3, I_4$ , = corrientes que circulan por los conductores como se indica en las figuras.

$R_1$  = Resistencia de cada conductor en un sistema monofásico de dos hilos.

$R_2$  = Resistencia de cada conductor en un sistema monofásico de tres hilos.

$R_3$  = Resistencia de cada conductor en un sistema trifásico de tres conductores.

$R_4$  = Resistencia de cada conductor en un sistema trifásico de cuatro hilos.

Se supone que la carga está equilibrada y el f.p. de las cargas es el mismo en todos los casos.

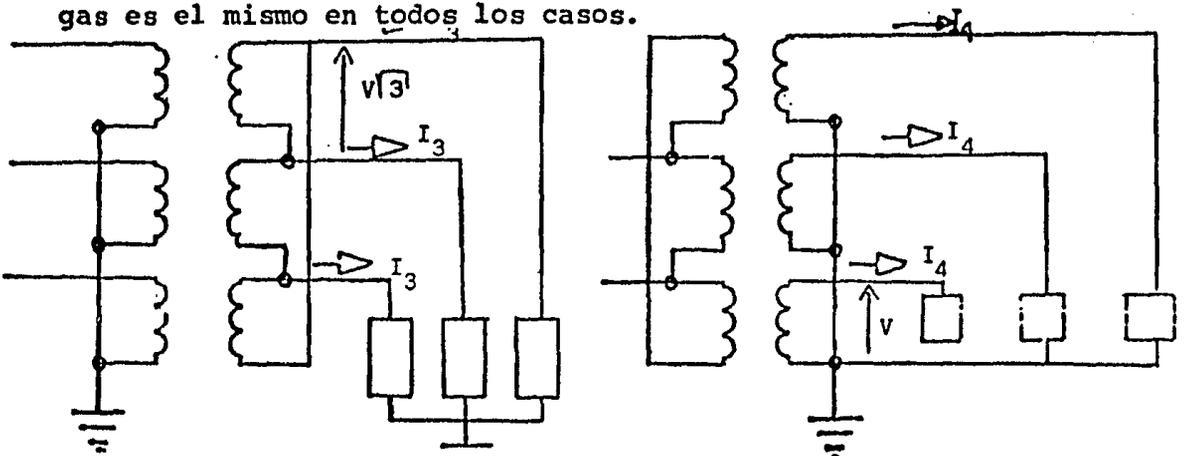


Fig. I.-3 Sistemas trifásicos de tres y cuatro hilos.

Para el caso de un sistema monofásico de dos hilos:

$$P = v I_1 \cos \phi$$

$$P_e = 2 R_1 I_1^2$$

$$I_1 = \frac{P}{v \cos \phi}$$

$$P_e = \frac{2 R_1 P^2}{v^2 \cos^2 \phi}$$

Para el caso de un sistema trifásico de tres hilos.

$$P = 3 v I_3 \cos \phi$$

$$P_e = 3 R_3 I_3^2$$

$$I_3 = \frac{P}{3 v \cos \phi}$$

$$P_e = \frac{3 R_3 P^2}{9 v^2 \cos^2 \phi}$$

Igualando las pérdidas en los dos casos anteriores.

$$\frac{2 R_1 P^2}{v^2 \cos^2 \phi} = \frac{3 R_3 P^2}{9 v^2 \cos^2 \phi}$$

despejado tenemos:

$$\frac{R_3}{R_1} = 6$$

## I.2 ESTUDIO ECONOMICO

Si tenemos en cuenta que para la misma longitud y la misma resistencia, el área de la sección transversal de los conductores es inversamente proporcional a la resistencia y directamente proporcional al peso. Por lo tanto el costo de los conductores es directamente proporcional al área.

Ahora si llamamos;  $C_1$ , al peso de cada conductor del sistema monofásico de dos hilos y  $C_3$  al peso de cada conductor del sistema trifásico de tres hilos, tenemos:

$$\frac{C_3}{C_1} = \frac{1}{6}$$

Si en el primer caso hay dos conductores y en el segundo hay tres .

$$\frac{3C3}{2C1} = \frac{1}{6} \times \frac{3}{2} = \frac{1}{4}$$

En donde nos damos cuenta que el peso de los conductores del sistema trifásico es la cuarta parte del peso de los conductores del sistema monofásico.

Comparemos el costo de los conductores de un sistema monofásico de tres hilos con un trifásico de cuatro hilos.

La sección del tercer hilo del sistema monofásico y el cuarto hilo del sistema trifásico son respectivamente la mitad de las secciones de los conductores de fase correspondiente. Tomando en cuenta que la carga conectada es equilibrada, no circulará ninguna corriente por los neutros.

Para el caso del sistema monofásico de tres hilos se tiene:

$$P = 2VI_2 \cos \phi \quad I_2 = \frac{P}{2V \cos \phi}$$

$$P_e = 2 R_2 I_2^2 \quad P = \frac{2R_2 P^2}{4V^2 \cos^2 \phi}$$

En el caso del sistema trifásico de cuatro hilos, tenemos -- que tomando en cuenta que se conectan cargas equilibradas, -- no circula corriente por el neutro, se tiene la misma expresión para las pérdidas hallada en el trifásico de tres hilos.

$$P_e = \frac{3R_4 p^2}{9 V^2 \cos^2 \phi}$$

Igualando las pérdidas en los dos casos:

$$\frac{2R_2 p^2}{4V^2 \cos^2 \phi} = \frac{3R_4 p^2}{9V^2 \cos^2 \phi}$$

donde:

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{3}{2}$$

Si  $C_2$  es el peso de un conductor de fase del sistema monofásico de tres hilos y  $C_4$  el peso de un conductor de fase del sistema trifásico de cuatro hilos:

$$\frac{C_4}{C_2} = \frac{2}{3}$$

Tomando en cuenta que la existencia del conductor neutro en ambos sistemas, cuya sección es la mitad de la sección de los conductores de fase:

$$\begin{array}{l} \text{Peso conductores 3 } \phi \text{ 4 hilos} = \frac{2 \times 3.5}{3} = 7 \\ \text{Peso conductores 1 } \phi \text{ 3 hilos} \quad \quad \quad 3 \times 2.5 \quad 7.5 \end{array}$$

O sea, que el sistema trifásico de cuatro hilos resulta algo más económico desde el punto de vista de los conductores. Actualmente se usan sistemas de corriente monofásica únicamente en algunos sistemas de distribución en el Noroeste de la República.

La tendencia actual en México, es la de usar sistema monofásico de tres hilos ya que el trifásico es un poco más económico pero los accesorios de montaje son más y eso encarece su utilización.

Ahora para contrarrestar que la potencia monofásica sea pulsante lo que se hace es que de la alimentación trifásica se haga la distribución monofásica y así se evita que la potencia de todo sistema sea pulsante y se convierta en una potencia constante como lo es de un sistema trifásico normal.

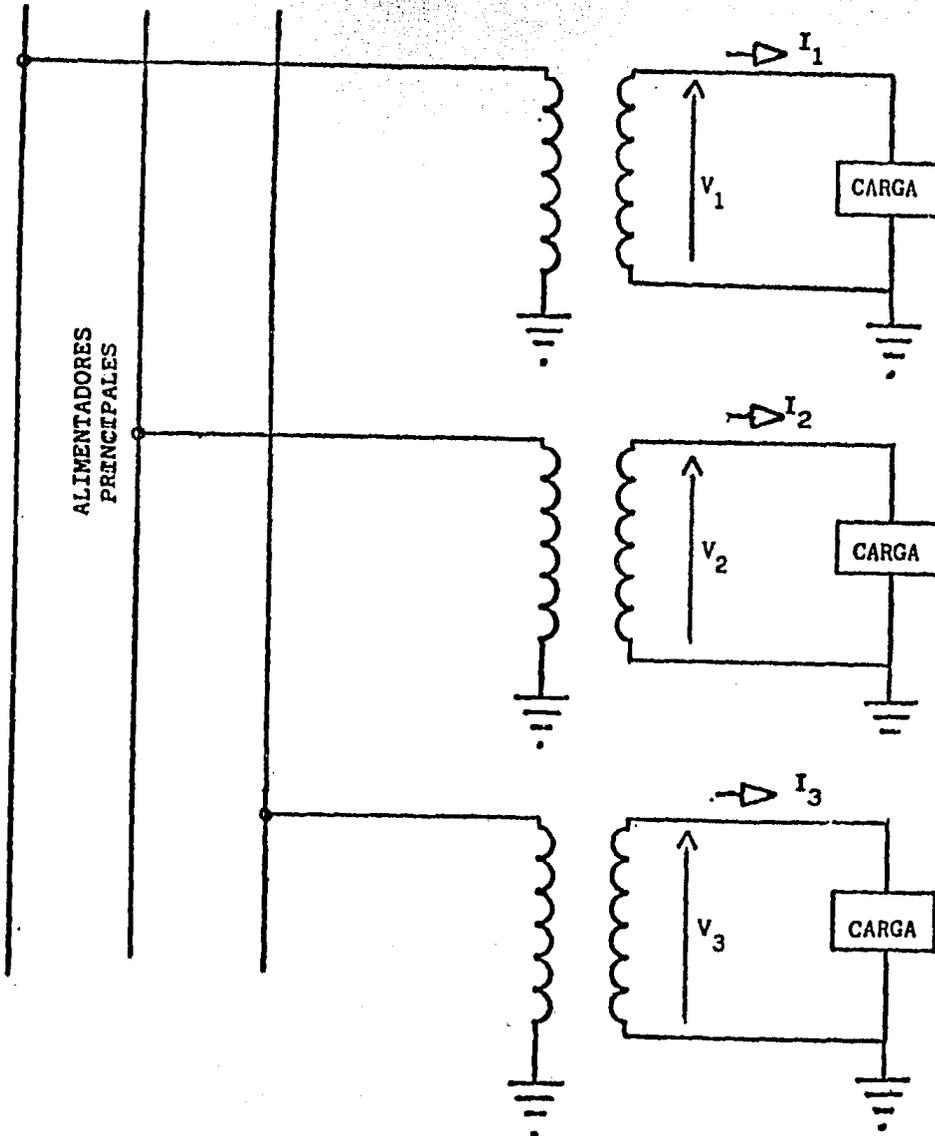


Fig. I.-4 Sistema trifásico.

Análisis de la potencia real y reactiva en los sistemas de corriente alterna monofásicos.

Considerando un circuito de corriente alterna monofásico - en donde el voltaje y la corriente se expresan:

$$V = V_m \text{ Sen } (\omega t)$$

$$I = I_m \text{ Sen } (\omega t + \phi)$$

En donde la potencia instantánea es igual a:

$$P = v i = (V_m \text{ sen } \omega t) (I_m \text{ sen } (\omega t + \phi))$$

Desarrollando  $\text{sen } (\omega t + \phi)$  y sustituyéndolo en la ecuación anterior:

$$P = V_m I_m \text{ sen } \omega t (\text{sen } \omega t \cos \phi + \cos \omega t \text{ sen } \phi)$$

$$P = V_m I_m (\text{sen}^2 \omega t \cos \phi + \cos \omega t \text{ sen } \omega t \text{ sen } \phi)$$

pero:

$$\text{sen } \omega t \cos \omega t = \frac{1}{2} \text{sen } 2 \omega t$$

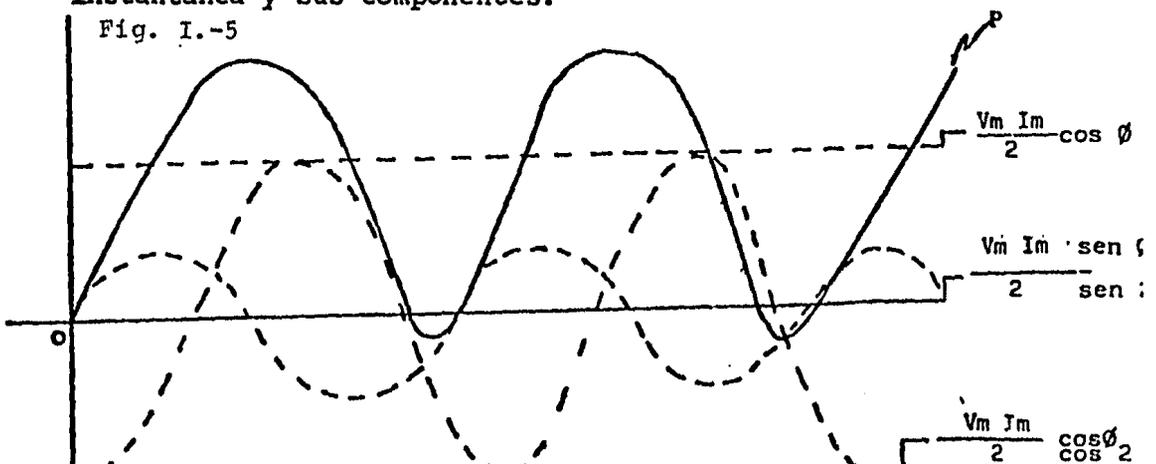
$$\text{sen}^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

por lo tanto:

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) + \frac{V_m I_m}{2} \text{sen } \phi \text{sen } 2\omega t$$

En la siguiente figura representamos la gráfica de la potencia instantánea y sus componentes.

Fig. I.-5



El primer término de la ecuación anterior

$$\frac{V_m I_m}{2} \cos \phi (1 - \cos 2 \omega t)$$

representa potencia instantánea que varía un mínimo igual a cero y un máximo igual a  $V_m I_m \cos \phi$ . Su valor medio durante un número entero de períodos es:

$$\frac{V_m I_m}{2} \cos \phi$$

Que nos representa la potencia real o activa que se denota como (p).

Teniendo en cuenta que:

$$V = \frac{V_m}{2}$$

$$I = \frac{I_m}{2}$$

donde V e I, representan los valores eficaces del voltaje y corriente respectivamente, la potencia real puede expresarse como:

$$P = V I \cos \phi$$

donde V está en volts e I en Ampers ,  $\cos \phi$  es el factor de potencia . . . P está en watts.

Análisis de la Potencia real y reactiva de los sistemas de corriente alterna trifásicos equilibrados.

Considerando un sistema trifásico equilibrado representado por los fasores mostrados:

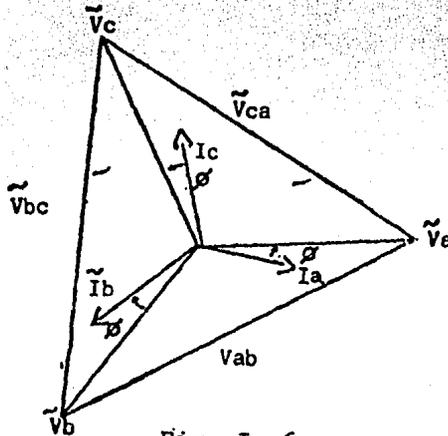


Fig. I.-6

FASORES DE VOLTAJES Y CORRIENTES CORRESPONDIENTES A UN CIRCUITO TRIFÁSICO EQUILIBRADO.

Definimos, la potencia real trifásica es la suma de las potencias reales de las tres fases

$$P_3 = V_a I_a \cos \phi + V_b I_b \cos \phi + V_c I_c \cos \phi$$

$$P_3 = 3 V_a I_a \cos \phi$$

donde  $V_a$  es el valor eficaz del voltaje a neutro de una de las fases,  $I_a$  es el valor eficaz de la corriente correspondiente y  $\cos \phi$  es el factor de potencia.

También la Potencia real trifásica se puede expresar en función del voltaje entre fases, notando que:

$$\sqrt{3} V_{ab} = V_a \quad 3$$

Por lo tanto:

$$P = \sqrt{3} V_{ab} I_a \cos \phi$$

Análogamente, llamamos potencia reactiva trifásica a la suma de las potencias reactivas de las tres fases:

$$Q_3 = V_a I_a \sin \phi + V_b I_b \sin \phi + V_c I_c \sin \phi$$

$$Q_3 = 3 V_a I_a \sin \phi$$

Si expresamos la potencia reactiva en función del voltaje entre fases:

$$Q_3 = \sqrt{3} V_{ab} I_a \sin \phi$$

De lo anterior podemos determinar la potencia aparente trifásica que es la suma de la potencia aparente de las tres fases:

$$S_3 = V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c$$

$$S_3 = 3 V_a I_a$$

$$S_3 = \sqrt{3} V_{ab} I_a$$

## I.-3 VOLTAJES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.

Los sistemas de distribución tienen como función fundamental suministrar a los consumidores la energía eléctrica producida en las plantas generadoras y transmitida por el sistema de transmisión hasta las subestaciones de distribución.

Un sistema de distribución comprende los alimentadores primarios que parten de las subestaciones de distribución, los transformadores de distribución para reducir la tensión al valor de utilización por los clientes y los circuitos secundarios hasta la entrada de la instalación del consumidor.

Los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución son de 3 ó 4 hilos; las derivaciones de la alimentación troncal pueden ser trifásicas o monofásicas.

Las tensiones entre hilos varían según los sistemas de distribución, tensiones de 2.5 a 35 Kv.

Las tensiones más bajas corresponden a instalaciones antiguas, las tendencias modernas es utilizar tensiones de 15 Kv ó superior. En la República Mexicana se emplean actualmente tensiones de 6 kv, 13.2Kv, y 23 kv, aunque la tendencia es tratar de utilizar solo la tensión de 23 kv; para esto la C.L. y F. está tratando de eliminar la tensión de 6 kv ya que la gran parte de sus alimentadores se encuentran en las zonas del centro de la Ciudad y son las más antiguas en el sistema.

Los circuitos secundarios son generalmente trifásicos de 4 hi-

los de 115/a 127 volts entre fase y neutro (200 y 220 de fase a fase) o de 220/240 de fase a neutro ( 380 a 415 volts fase - a fase).

Esta segunda tensión de voltaje en México no es muy usual aunque es recomendable para la Industria; aunque la instalación de una planta industrial arroja un mayor costo de instalación inicial este se amortiza con un menor consumo de energía, este tipo de voltaje está generalizado en Europa y E.U.

Se usa mucho el sistema monofásico de tres hilos de 120/240 y. Tensiones de distribución secundaria recomendadas por CEBI.

Partiéndose de la diversidad de tensiones de distribución secundaria existentes en el mundo, la Comisión Electrotécnica Internacional ha agrupado las tensiones recomendadas en las siguientes series:

<u>TIPO DE SERVICIO</u>	<u>SERIE I VOLTS</u>	<u>SERIE II VOLTS</u>
Trif. , 4 hilos	127/220	120/208
Trif. , 3 hilos	220	240
Trif. , 4 hilos	220/380	240/415
Trif. , 3 hilos	380	480
Trif. , 3 hilos	500	600
Monof. , 2 hilos	127	120
Monof. , 2 hilos	220	-
Monof. , 3 hilos	-	120-240
Monof. , 2 hilos	-	240

La CEI recomienda que en cada país se usen únicamente voltajes de una de las dos series.

#### I -4 SISTEMAS DE DISTRIBUCION SUBTERRANEA RADIAL

---

Los sistemas de distribución radial subterráneos se usan en zonas urbanas de densidad de carga media y alta.

Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los aéreos, pero cuando se produce una falla es más difícil de localizar y su reparación se lleva más tiempo, no así en los sistemas de distribución aéreos ya que la falla se puede localizar a simple vista ( una línea caída, un transformador quemado, etc.) y su reparación se efectúa en menos tiempo. Por ésta razón para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación del sistema en el caso de los sistemas radiales subterráneos se instalan seccionadores para permitir conectar los circuitos secundarios, para que en caso de falla o desconexión de un transformador, se puedan conectar sus circuitos secundarios a un transformador contiguo, como se puede ver en la fig. siguiente

Por definición en un sistema radial el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente de carga

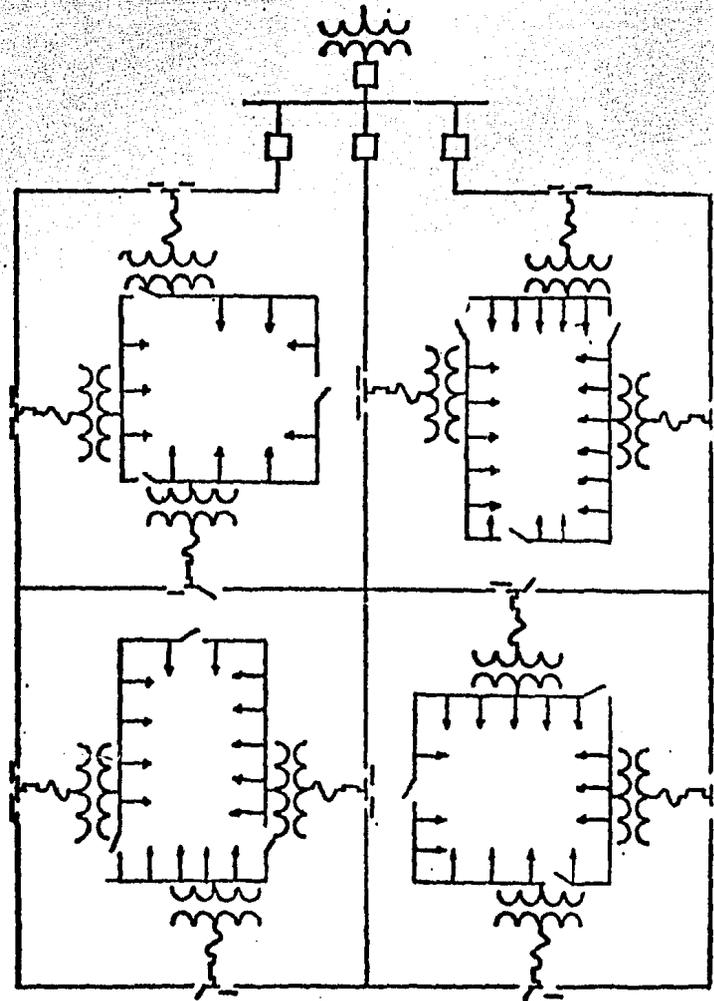


Fig. I.-7

-  Desconectadores normalmente cerrados
-  Desconectadores normalmente abiertos

**SISTEMA DE DISTRIBUCION RADIAL SUBTERRANEO. (DIAGRAMA UNIFILAR)**

I.-5 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA EN ANILLO.

Actualmente existe la tendencia a realizar la distribución eléctrica de zonas residenciales y suburbanas mediante instalaciones subterráneas. Generalmente los alimentadores primarios consisten en cables subterráneos dispuestos formando un anillo que funciona normalmente abierto, conectados a un alimentador aéreo próximo. En la sig. figura se muestra un diagrama unifilar de una instalación de este tipo

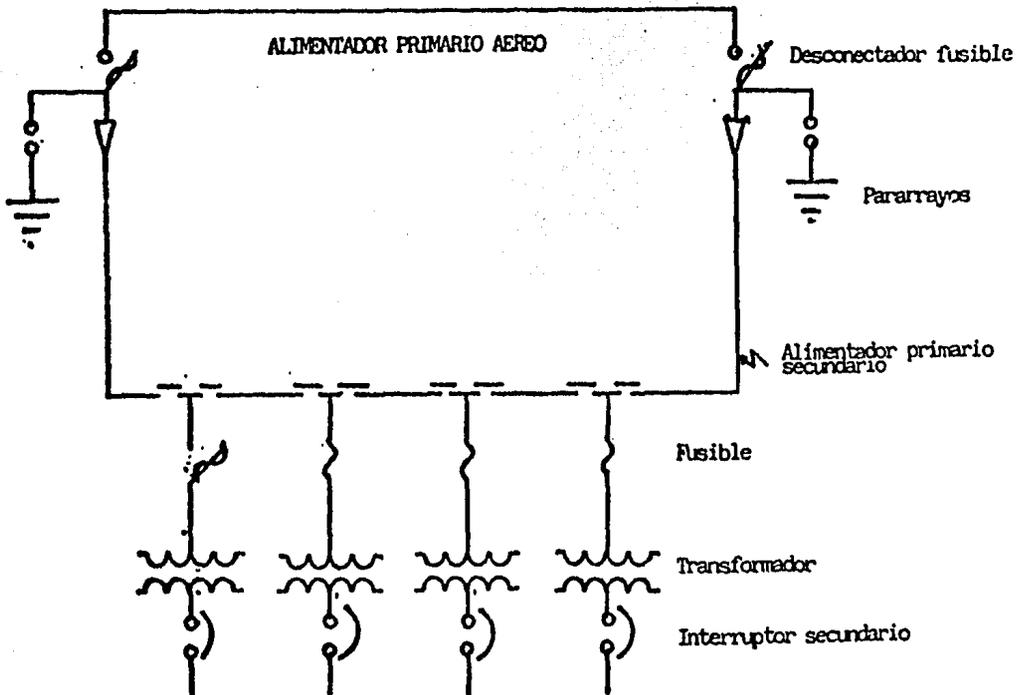


Fig. I.-8

**SISTEMAS DE DISTRIBUCION EN ANILLO NORMALMENTE ABIERTO, PARA ZONAS RESIDENCIALES SUBURBANAS.**

Cuando ocurre una falla de aislamiento en un alimentador primario, la protección de dicho alimentador automáticamente hace abrir el interruptor correspondiente de la subestación. La falla también es alimentada desde la red secundaria, lo que provoca la apertura de los protectores de red de los transformadores conectados al alimentador primario afectado por la falla.

Para restablecer al alimentador una vez que la falla se eliminó basta con cerrar el interruptor de la subestación, lo que provoca el cierre automático del protector de red.

La red automática se diseña de manera que pueda funcionar satisfactoriamente con un alimentador primario fuera de servicio. El protector de red incluye fusibles cuya función es proteger contra fallas del mismo protector o servir como protección de respaldo para fallas en el transformador o en los alimentadores primarios y la red secundaria.

La mayoría de las redes automáticas secundarias están diseñadas de manera que una falla en la red secundaria se elimine sin necesidad que opere ninguna protección, al quemarse el cable en el punto de falla. Este sistema funciona con voltajes secundarios de 120/208 volts ó 125/216 volts, que son los más utilizados en este tipo de instalaciones, ya que estos voltajes no son suficientes para mantener el arco eléctrico; se requiere que también la corriente de corto circuito sea de intensidad suficiente para quemar el cable en el punto de falla y eliminar así la falla.

Períodicamente, (por ejemplo una vez al año) deben hacerse -  
pruebas de continuidad a la red, para localizar los puntos -  
donde se han presentado fallas y proceder a repararlas.

## RED AUTOMÁTICA SECUNDARIA

Este sistema de distribución se utiliza en zonas urbanas de gran densidad de carga y proporciona un grado de continuidad de servicio muy elevado. Las instalaciones son subterráneas.

La red secundaria está constituida por alimentadores secundarios, trifásicos de 4 hilos, interconectados formando una malla, siguiendo el trazado de las calles de la zona urbana a la que le suministra la energía eléctrica y de la que se derivan los servicios a los consumidores.

La red secundaria se alimenta de varios alimentadores primarios, trifásicos radiales, procedentes de una misma subestación, a través de transformadores de distribución trifásicos, conectados del lado de baja tensión a los nudos de la red secundaria.

Estos transformadores están conectados al alimentador primario correspondiente, por medio de unas simples cuchillas desconectadoras y a la red secundaria por un protector de red de aire operado automáticamente por un relevador principal direccional y un relevador de fase auxiliar, que tiene como función abrir el protector de red cuando la potencia eléctrica fluye de la red secundaria al alimentador primario y cerrar el protector de red cuando el voltaje en las terminales secundarias del transformador es mayor que el de la red secundaria y ambas están en fase aproximadamente, de tal manera que al cerrar el --

protector la potencia eléctrica circula del alimentador primario a la red secundaria.

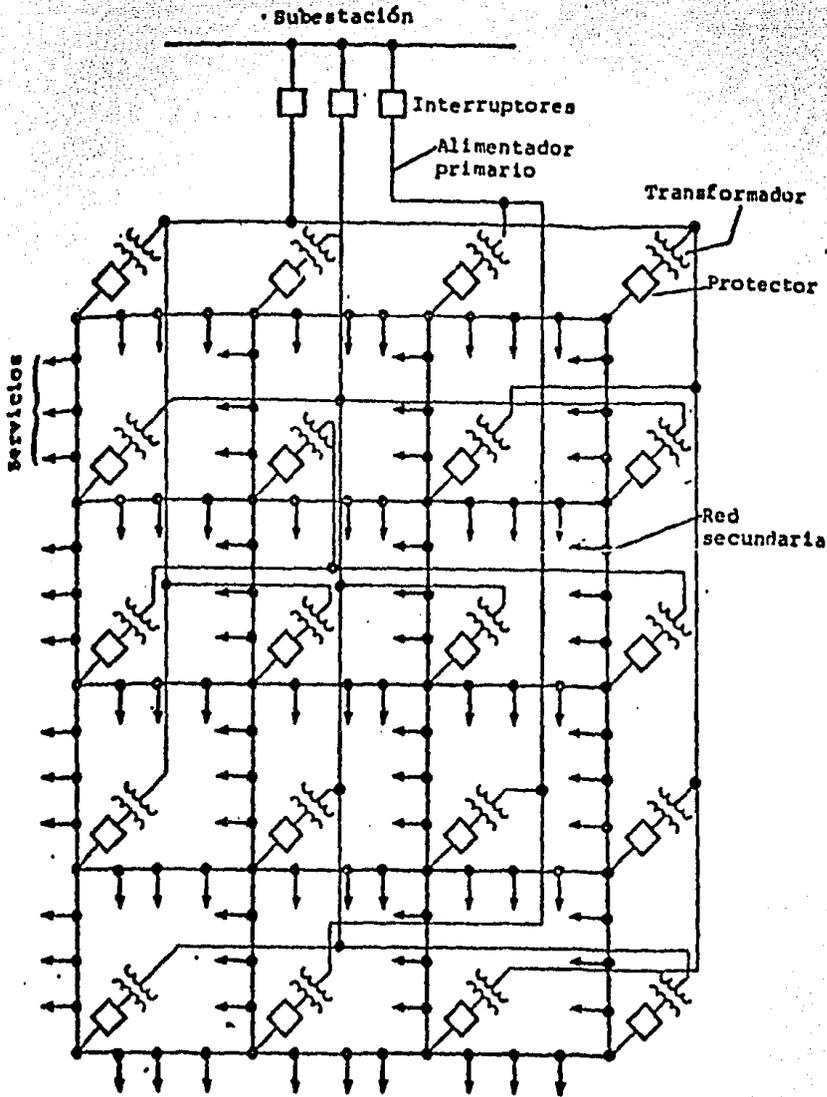


Fig. I.-9 Red de distribución automática secundaria.

En redes automáticas secundarias con voltajes más altos que los mencionados anteriormente el procedimiento de automatización en la extinción de fallas nos es siempre seguro.

En estos casos se recurre a realizar la protección mediante limitadores, que son piezas de cobre de menor sección que los alimentadores secundarios, que se instalan en serie con estos cerca de la unión de la red y que cuando hay una sobrecorriente de suficiente magnitud se funden antes que se dañe el cable.

En caso de cargas concentradas de gran magnitud, que pueden afectar el buen funcionamiento de una red automática secundaria convencional, puede recurrirse a un arreglo como el mostrado en la figura.

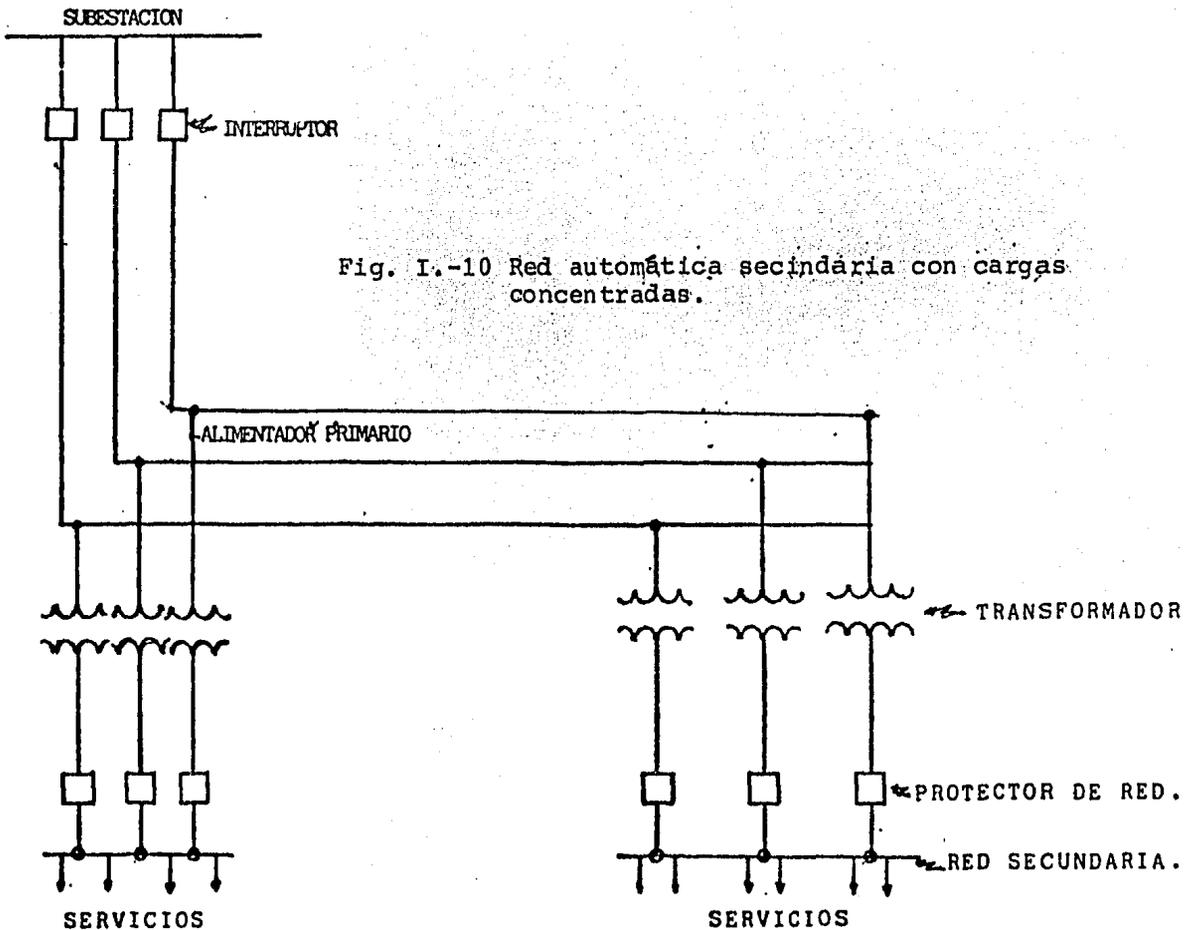


Fig. I.-10 Red automática secundaria con cargas concentradas.

## I.-6 "EJEMPLO PRACTICO DE UNA RED DE DISTRIBUCION"

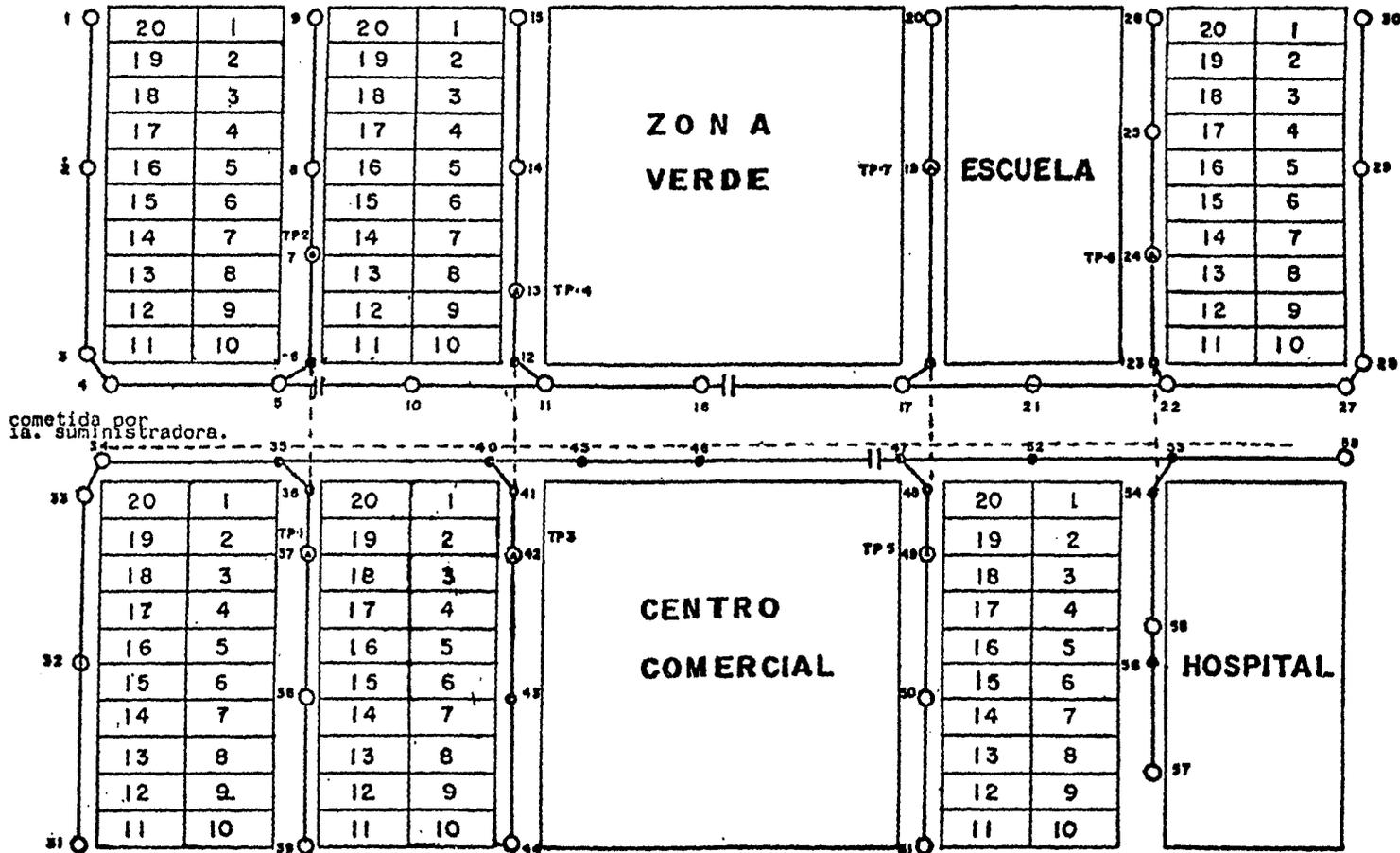
CAIDA DE TENSION EN LA LINEA DE A.T.

## Relación de carga instalada.

Centro Comercial	-----	1000	KVA
Hospital	-----	300	KVA
Escuela	-----	30	KVA
Zona Verde	-----	15	KVA
Bomba de Agua	-----	15	KVA
Lotes y alumbrado público	-----	300	KVA
	TOTAL	1660	KVA.

## DATOS

KVA. instalados	=	1660 Kva.
frecuencia	=	60 Hz.
cos $\phi$	=	0.85 (f.p.)
sen $\phi$	=	0.526
voltaje línea A.T.	=	23000 volts.
voltaje línea B.T.	=	220/127 volts.
longitud	=	0.610 km.
resistencia	=	0.340 $\Omega$ /km. para calibre de 1/0)
factor de carga	=	0.7
diámetro de conductor	=	9.35 mm. (para calibre 1/0)



26

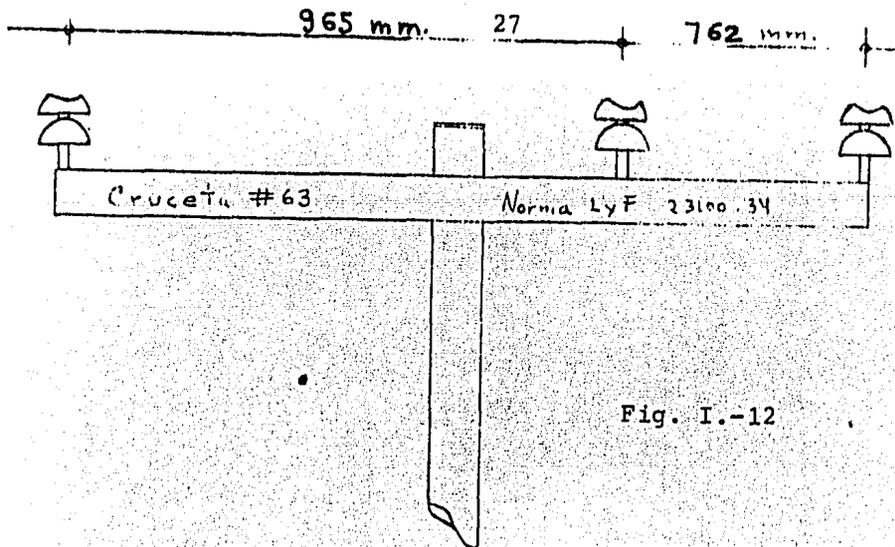
**SIMBOLOGIA:**

- x-----x Mufa de A.T.
- x Mufa de B.T.
- Línea de A.T.
- ~ Portafusible
- Y Apartarrayos

Esc.1:200

Fig. I.-11

- ▲ Poste de acero.
- Transformador de poste (T.P.)
- Poste de concreto de 40" (C-40)
- Poste de concreto de 35" (C-35)
- Línea de B.T.



La distancia media geométrica por definición es:

$$DMG = \sqrt[3]{d_{AB} \times d_{AC} \times d_{BC}}$$

El radio medio geométrico puede definirse como el radio exterior de un conductor tubular de espesor infinitesimal (de manera que todo el flujo fluye en el exterior de el conductor) - que, para la misma corriente, produce el mismo flujo total que el conductor real al cual sustituye. De tablas se ha obtenido; que para un conductor de 7 hilos del mismo material el RMG. - es de 0.726 r ; donde "r" es el radio exterior del conductor.

#### CALCULO DE LA CORRIENTE DEL SISTEMA

$$I = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \ f}$$

sustituyendo valores.

$$I = \frac{1660 \times 1000}{\sqrt{3} \ 23000}$$

$$I = 41.6 \text{ amp.}$$

I corregida

$$I_c = 41.6 \times 0.7 = 29.16 \text{ amp.}$$

$$I_c = 29.16 \text{ amp.}$$

Cálculo de "L" en la línea

$$L = \left( 2 \operatorname{Ln} \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \right) 10^{-7} \text{ henrys /m}$$

donde:

$$\text{DMG} = + \sqrt[3]{965 \times 762 \times 1727}$$

$$\text{DMG} = 1082 \text{ mm.}$$

$$\text{RMG} = 0.726 \times \frac{9.35}{2}$$

$$\text{RMG} = 3.39 \text{ mm.}$$

sustituyendo valores en la ecuación anterior.

$$L = \left( 2 \operatorname{Ln} \frac{1082}{3.39} \right) 10^{-7} \text{ h/m}$$

$$L = 11.53 \times 10^{-7} \text{ H/m} = (11.53) 10^{-4} \text{ H/KM}$$

$$WL = 2 \pi f L = 2 \times 3.1416 \times 60 \times 11.53 \times 10^{-4}$$

$$WL = 4346.7 \times 10^{-4}$$

$$WL = 0.4346 \text{ h por Km.}$$

La caída de tensión viene dada por:

$$e = I \sqrt{3} (R \cos \phi + WL \sin \phi)$$

sustituyendo valores la ecuación anterior.

$$e = 29.16 \sqrt{3} (0.340 \times 0.85 + 0.4346 \times 0.526)$$

$$e = 26.142 \text{ volts por Km.}$$

La caída en nuestra línea:

$$26.142 \times 0.610 = 15.94 \text{ volts}$$

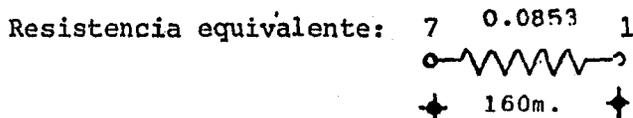
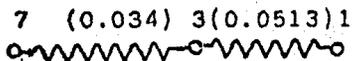
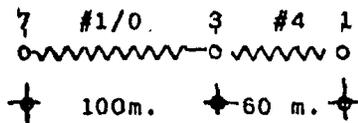
$$\% \text{ de Reg. A.T.} = \frac{23000 - 22984}{23000} \times 100$$

$$\% \text{ reg.} = 0.0693 \%$$

El valor anterior está dentro del valor de norma que es del 3%

Cálculo de caída de tensión en la sección de más longitud de nuestra red de distribución en B.T.

La sección de más longitud está comprendida entre el poste No. 1 y el No. 7, que corresponde al TP-2. En esta sección el calibre del conductor será: del poste No. 7 al No. 3 del No. 1/0, con resistencia de  $0.340 \Omega/\text{Km}$ . y del poste No. 3 al poste No. 1 del calibre No. 4 con resistencia de  $0.856 \Omega/\text{Km}$ .



Carga conectada en la sección será igual al No. de lotes - por 2 Kw más el No. de lámparas por 0.4 Kw. (alumbrado público).

$$\text{Factor de demanda} = 0.7$$

Factor de potencia = 0.85  
 Distancia de la sección = 0.160 Km.  
 Carga de lotes 16x2 = 32 Kw.  
 Carga de alumbrado 7x 0.4 = 2.8 Kw.  
 Carga total 32 + 2.8 = 34.8 Kw.  
 Resistencia  $\Omega/\text{Km} \times \text{Km}$ .

$$R = 0.0853 \times 0.160 = 0.0136 \text{ Ohms}$$

La corriente en la sección.

$$I = \frac{34.8 \times 1000}{3 \times 220 (0.85)} = 107.44 \text{ Amp.}$$

$$I_c = 107.44 \times 0.7 = 75.2 \text{ Amp.}$$

Caída de voltaje en la sección:

$$V_e = 75.2 \times 0.0853 = 6.41 \text{ Volts.}$$

% de regulación en B.T.

$$\% \text{ Reg.} = \frac{220 - 213.59}{220} \times 100$$

$$\% \text{ Reg. B.T.} = 2.9\%$$

Lo cual está dentro de los límites de norma que es del  
 3%

RELACION DE CARGA DE CADA T. P.

NUM DE T. P.	CANTIDAD DE		CARGA EN K.W.			FACTOR DE DEMAND.	K.W.	FACTOR DE POTENC.	K.V.A.	KVA DE TRANS.	% UTILIZABLE	
	Lotes	Alum.P.	Lotes	Alum.P.	Total							
1	30	8	60	3.2	63.2	0.7	44.24	0.85	52.04	75	69.38	
2	30	8	60	3.2	63.2	0.7	44.24	0.85	52.04	75	69.38	
3	10	6	20	2.4	22.4	0.7	15.68	0.85	18.44	45	40.97	
4	10	6	20	2.4	22.4	0.7	15.68	0.85	18.44	45	40.97	
5	20	9	40	3.6	43.6	0.7	30.52	0.85	35.90	45	79.77	
6	20	8	40	3.2	43.2	0.7	30.24	0.85	35.57	45	79.04	
	S E R V I C I O S											
7				ZONA VERDE	12.75							
				BOMBA AGUA	12.75	52.6	0.7	36.82	0.85	43.31	75	57.74
				ESCUELA	25.50							
				ALUMB. PUBLICO (4)	1.60							

M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES

POSTE No.	POSTE TIPO	Norma de C.L.F.	M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES														
			Alta Tens.	Baja Tens.	Alum. Publ.	Apar. Rayos	Port. Fusi.	<u>1</u>	Trans. KVA	Mufa A.T.	Mufa B.T.	Corte B.T.					
1	C-35'	2.0110		X	X												
2	C-35'	2.0110		X	X												
3	C-35'	2.0110		X	X												
4	C-35'	2.0110		X	X												
5	C-35'	2.0110		X	X												X
6	C-40'	4.0006	X	X	X												
7	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X		X	X	X		75						
8	C-35'	2.0110		X	X												
9	C-35'	2.0110		X	X												
10	C-35'	2.0110		X	X												
11	C-35'	2.0110		X	X												
12	C-40'	4.0006	X	X	X												
13	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X		X	X	X		45						
14	C-35'	2.0110		X	X												
15	C-35'	2.0110		X	X												
16	C-35'	2.0110		X	X												X
17	C-35'	2.0110		X	X												
18	C-40'	4.0006	X	X	X												
19	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X		X	X	X		75						
20	C-35'	2.0110		X	X												X

M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES

POSTE No.	POSTE TIPO	Norma de C.L.F.	M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES									
			Alta Tens.	Baja Tens.	Alum Publ.	Apar. Rayos	Port. Fusi.	Trans. KVA	Mufa A.T.	Mufa B.T.	Corte B.T.	
21	C-35'	2.0110		X	X							
22	C-35'	2.0110		X	X							X
23	C-40	4.0006	X	X	X							
24	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X	X	X	X	45			
25	C-35'	2.0110		X	X							
26	C-35'	2.0110		X	X							
27	C-35'	2.0110		X	X							
28	C-35'	2.0110		X	X							
29	C-35'	2.0110		X	X							
30	C-35'	2.0110		X	X							
31	C-35'	2.0110		X	X							
32	C-35'	2.0110		X	X							
33	C-35'	2.0110		X	X							
34	C-40'	2.0110	X	X	X							
35	C-40'	4.0006	X	X	X							
36	C-40'	4.0006	X	X	X							
37	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X	X	X	X	75			
38	C-35'	2.0110		X	X							
39	C-35'	2.0110		X	X							
40	C-40'	4.0006	X	X	X							X

M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES

POSTE No.	POSTE TIPO	Norma de C.L.F.	M A T E R I A L INSTALADO EN CADA UNO DE LOS POSTES									
			Alta Tens.	Baja Tens.	Alum. Publ.	Apar. Rayos	Port. Fusi.	Trans. KVA	Mufa A.T.	Mufa B.T.	Corte B.T.	
41	C-40'	4.0006	X	X	X							
42	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X		X	X	X	45			
43	C-40'	4.0006	X	X	X	X	X	X		X		
44	C-35'	2.0110		X	X							
45	C-40'	4.0006	X	X	X							
46	C-40'	4.0006	X	X	X							
47	C-40'	4.0006	X	X	X							X
48	C-40'	4.0006	X	X	X							
49	A-13X26 T.C.	4.0001	X	X	X	X	X	X	45			
50	C-35'	2.0110		X	X							34
51	C-35'	2.0110		X	X							
52	C-40'	4.0006	X	X	X							
53	C-40'	4.0006	X	X	X							
54	C-40'	4.0006	X	X	X							
55	C-35'	2.0110		X	X							
56	C-40'	4.0006	X	X		X	X	X		X		
57	C-35	2.0110		X	X							
58	C-35'	2.0110		X	X							

## C A P I T U L O I I

REGULACION DE VOLTAJE EN ALIMENTADORES Y PROTECCION DE POTENCIA REACTIVA, BANCOS DE CAPACITORES, ELECCION DE CAPACITORES.

II.-1 Introducci3n.

II.-2 Aplicaci3n de Capacitores.

II.-3 Capacitores Serie.

II.-4 Capacitores en Derivaci3n.

II.-5 Regulaci3n en un Sistema El3ctrico.

II.-6 Potencia Reactiva.

II.-7 Elecci3n de Capacitores.

## II.-1 INTRODUCCION

Uno de los primeros lugares en que pensamos para conseguir los KVAR para una carga, es desde el generador, mismo lugar de donde obtenemos los KW.

Por tanto los KVAR suministrados por el generador pueden ser costosos si no están cercanos a donde se necesitan, ya que el costo para transportarlos debe ser agregado a su costo en el generador. Por supuesto que si los KVAR se necesitan en el sitio del generador, entonces no pueden ser obtenidos por algún otro medio a un precio más bajo.

Los condensadores síncronos son otra fuente de suministro de KVAR solo que su precio instalado es de cinco a siete veces el valor de KVAR en el generador, dependiendo del tamaño de la máquina, ya que las máquinas deben ser grandes con el objeto de conservar el costo bajo. Como regla no pueden estar localizadas cerca de donde los KVAR se requieren. Generalmente los condensadores síncronos se justifican para otras finalidades además de la de alimentar KVAR, tales como su habilidad para reducir las fluctuaciones de voltaje causadas por hornos de arco y su contribución ha mejorado la estabilidad del sistema.

Los capacitores han tenido un costo decreciente a través de los años y pueden estar localizados muy cerca de donde se necesitan los KVAR, así el costo de los KVAR se puede reducir a un mínimo.

. . .

El siguiente capítulo estudiará a los capacitores como el medio más económico y práctico de producir potencia reactiva en un sistema de distribución. También veremos el equipo necesario para el buen funcionamiento de los capacitores.

## II.-2 " APLICACION DE CAPACITORES "

Los objetivos que se persiguen al usar capacitores son a grandes rasgos:

- 1) Mejorar el factor de potencia.
- 2) Aumentar la capacidad de carga de los transformadores y líneas eléctricas.
- 3) Reducir pérdidas por efecto joule.
- 4) Elevar niveles de voltaje y mejorar la regulación:
  - a) compensando la línea.
  - b) compensando la carga.

Es práctico instalar bancos de capacitores para disminuir los problemas debidos a las cargas inductivas, existiendo puntos -- óptimos en los cuales, resultará más conveniente instalar los bancos de capacitores, para lograr así disminuir lo más posible alguno de los problemas vistos. Sin embargo los lugares óptimos donde se localizan los capacitores para la solución de cada uno de los problemas mencionados frecuentemente resulta no ser el -- óptimo para los restantes puntos antes anotados.

La ubicación de capacitores para el mejoramiento de la regulación del voltaje, no significa que no se mejorará el factor de potencia o los otros puntos mencionados, sino que podría haberse corregido más si esa hubiera sido la finalidad del banco de capacitores.

En los casos anteriormente vistos, el banco de capacitores, de ser

posible se instalarán en el lado de alta tensión del sistema, esto se debe a que los capacitores para alta tensión son de 10 a 15 veces más económicos que los de baja tensión, la diferencia de costo se debe a que para alta tensión circulan corrientes más pequeñas.

#### CORRECCION DEL FACTOR POTENCIA

Todas las cargas consumen una corriente formada de una parte real (productora de trabajo) y otra parte inductiva (magnetizante), la razón de la corriente real a la corriente total se le define como factor de potencia, llamado también  $\cos \phi$ ; éste  $\cos \phi$  sirve para conocer la magnitud de la corriente inductiva que está utilizando la carga.

Al existir un bajo factor de potencia aumentará la intensidad de corriente, lo que origina pérdidas por efecto joule ( $RI^2$ ) y fuertes caídas de tensión, obligando a los distribuidores de energía eléctrica a aumentar la potencia de sus plantas generadoras, transformadores y líneas. De ésta manera el distribuidor impone multas al usuario por bajo factor de potencia. La forma más práctica y económica para disminuir el cargo por bajo factor de potencia, es la instalación de capacitores de potencia en el sistema eléctrico.

### " POTENCIA ACTIVA EN LOS TRANSFORMADORES "

La capacidad de los transformadores depende de la relación entre la corriente real y la corriente total. También está afectada - directamente por el factor de potencia, de esta manera, proporcionando potencia reactiva por medio de capacitores se logra un incremento de la potencia activa en el transformador, para que no trabaje con sobrecarga.

### " REDUCCION POR PERDIDAS POR EFECTO JOULE "

Los bancos de capacitores de potencia reducen las pérdidas por - efecto joule, en los tramos de línea que van desde los generadores a los puntos donde están instalados los bancos.

Las pérdidas por calor producidas en las líneas provienen tanto de las corrientes activas como de las reactivas que circulan por las mismas y representan una energía perdida que el consumidor - paga como si hubiese transformado en trabajo productivo.

### " BANCOS FIJOS Y DESCONECTADOS "

Los bancos de capacitores fijos son aquéllos que quedan conectados permanentemente a la línea y para los cuales se tienen solamente algunas operaciones de conexión y desconexión para su mantenimiento.

Están conectados a la línea a través de cuchillas desconectadoras

o cuchillas corta-circuito de fusibles.

Los bancos de capacitores fijos se instalan cuando la demanda de potencia reactiva de la carga que se pretende compensar es : poco variable; cuando se desea reducir pérdidas por efecto -- joule, aumentar la capacidad de carga de transformadores y generadores, conectándose una carga global poco variable, y cuando se trata de elevar los niveles de voltaje en las líneas -- de transmisión y distribución.

Los bancos de capacitores desconectables son aquellos que están diseñados para entrar y salir de operación frecuentemente, ya sea en forma automática o manual.

Estos bancos operan por medio de desconectores fabricados -- especialmente para operar con cargas capacitivas puras; hay -- ocasiones que operan por medio de interruptores.

Estos bancos de capacitores optimizan la calidad y la economía de la distribución y consumo de la energía eléctrica .

Los bancos de capacitores desconectables se instalan cuando se quiere compensar cargas fuertemente variables para corregir el factor de potencia, elevar los niveles de voltaje, reducir pérdidas eléctricas, aumentar la capacidad de carga del sistema, -- mejorar la regulación de voltaje en líneas de transmisión y distribución. Al compensar cargas industriales en ocasiones es necesario instalar bancos de capacitores divididos en una sección fija y varias secciones desconectables, capaces de entrar y sa-

lir de operación, según sean las necesidades de carga.

### "REGULACION DE VOLTAJE"

Al conectar bancos de capacitores en alimentadores de distribución origina beneficios en la regulación de voltaje.

El concepto de regulación no se ha comprendido totalmente cuando se utilizan capacitores en derivación ya que no la corrigen.

Los capacitores no mejoran la regulación a menos que existan -- capacitores desconectables.

La regulación de voltaje con capacitores fijos en derivación es prácticamente la misma que sin ellos, pero el nivel de voltaje es elevado.

### " RELEVACION DE CARGA "

Mediante capacitores se puede reducir la sobrecarga existente - en un sistema o bien si el sistema no está sobrecargado, se puede agregar carga adicional a éste.

Se considera que el factor de potencia de la carga adicional es el mismo que el factor de potencia original.

### " CONTROL DE VOLTAJE "

Se utiliza una combinación de capacitores fijos y desconectables sobre alimentadores de distribución, para evitar el posible uso de derivaciones de los transformadores de distribución. Los capacitores fijos se determinan de acuerdo a las condiciones del

alimentador para baja carga y los capacitores desconectables se determinan de acuerdo a las condiciones del alimentador para carga pico.

### II.-3 " CAPACITORES SERIE "

Cuando se diseña un sistema eléctrico se requiere disminuir la caída de tensión y obtener una mejor regulación.

El concepto de capacitor serie se refiere a que éstos están conectados en serie con la línea y carga.

Ultimamente los capacitores serie se usan en sistemas de distribución donde la carga varía en forma instantánea y ocasiona problemas indeseables a los usuarios.

Los capacitores serie actúan en forma instantánea a los cambios bruscos en el sistema. De esta manera el capacitor serie puede usarse como regulador automático de voltaje.

Otros tipos de reguladores son más lentos en responder a estos cambios.

Estos capacitores mantienen un valor fijo de voltaje como lo hacen los otros reguladores.

Este capacitor mejora un poco el factor de potencia pero su --

principal función es disminuir las caídas de voltaje bruscas.

Los capacitores serie son efectivos cuando el factor de potencia es bajo y atrasado.

#### II.-4 " CAPACITORES EN DERIVACION "

El capacitor en derivación está conectado en paralelo con la carga.

Este capacitor es una reactancia conectada en paralelo con la carga y sirve para mejorar el factor de potencia, reduciendo de ésta manera las pérdidas.

#### II.-5 "REGULACION EN UN SISTEMA ELECTRICO"

La regulación es una de las medidas fundamentales de la calidad del servicio eléctrico y ésta debe suministrarse a los usuarios a un bajo costo.

La regulación que ocurre entre el bus generador y los consumidores se debe a la impedancia del circuito, la cual en la mayoría de los casos es de tipo inductivo.

En todo sistema eléctrico la potencia debe suministrarse a los usuarios en condiciones apropiadas y mantener las variaciones de voltaje dentro de los límites tolerables. Los transformadores tipo regulador, capacitores en derivación y líneas reforzadas, se mencionan como posibles medios de regulación. Sin embargo, estos dispositivos no responden a las caídas momentáneas de vol-

taje cuando se requiere una regulación rápida. Esta función la realizan con bastante rapidez los capacitores serie.

**" PROBLEMAS TECNICOS DE SELECCION Y  
OPERACION DEL BANCO DE CAPACITORES SERIE "**

---

**FERRO-RESONANCIA**

La ferro-resonancia en un sistema de distribución compensado serie, se presenta cuando el banco de capacitores se instala cerca de un transformador de distribución sin carga o con poca carga - conectada, ya que al energizarse éste, puede elevarse la tensión en el primario del transformador, saturarlo, bajando su reactancia; y formando un circuito resonante que permite la circulación de elevadas corrientes.

**" RESONANCIA SUBSINCRONA "**

La resonancia subsíncrona se produce por razones similares.

Cuando en un sistema compensado serie, las frecuencias naturales de éste pueden dar origen a tensiones y frecuencias subsíncronas.

Los capacitores serie han constituido un importante factor en los sistemas de distribución, principalmente donde la carga varía en forma instantánea y ocasiona problemas indeseables a los usuarios.

Los capacitores serie actúan en forma instantánea a los cambios bruscos en el sistema.

" COMPENSACION DE LA REACTANCIA INDUCTIVA "

La compensación con capacitores serie, es un método para reducir la impedancia de la línea, reduciendo así la caída de tensión. El término capacitor serie se refiere al hecho de que éstos se conectan en serie con la línea y carga.

Existen capacitores de construcción especial para uso en serie, pero pueden emplearse con muy buenos resultados capacitores estándares, siempre y cuando se especifiquen debidamente.

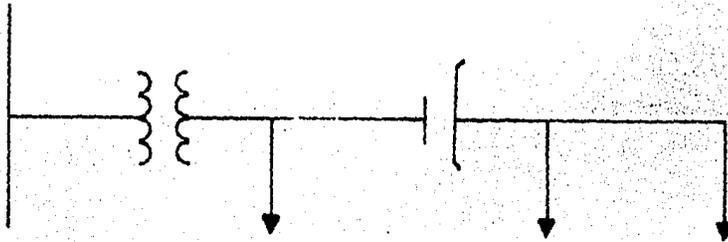


Fig. II.-1 Conexión del capacitor serie en una red de distribución (Fig.)

Debido a la conexión de los capacitores serie con la carga, éstos producen una caída de tensión defasada  $180^\circ$  con respecto a la caída a través de la reactancia inductiva del alimentador. Por lo tanto, la reactancia capacitiva es opuesta a la reactancia inductiva y tiene el efecto de una reactancia negativa.

Los capacitores serie compensan en forma efectiva parte de la caída inductiva, disminuyendo la caída de tensión a través del alimentador.

. . .

Si el capacitor se conecta en serie con la línea, la cantidad de corriente que fluye en ésta, será la misma en cualquier lado del capacitor y no existirá cambio alguno en el voltaje o factor de potencia, excepto entre el capacitor y la carga.

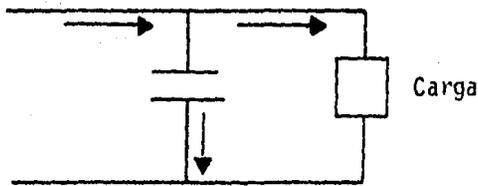
En líneas de distribución la reactancia inductiva y la resistencia se encuentran distribuidas a lo largo de todo el circuito, no así la reactancia capacitiva que se concentra en el punto donde se localizan los capacitores. El valor de la reactancia inductiva proporciona el medio para el diseño de bancos de capacitores serie.

Los capacitores serie no sostienen un valor fijo de voltaje como lo hacen los otros tipos de reguladores. Debido a la reducción de la reactancia inductiva del circuito, se reduce la impedancia total del sistema y así, se logra aumentar la capacidad de éste con la misma tolerancia de regulación, lográndose un ahorro de capital invertido. Los capacitores serie tienen una función muy especial, por lo que su rango de aplicación es muy limitado. Para ciertas aplicaciones se considera al capacitor como un regulador de voltaje que da una elevación de tensión proporcional a la magnitud y factor de potencia de la corriente.

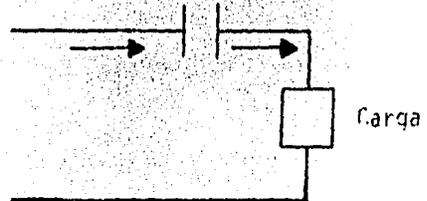
**" DIFERENCIAS ENTRE EL CAPACITOR SERIE Y EL  
CAPACITOR EN DERIVACION "**

---

El capacitor serie es un capacitor que se conecta en serie con la línea y la carga. Similarmente un capacitor en derivación, es un capacitor conectado en paralelo con la carga.



Capacitor en derivación



Capacitor en serie.

Fig. II.-2 Conexión de los capacitores en los circuitos de distribución (ver fig.)

Aunque la diferencia entre el capacitor serie y el capacitor en derivación, es la forma en la cual son conectados al circuito, - cada uno de ellos lleva a cabo diferentes funciones.

El capacitor en derivación es una simple reactancia conectada en paralelo con la carga y se usa fundamentalmente para mejorar el factor de potencia, logrando con ésto reducir las pérdidas y el estado de cuenta del sistema. El capacitor en derivación puenteado no mejora la regulación de voltaje para grandes cargas conectadas en el extremo del alimentador.

El capacitor serie difiere el regulador de voltaje, en la forma - de que el capacitor no puede compensar variaciones originadas en

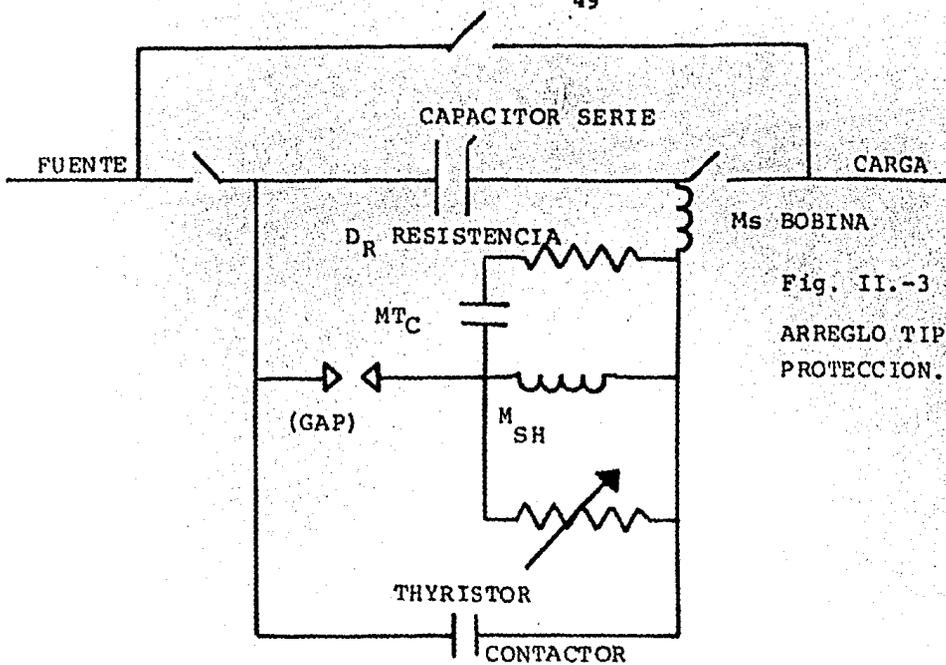


Fig. II.-3  
ARREGLO TÍPICO DE PROTECCION.

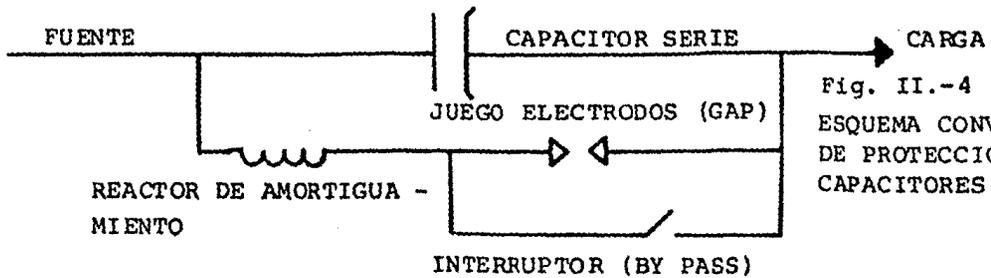


Fig. II.-4  
ESQUEMA CONVENCIONAL DE PROTECCION DE LOS CAPACITORES.

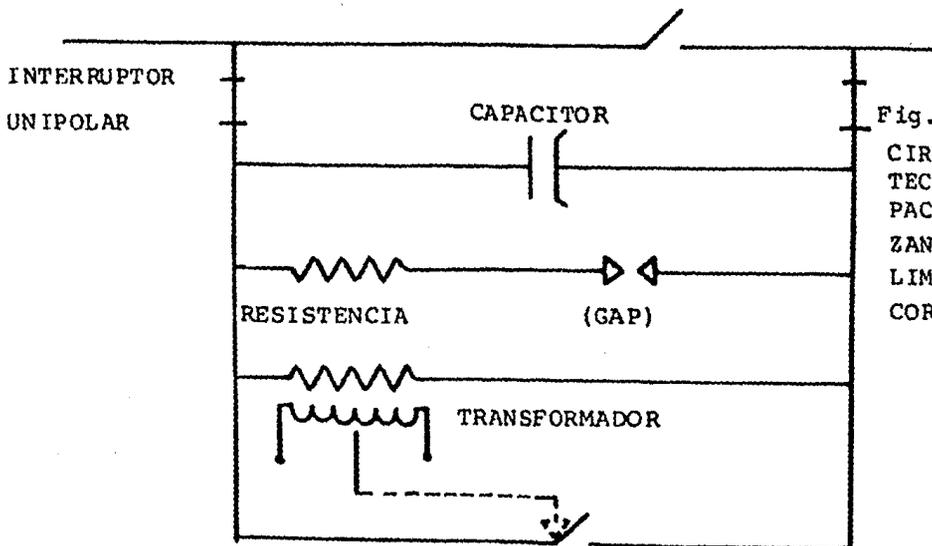


Fig. II.-5  
CIRCUITO DE PROTECCION DE LOS CAPACITORES UTILIZANDO RESISTENCIA LIMITADORA DE CORRIENTE.

la fuente de alimentación. Los capacitores serie no mantienen un valor fijo de voltaje como lo hacen los otros tipos de reguladores, sin embargo, su respuesta a los cambios de la carga es instantánea. El capacitor serie en condiciones normales mejora un poco el factor de potencia, pero su principal función es disminuir las caídas graves de voltaje que se producen en el arranque de grandes motores de inducción.

#### " PROTECCION DE LOS CAPACITORES SERIE "

Los capacitores serie se deben de proteger en el caso de existir condiciones anormales en los circuitos donde se encuentran instalados. Los daños en las unidades pueden llegar a ser de tal magnitud que lleguen a destruir toda la unidad.

Los casos en los que un banco de capacitores puede fallar debido a fallas en el sistema, son aquéllos en los que se puede dañar el dieléctrico de alguna unidad, tal como podrá ser el caso de una falla monofásica ó condiciones de sobrecarga. Bajo estas condiciones pueden aparecer sobrevoltajes en las terminales del banco debido a la corriente que está circulando a través del capacitor y dañarlo. Por tal motivo debe buscarse un dispositivo que lo proteja en estos casos. Entre los dispositivos de protección para los capacitores serie, tenemos los siguientes:

- a) Protección durante falla de una línea.
- b) Protección contra fallas del dieléctrico.
- c) Protección contra sobretensiones.
- d) Circuitos de relevadores,

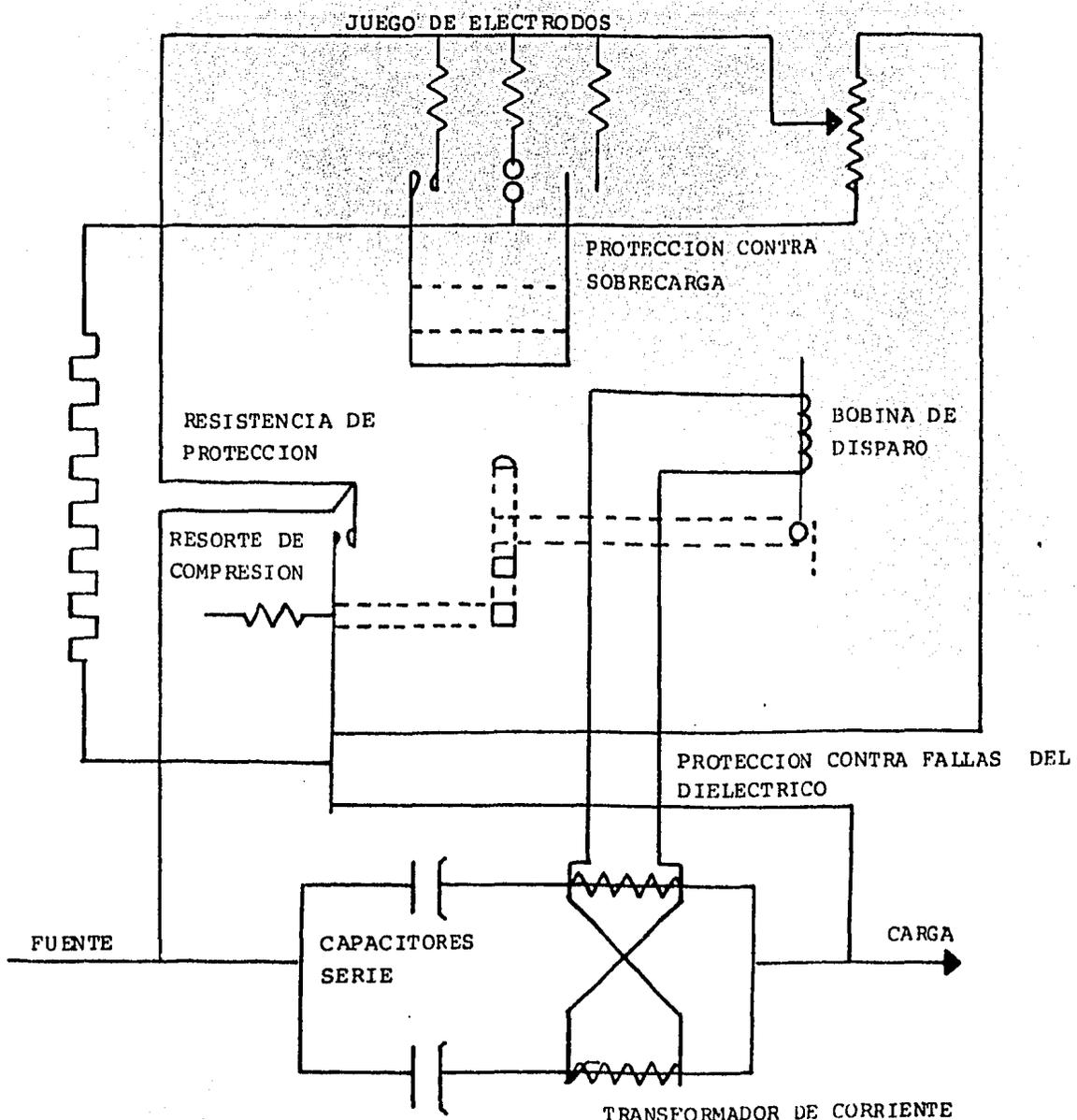


Fig. II.-6  
DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE PROTECCION DE LOS CAPACITORES SERIE.

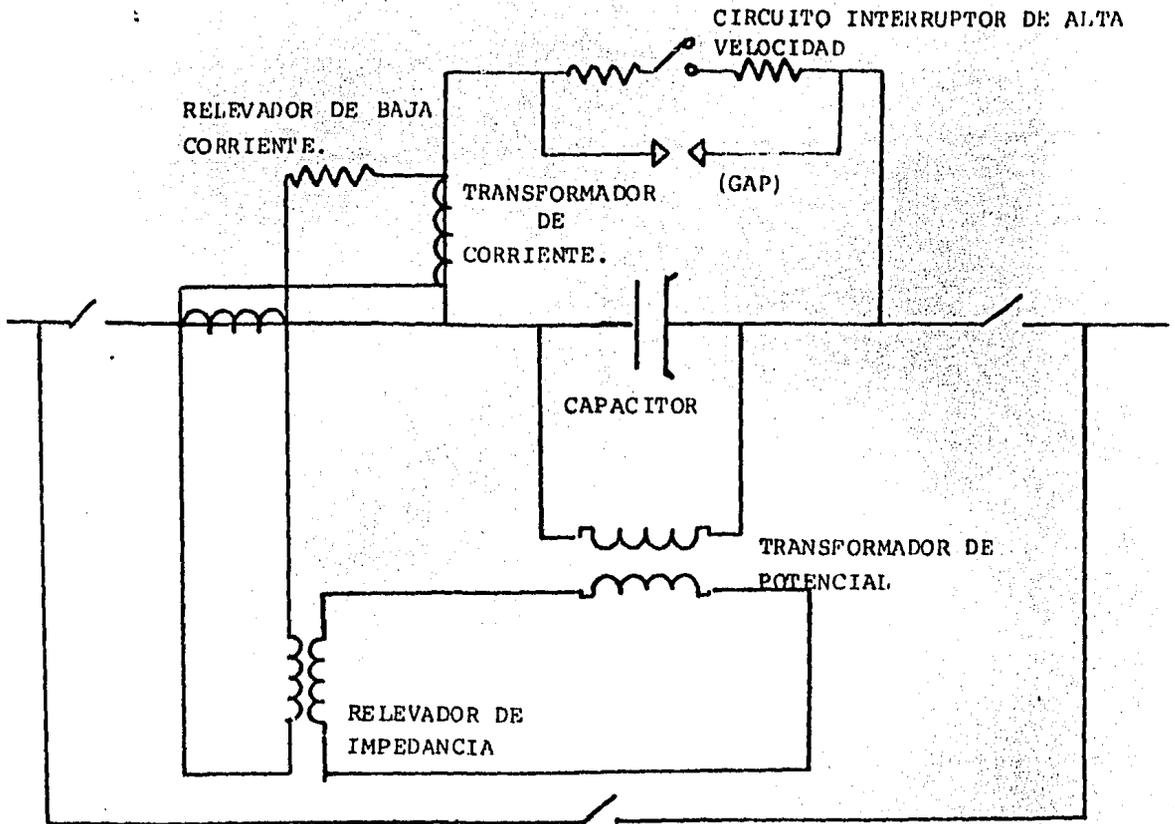


DIAGRAMA ELEMENTAL DE PROTECCION DEL CAPACITOR SERIE CON UN CIR - CUITO INTERRUPTOR DE ALTA VELOCIDAD. ( Fig. II.-7 )

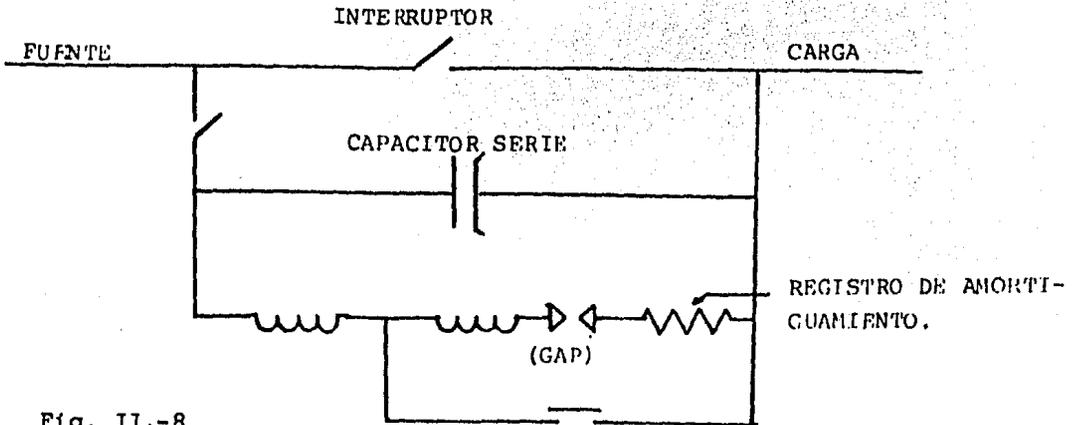


Fig. II.-8  
CIRCUITO DE PROTECCION DE LOS CAPACITORES PARA EL CASO DE UN COR - TOCIRCUITO.

" PROTECCION DURANTE FALLA DE UNA LINEA "

En la mayoría de los circuitos donde se instalan bancos de capacitores, al existir una falla, el voltaje y la correspondiente corriente a través de éste, son varias veces el valor nominal de operación.

El dispositivo de protección de los capacitores serie durante una falla de línea debe:

- 1.- Limitar el voltaje a través del capacitor serie alrededor de dos veces el valor nominal.
- 2.- Puentear al capacitor en medio ciclo para que los voltajes excesivos no se presenten aún en breves períodos de tiempo.
- 3.- Mantener el capacitor puenteado todo el tiempo que la corriente de línea sea excesiva.
- 4.- Reinsertar el banco de capacitores serie al circuito cuando se vuelva a la condición normal.

Un juego de electrodos (GAP) diseñado adecuadamente proporcionará los dos primeros requerimientos. Sin embargo, es difícil diseñar un juego de electrodos que lleve indefinidamente mucha corriente y poderse librar con corrientes de gran magnitud. Los dispositivos de protección de los capacitores serie no tienen control sobre las corrientes de falla. El relevador y el interruptor de línea, pueden detectar y eliminar la falla. Si la falla la elimina el interruptor del lado de la carga del capacitor, la corrien

te de línea jamás puede caer a cero y puede ir desde el valor de falla directamente al valor de carga. Por ésta razón, en muchas aplicaciones se requieren medios para puentear el par de electrodos y transferir la corriente a través de otra trayectoria.

El capacitor serie puede reinsertarse al circuito al abrirse el dispositivo que tiene puentado el banco de capacitores después que las condiciones de falla desaparecen.

#### " PROTECCION CONTRA FALLAS DEL DIELECTRICO "

---

La protección por fallas del dieléctrico pocas veces se usa, excepto en grandes bancos. Esta protección detecta cualquier falla en el dieléctrico del capacitor. La protección se proporciona por detección con relevadores diferenciales apropiados. Cuando las corrientes llegan a ser desiguales en dos ramas del capacitor. -- Cuando el desbalanceo de corriente excede de los valores fijados, el capacitor es puentado hasta que la unidad dañada se reemplace.

Los dispositivos de protección contra falla de aislamiento del dieléctrico se justifican en aquéllas unidades grandes, ya que resultan bastante caros que en ocasiones rebasan al de los capacitores, y no se justifican en instalaciones pequeñas.

### " PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES "

El dispositivo de protección para sobrecarga deberá tener una característica tiempo-corriente inversa que se pueda coordinar con el capacitor, para permitir sobrecargas momentáneas pero continuas. Los capacitores serie trabajan en un rango de 30 minutos a un valor de 135% de la corriente nominal y 5 minutos para 150% de la misma.

Este tipo de protección especial no es recomendable excepto en grandes bancos de capacitores serie. La ausencia de protección en pequeñas instalaciones a nivel distribución requiere la necesidad de elegir cuidadosamente la corriente nominal.

### "CIRCUITOS DE RELEVADORES"

En circuitos radiales, la protección contra fallas con relevadores, no es afectada por la instalación de capacitores serie. La corriente de falla practicamente excede la corriente nominal (dos veces). Consecuentemente un juego de electrodos paralelo al banco, puentea a éste, en el primer medio ciclo de la corriente de falla. También considerando que el par de electrodos es mucho más rápido que el relevador, su uso es más general.

Los relevadores de protección contra fallas en un alimentador enlazado, pueden ser afectados por la instalación del banco.

II.-6 " POTENCIA REACTIVA "

La potencia reactiva se presenta cuando hay capacitores o inductancias en el sistema.

Los transformadores consumen potencia reactiva magnetizante, - esto se debe a la corriente de magnetización, que a su vez produce el flujo magnético.

La potencia reactiva consumida por el transformador debe ser - del 5% de la potencia nominal de éste ( en transformadores de - distribución).

Los transformadores absorben la potencia reactiva proporcional al cuadrado de la corriente que circula en sus devanados.

La potencia reactiva tomada por el sistema de distribución es - mínima en las horas de baja carga real debido a la potencia reactiva magnetizante absorbida por los transformadores y la máxima se presenta con el máximo de la carga real; ésta es la suma de la potencia reactiva absorbida por los consumidores y por los - transformadores de distribución.

Una red de transmisión absorbe potencia reactiva a las horas de carga elevada y produce potencia reactiva a las horas de carga - baja, esta última produce elevaciones de voltaje bastante grandes en algunos puntos del sistema si no es controlada.

La potencia reactiva se produce por: generadores, condensadores síncronos y capacitores.

#### "POTENCIA REACTIVA ABSORBIDA POR LAS CARGAS "

La potencia reactiva consumida por las cargas en un sistema de energía eléctrica, está determinada por la presencia de los -- campos respectivamente, eléctricos y magnéticos en las capacitancias e inductancias conectadas al sistema.

#### " MEDIOS DE PRODUCCION DE POTENCIA REACTIVA "

La potencia reactiva puede producirse mediante los siguientes dispositivos:

- a) Generadores.
- b) Condensadores Síncronos.
- c) Capacitores.

Al iniciarse los sistemas de energía eléctrica las plantas generadoras alimentaron directamente los sistemas de distribución y la potencia reactiva necesaria la proporcionaban exclusivamente los generadores. A medida que las redes de transmisión se fueron ampliando, se instalaron condensadores síncronos en determinados puntos del sistema con el objeto de producir parte de la potencia reactiva. Actualmente se ha extendido el uso de capacitores; és-

tos ofrecen el mismo grado de seguridad de funcionamiento que los medios anteriormente citados a un costo más bajo. Si toda la potencia reactiva absorbida por los consumidores y por el sistema se proporcionara sólo por los generadores, conduciría a que estos produjeran igual cantidad de potencia real y reactiva. Por consiguiente tendrían que aumentarse las dimensiones de los transformadores y de las líneas de transmisión para poder conducir esa potencia reactiva. Las pérdidas totales serían el doble de las debidas a la potencia real y las caídas de voltaje en la red de transmisión se debería principalmente a la circulación de la potencia reactiva.

Por lo anterior es conveniente producir la potencia reactiva en el lugar más próximo a donde se va a consumir, con el fin de evitar su transmisión por el sistema de distribución y así obtener los beneficios siguientes:

- a) Reducción de corriente que circula por el sistema de transmisión y distribución, liberando capacidad instalada para la transmisión de potencia real.
- b) Reducción de las caídas de voltaje en el sistema de transmisión y distribución, contribuyendo con esto a mejorar la regulación del voltaje.
- c) Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución.

Los motores síncronos pueden proporcionar un trabajo mecánico - y al mismo tiempo actuar como una carga capacitiva, en caso de-

operar sobre excitados. De lo contrario, actuarán también - como una carga inductiva.

El condensador sincrónico, es un motor sincrónico diseñado exclusivamente para cumplir con la función de controlar el factor de potencia. Mejoran también la estabilidad de las líneas de transmisión en los regímenes transitorios, sin embargo estos salen muy costosos.

El condensador sincrónico, también llamado compensador, es simplemente un motor sincrónico en el que se utiliza la propiedad que tiene de suministrar o absorber potencia reactiva de la red a la que se haya conectado, según como se actúe sobre su excitación.

#### "ESTABILIDAD"

Las causas de inestabilidad de origen eléctrico en los sistemas de potencia, se deben a variaciones bruscas de la potencia absorbida por la red y de las corrientes eléctricas de la misma. El hecho de conectar condensadores síncronos al final de la línea, disminuye la potencia aparente total transmitida.

En caso de originarse una demanda brusca, la rápida acción

de los condensadores ayudará a suavisar las variaciones y -  
consecuentemente mejorará la estabilidad del sistema.

### " FLEXIBILIDAD DE OPERACION "

La presencia de condensadores síncronos cerca de los cen--  
tros de carga proporciona una gran flexibilidad de operación  
principalmente por la reducción de las perturbaciones origi--  
nadas al poner en servicio una línea de transmisión. Tam--  
bién ofrece la posibilidad de absorber potencia reactiva --  
cuando la red se haya ligeramente cargada. Otra de las ven--  
tajas de ésta máquina, es el de que reduce el tiempo reque--  
rido para la reinstalación de la fuente, después de estar fuera  
de servicio.

### " CAPACITORES DE POTENCIA "

Los capacitores de potencia proporcionan la potencia reacti--  
va de carácter capacitivo que sea necesario pudiéndose ins--  
talar en bancos fijos (permanentemente conectados) o en sec--  
ciones desconectables. Son económicos, de fácil manejo y man--  
tenimiento sencillo y barato, que en muchos casos se hace -  
inexistente, motivo por el cuál su demanda crece año tras año .

## II.-7 ELECCION DE CAPACITORES.

### " CONSIDERACIONES PARA INSTALAR UN BANCO DE CAPACITORES "

#### VENTILACION

Es importante disipar correctamente la energía calorífica -  
debida a las pérdidas en el capacitor y no permitir que la  
temperatura de operación suba a valores superiores de los -  
de diseño, ya que los dieléctricos de los capacitores de po  
tencia son muy sensibles a las temperaturas de operación, -  
disminuyendo considerablemente su vida a medida que se sobre  
pasa la temperatura de operación.

Cuando los capacitores se instalan al aire libre, la forma -  
más usual es disipar el calor por convección natural. Esto  
se logra respetando los espacios entre capacitor y capacitor  
que recomienda el fabricante y evitando que la ventilación  
natural quede entorpecida por algún obstáculo.

En el caso de locales cerrados, si hay peligro de que se so  
brepasen las temperaturas indicadas por las especificaciones  
del fabricante, debe instalarse un sistema de ventilación --  
forzada capaz de establecer una buena corriente de aire en--  
tre capacitor y capacitor.

" FRECUENCIA Y VOLTAJE DE OPERACION "

En la operación normal, la frecuencia aplicada nunca debe exceder a su frecuencia nominal ( 60 Hertz). Sin embargo no existe ningún inconveniente técnico para que estos capacitores operen a frecuencias más bajas. Esto implica una reducción de la potencia reactiva, proporcional a la reducción de frecuencias.

$$(KVAR) \text{ suministrados} = \frac{\text{Frecuencia aplicada}}{60} \times (KVAR) \text{ nominales}$$

Análogamente cuando los capacitores operan a un voltaje inferior a su voltaje nominal, disminuye la potencia reactiva proporcionalmente al cuadrado de la relación de voltajes:

$$(KVAR) \text{ suministrados} = \left( \frac{\text{Voltaje aplicado}}{\text{Voltaje nominal}} \right)^2 \times (KVAR) \text{ nominales}$$

En operación normal, debe tratarse de que el voltaje aplicado a los capacitores no exceda al valor de su voltaje nominal, ya que el deterioro que produce en los dieléctricos es análogo al producido por sobrecalentamiento.

"DECISION DE INSTALAR LOS CAPACITORES EN ALTA O EN BAJA TENSION"

Para tomar cualquier decisión se analizan dos factores:

el económico y el técnico

Considerando el factor económico se observa que para valores

de línea hasta 64 KV, el instalar un banco de capacitores - fijo en el lado de alta tensión es aproximadamente 10 veces más económico comparado con un banco de la misma capacidad reactiva instalado en el lado de baja tensión.

Existe la posibilidad de que el banco sea desconectable por medio de sistemas manuales o eléctricos, aún en este caso - el ahorro al conectar en alta es de 6 veces menor que si la instalación fuera en baja tensión.

A medida que el voltaje aumenta en la línea se aprecia un - aumento razonable en el costo del banco, al variar su aislamiento y especialmente el sistema de conexión y desconexión.

Aún considerando los incrementos por tales situaciones técnicas, sigue resultando más económico el instalar el banco en el lado de alta tensión.

Observando ahora la situación técnica se encuentra que pueden existir en determinados casos la necesidad de instalar el banco de capacitores del lado de baja tensión, como por ejemplo cuando se desea corregir el factor de potencia para evitar penalizaciones por parte de la Compañía suministradora, en este caso el banco de capacitores debe colocarse - después del medidor, pues si estuviera antes, la corriente

reactiva circularía por el medidor y nos marcaría un consumo extra, ahora si el medidor está del lado de baja tensión, -- ahí debe colocarse el banco de capacitores.

Cuando se desea aumentar la capacidad de carga de un transformador, los capacitores se instalarán en el lado de baja tensión o sea el secundario para así disminuir la corriente inductiva que pasa a través del mismo..

Si el problema fuese evitar pérdidas causadas por efecto -- Joule, los capacitores se colocarían junto a las cargas principales, evitando así el paso de corrientes inductivas por el cableado. Y si dicho equipo se encuentra instalado en -- baja tensión el banco de capacitores también se instalará en baja tensión.

### CONEXION Y DESCONEXION

#### INSTALACION DE BANCOS DE CAPACITORES DESCONECTABLES

La razón primordial del uso de bancos de capacitores desconectables, es la de optimizar la calidad y la economía de la distribución y el consumo de la energía eléctrica. En particular pueden mencionarse los motivos específicos siguientes: de

manda variable de potencia reactiva, regulación de voltaje, evitar un factor de potencia excesivamente adelantado en los generadores, reducción de pérdidas por efecto Joule, -- proporcionar subidas de voltaje en situaciones de emergencia, máxima utilización del equipo de potencia y control del flujo de corrientes reactivas en el sistema.

"CONSIDERACIONES PARA ELEGIR EL EQUIPO DE CONEXION Y DESCONEXION"

En los momentos de energisar o desenergisar un banco de capacitores pueden producirse sobrevoltajes y sobrecorrientes transitorios de gran intensidad. Esto es debido a la operación con carga capacitiva practicamente pura que además, cuenta con una gran capacidad para almacenar energía.

Si el equipo de conexión y desconexión con el que se operan los capacitores no es el adecuado, estos sobrevoltajes y sobrecorrientes transitorios, pueden ocasionar perturbaciones considerables en el sistema y en algunos casos, incluso el deterioro o el fallo del equipo de conexión y desconexión, de algún equipo adyacente o incluso de los mismos capacitores. Estas perturbaciones son tanto más críticas, cuanto más alto es el voltaje del banco de capacitores o mayor la potencia reactiva del mismo.

El equipo de conexión y desconexión de un banco de capacitores debe de satisfacer los siguientes puntos

### VOLTAJE NOMINAL

El voltaje nominal del equipo de conexión y desconexión debe ser adecuado para el voltaje de la línea en que va a efectuarse la instalación.

### CORRIENTE NOMINAL

En alta tensión, la corriente nominal del equipo de conexión y desconexión debe de exceder en un 35%, como mínimo, a la corriente nominal por fase del banco de capacitores que va a operar. El objeto de este margen es el de tener en cuenta la tolerancia de fabricación de los capacitores, en cuanto a potencia reactiva se refiere y la posible operación a un 10% de sobrevoltaje.

En baja tensión, puede ser necesario tomar márgenes todavía mayores, dependiendo del tipo de equipo de conexión y desconexión elegido e incluso el tipo de instalación efectuada.

### PROTECCION

Normalmente el fallo de un capacitor de potencia, implica un cortocircuito entre sus placas, con un arqueo que descompone el dieléctrico, formando cloruro de hidrógeno gaseoso. Este gas, sometido a presión por el calentamiento proporcionado por el arco eléctrico, puede llegar hacer explotar el -

tanque del capacitor si no existe un medio adecuado de interrumpir el cortocircuito en un tiempo suficientemente pequeño.

La posibilidad de estos fallos hace imprescindible que en cualquier instalación de capacitores de potencia, ya sea en alta o en baja tensión, se proyecte una protección adecuada. Más que proteger a los mismos capacitores, el objetivo de esta protección es mantener la continuidad del servicio y proteger al personal y al equipo de las posibles consecuencias del fallo de un capacitor.

#### " PROTECCION POR MEDIO DE FUSIBLES "

La protección más económica para capacitores de potencia se logra por medio de fusibles; éstos deben cumplir con los siguientes puntos:

- a) Mantener la continuidad del servicio, evitando que salga algún circuito de operación por un fallo ocurrido en el banco de capacitores.
- b) Evitar que el fallo de un capacitor pueda causar daños a otros capacitores del mismo banco, a otros equipos instalados en las proximidades del banco de capacitores, o incluso accidentes de personal.
- c) Proporcionar una indicación visual de la unidad fallada, o de la fase en que ha ocurrido el fallo en el caso de protección de grupo.

" PROTECCION CON FUSIBLES INDIVIDUALES "

Consiste en proteger cada capacitor con su propio fusible, - o bien en caso de usarse capacitores trifásicos, proteger ca da fase del capacitor con un fusible. Para proteger indivi dualmente capacitores trifásicos de baja tensión que no lle ven instalados fusibles internos, la práctica normal consis te en instalar dos fusibles por capacitor, en dos cualesquie ra de sus fases.

" PROTECCION EN GRUPO "

Consiste en proteger agrupamientos de capacitores, o fases - completas de un banco de capacitores con un solo fusible de grupo. Se usa principalmente en bancos cuyo tamaño no per mite el uso de protección individual. Se usa también como protección de corto circuito en bancos cuyos fusibles indi viduales no tienen capacidad suficiente para interrumpir las corrientes de cortocircuito del sistema en que se encuentran instalados, o bien, en bancos de gran tamaño y gran cantidad de alambrado que cuentan con muchas partes vivas que no que dan protegidas con los fusibles individuales.

" PROTECCION CON RELEVADORES "

Los beneficios de la protección con fusibles individuales - pueden quedar limitados, en bancos de capacitores para los

que se prevén operaciones de mantenimiento muy esporádicas, por el peligro que supone un sobrevoltaje excesivo originado por el fallo y desconexión de un cierto número de capacitores en dichos bancos.

Para evitar este peligro y como sistema de sobreprotección - se usan los llamados sistemas de protección por desbalanceo. Estos consisten esencialmente en un desconectador ( o juego de desconectadores monofásicos) capaz de operar el banco de capacitores con carga, un transformador o juego de transformadores de corriente o de potencial y un relevador, o juego de relevadores de corriente o de voltaje, que al captar una señal de desbalanceo predeterminada, envía una señal de apertura al desconectador, sacando fuera de operación el banco - de capacitores en el momento en que llegan a alcanzarse condiciones de desbalanceo críticas.

#### " PROTECCION CON INTERRUPTORES "

La protección de un banco de capacitores puede hacerse también por medio de un interruptor (con capacidad para operar cargas capacitivas puras, cuando se trate de instalaciones - de alta tensión) que sea capaz de interrumpir cualquier cortocircuito entre fases, o entre fase y tierra, originado en el banco de capacitores, así como la corriente de falla de un capacitor.

" P A R A R R A Y O S "

Cuando se conectan los capacitores a líneas aéreas, es práctica común el instalar pararrayos autovalvulares como medio de protección contra descargas atmosféricas y sobrevoltajes transitorios producidos por operaciones de conexión y desconexión. Este último factor toma especial importancia en voltajes de línea del orden de 100 KV o superiores.

" DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE CONTROL PARA LA  
CONEXION Y DESCONEXION DEL BANCO DE CAPACITORES "

Para el control de conexión y desconexión del banco de capacitores pueden usarse una gran variedad de controles automáticos. Los controles automáticos pueden actuar basándose en dos tipos de información: Información obtenida en mediciones que no son eléctricas, como tiempo o temperatura, que han sido correlacionadas previamente con las variaciones de las condiciones del sistema, e información basada en mediciones eléctricas de voltaje, corriente o potencia reactiva. Los controles automáticos pueden ser actuados también por una combinación de estos parámetros.

Los elementos básicos de un control para la conexión y desconexión automática de un banco de capacitores son los siguientes:

- a) Un elemento sensible al cambio de la cantidad ( o las cantidades a la que va a responder el control).
- b) Contactos actuados por el elemento sensor, que al cerrar inician la operación de cierre o de apertura del seccionador del banco de capacitores.
- c) Un dispositivo para ajustar el punto al que cierran esos contactos.
- d) Una temporización entre el momento en que se detecta una condición de operación y la operación misma del seccionador.

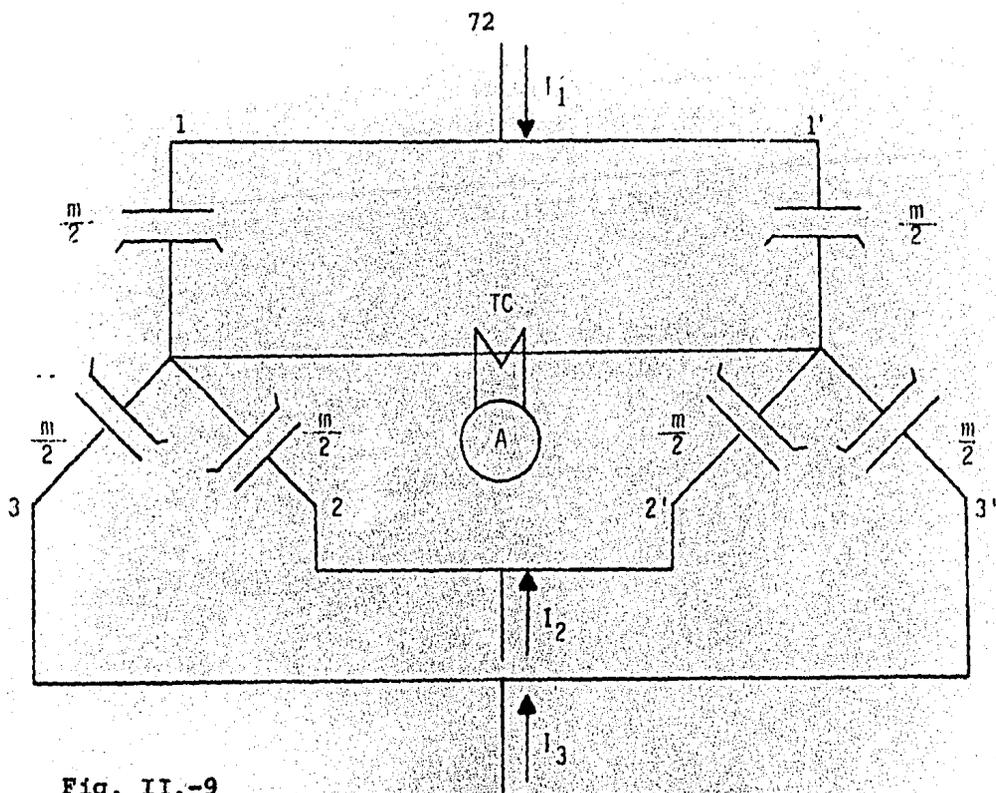


Fig. II.-9

BANCO DE CAPACITORES DIVIDIDO EN DOS ESTRELLAS CON NEUTRO FLOTANTE Y PROTEGIDO POR DESBALANCEO POR MEDIO DE UN RELEVADOR DE CORRIENTE

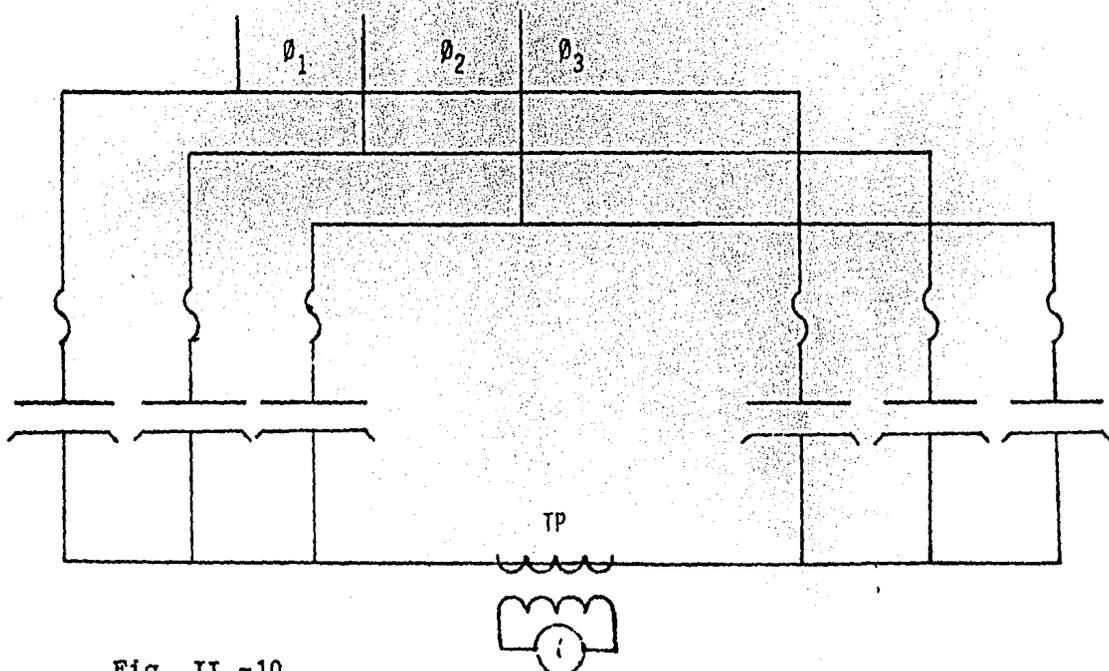


Fig. II.-10

BANCO DE CAPACITORES DIVIDIDO EN DOS ESTRELLAS CON NEUTRO FLOTANTE Y PROTEGIDO POR DESBALANCEO POR MEDIO DE UN RELEVADOR DE CORRIENTE

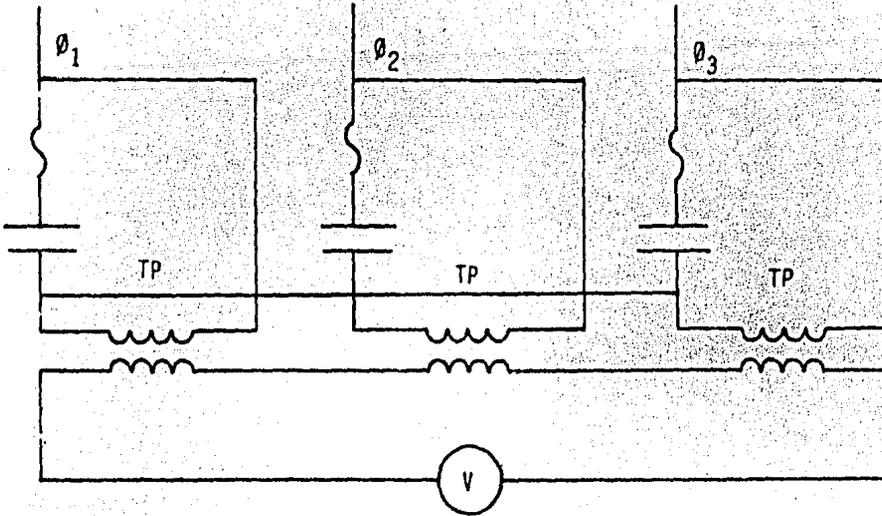


Fig. II.-11

BANCO DE CAPACITORES CONECTADO EN ESTRELLA CON NEUTRO FLOTANTE Y PROTEGIDO POR DESBALANCEO POR MEDIO DE UN RELEVADOR DE VOLTAJE

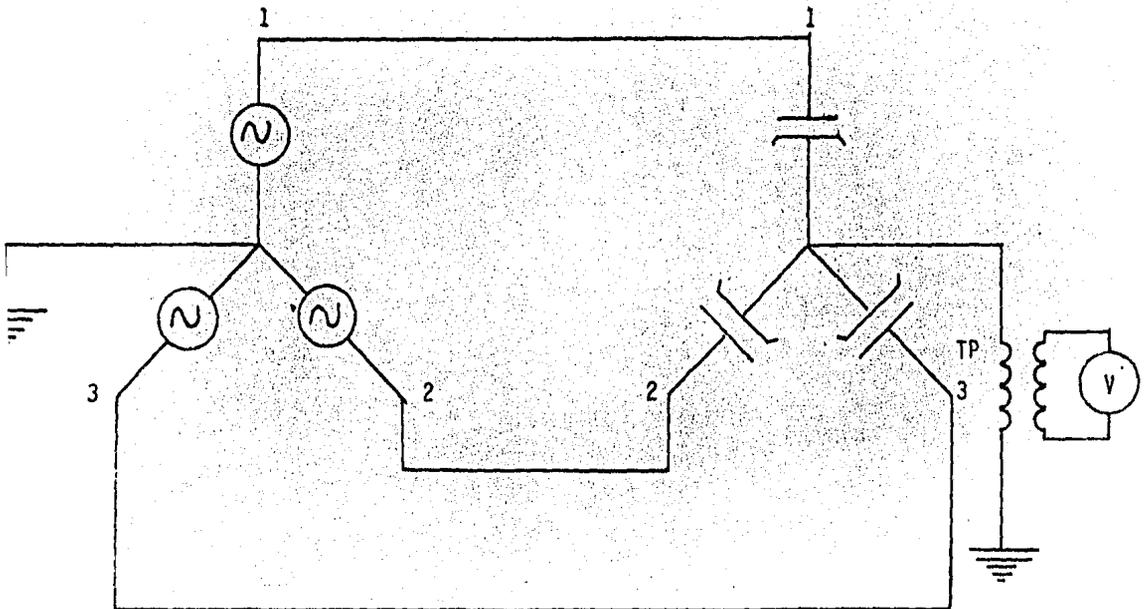


Fig. II.-12

BANCO DE CAPACITORES PROTEGIDO POR MEDIO DE UN RELEVADOR DE VOLTAJE Y UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL



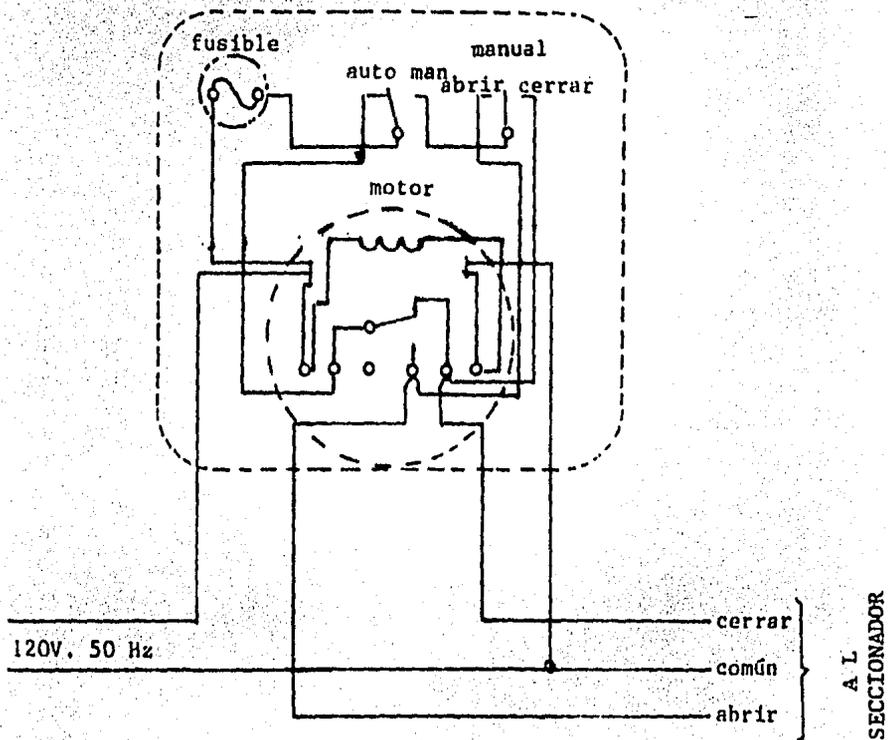
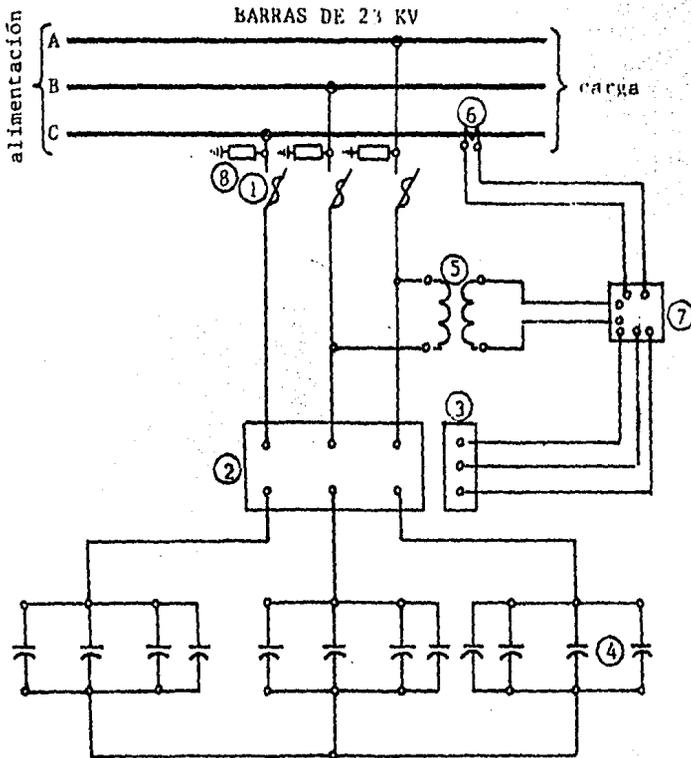


Fig. II.-14  
 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL DISPOSITIVO DE CONTROL ACTUADO  
 POR TIEMPO



C L A V E :

1. FUSIBLES
2. INTERRUPTOR EN ACEITE
3. MECANISMOS DEL SECCIONADOR
4. CAPACITORES
5. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
6. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
7. DISPOSITIVOS DE CONTROL
8. PARARRAYOS

Fig. II.-15  
 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL  
 BANCO DE CAPACITORES CONMU-  
 TABLE

C L A V E :

1. RELEVADOR C.D.
2. RELEVADOR C.A.
3. CONTADOR DE OPERACIONES
4. RELEVADOR DE SEÑALES
5. CONEXIONES DEL MEDIDOR
6. TERMINALES DE PRUEBA
7. ELEMENTOS DEL MEDIDOR
8. AUTO
9. MAN

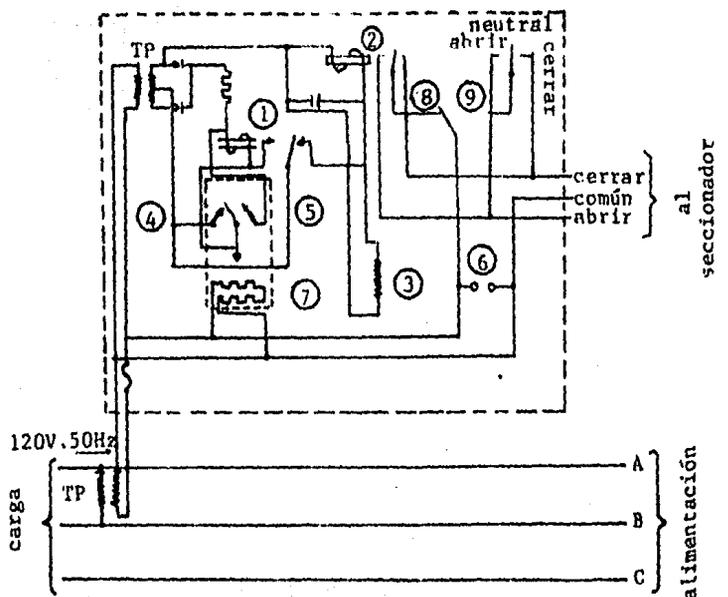
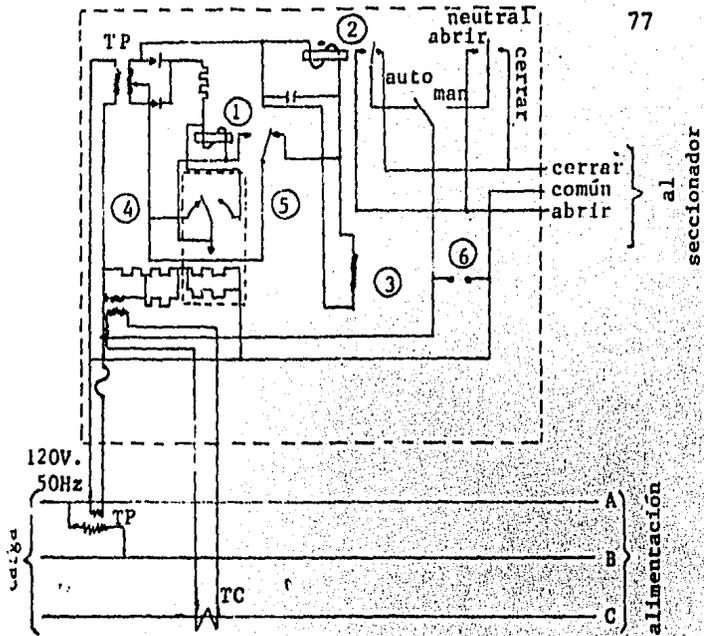


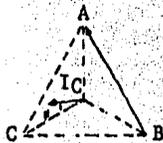
Fig. II.-16  
 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL  
 DISPOSITIVO DE CONTROL ACTUADO  
 POR VOLTAJE



C L A V E :

1. RELEVADOR C.D.
2. RELEVADOR C.A.
3. CONTADOR DE OPERACIONES
4. RELEVADOR DE SEÑALES
5. CONEXIONES DEL MEDIDOR
6. TERMINALES DE PRUEBA

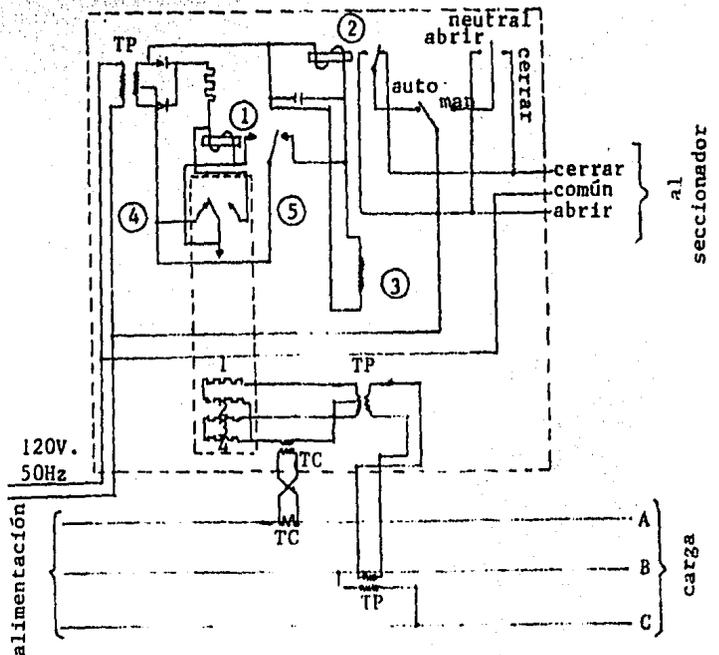
Fig. II.-17  
 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL  
 DISPOSITIVO DE CONTROL AC -  
 TUADO POR VOLTAJE Y CORRIENTE



C L A V E :

1. RELEVADOR C.D.
2. RELEVADOR C.A.
3. CONTADOR DE OPERACIONES
4. RELEVADOR DE SEÑALES
5. CONEXIONES DEL MEDIDOR

Fig. II.-18  
 DIAGRAMA DE CONEXIONES  
 DEL DISPOSITIVO DE CON  
 TROL ACTUADO POR POTEN  
 CIA REACTIVA



## C A P I T U L O I I I

### PROTECCION CONTRA SOBREVOLTAJES Y CONTRA SOBRECORRIENTES.

III.-1 Introducción.

III.-2 Protección contra sobrevoltajes.

III.-3 Protección contra sobrecorrientes.

III.-1 "INTRODUCCION"

La operación de las redes de distribución aéreas están sujetas a una serie de eventos que modifican sus características en el sistema (contingencias) y que pueden hacer variar los requisitos establecidos en cuanto a confiabilidad o seguridad en el suministro de energía eléctrica. Estas contingencias pueden ser por diversos motivos, algunos propios a la red y otros ajenos a ellas, a continuación mencionaremos algunos:

Efectos de las descargas atmosféricas, corto circuito, choques de automóviles con estructuras y postes, efecto de sismos, caída de ramas y objetos extraños en las líneas, viento, vandalismo, lluvia, pedrada o balazo, trolazo, cruzamiento de líneas, etc.

Las redes de distribución subterráneas tienen ventajas sobre las aéreas, desde luego estando bien construídas, el porcentaje de contingencias o disturbios es menor, por lo que garantiza mayor continuidad, en el servicio, sin embargo tratándose de redes aéreas o subterráneas existen básicamente dos problemas que requieren de soluciones técnicas adecuadas con el fin de limitar dentro de lo posible las salidas de servicio y de esta manera garantizar un mejor servicio, éstos problemas se refieren principalmente a: El efecto de corto circuito y al efecto de las sobretensiones de origen externo.

. . .

En el diseño de un sistema eléctrico ya sea con propósitos de generación, transmisión, distribución o utilización se deben considerar 3 aspectos fundamentales: El primero y que resulta ser el más común es su operación normal, lo que significa que no debe haber interrupción en el servicio y no deben existir corto circuito o circuitos abiertos en el sistema, el segundo aspecto se refiere a la prevención de fallas, es decir los sistemas deben diseñarse para que técnica y económicamente se obtenga una solución óptima entre economía y confiabilidad para la prevención de fallas. El tercer aspecto es la reducción de los efectos de falla cuando se presentan éstas a pesar de las prevenciones; en el caso se deben considerar los elementos de protección adecuados para minimizar el número de circuitos que salgan de servicio en caso de falla procurando afectar al menor número de usuarios.

Al respecto existen ciertos requerimientos mínimos que deben -- cumplir en el suministro de la potencia eléctrica. Suponiendo -- que existe suficiente generación, el primer requerimiento es -- disponer de un medio adecuado para la transmisión de la potencia a la carga, con un conductor económico y el nivel de aislamiento adecuado.

Si se diseña para una cierta confiabilidad se deben tomar varios factores en consideración; uno de ellos es el nivel básico de aislamiento del sistema, que deberá ser suficientemen- -

te alto como para soportar las condiciones de operación normales de la zona sin sufrir flameos. Por supuesto que el material aislante debe tener su comportamiento satisfactorio para operación con altas temperaturas y contaminación. Físicamente debe ser adecuado para soportar los esfuerzos electrodinámicos debido a las corrientes de corto circuito y otras fuerzas aplicadas externamente como la del viento, la humedad y el hielo en las redes aéreas.

Los sistemas radiales son los menos confiables dado que una falla permanente sobre un ramal altera la alimentación a las cargas en forma considerable, los sistemas en malla son más confiables, dado que las cargas se pueden alimentar por dos alimentadores. Las redes más confiables son más costosas ya que cada carga se alimenta por varias trayectorias.

Existen algunas consideraciones que deben tomar en cuenta para minimizar los daños por falla. Un aspecto importante es limitar las corrientes de corto circuito, por lo cual se puede optar por:

- a) Dispersar el sistema lo suficiente de manera que la corriente de corto circuito en cualquier punto sea minimizada.
- b) Usando elementos limitadores de corriente de manera que no afecten las condiciones de la carga pero presentando altas impedancias a las corrientes de corto circuito.

- c) Usando transformadores de alta impedancia (aunque esta solución afecta a la regulación de tensión del sistema).

Además se debe considerar para el diseño el aspecto de calentamiento y esfuerzos mecánicos que se presentan durante las fallas. La selección adecuada de los medios apropiados de interrupción tiene una gran importancia (interruptores, restauradores, corta circuitos, fusibles, etc.) Además de los elementos de juicio para minimizar los daños causados por las corrientes de corto circuito, se deben tomar ciertas medidas para minimizar el tiempo que esté fuera de servicio un sistema o parte de un sistema y la extensión de la falla misma; esto se puede lograr diseñando en base a ciertos métodos cuyas bases generales se indican a continuación:

- a) Disponer de circuitos opcionales para la alimentación de cargas.
- b) Tener suficiente capacidad de reserva instalada a transformadores (aprox. 20%).
- c) Disponer métodos de recierre rápido.
- d) En lo posible disponer de medios de discriminación de fenómenos; por ejemplo entre una baja tensión por falla o por arranque de motores.
- e) Una adecuada coordinación de protecciones.

III.-2 PROTECCION CONTRA SOBREVOLTAJES.CAUSAS DE LAS FALLAS

Cuando ocurre un disturbio como puede ser una descarga atmosférica sobre un sistema eléctrico, existe una respuesta del sistema a este disturbio y se manifiesta por lo general como un sobrevoltaje cuya magnitud es varias veces el valor del voltaje nominal.

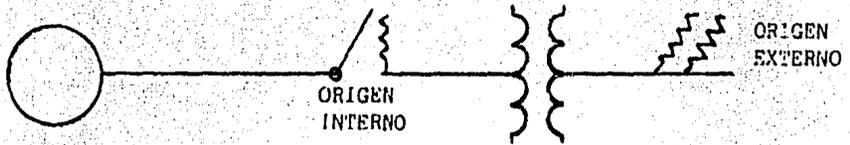
Los sobrevoltajes en un sistema de potencia son originados básicamente por dos causas:

- a) Causas de origen externo al sistema como son las descargas atmosféricas.
- b) Causas de origen interno debidas a operaciones de maniobra (Switcheo) en el sistema.

CAUSAS DE ORIGEN EXTERNO

Las descargas atmosféricas han representado un problema para los sistemas de transmisión ya que la mayoría de fallas son debidas a éste tipo de fenómenos,

FIGURA II-1 FALLAS DE ORIGEN INTERNO Y EXTERNO



Actualmente las descargas atmosféricas y en particular en el país aún no se han estudiado suficientemente y solo se dispone de algunas teorías para tratar de explicar su origen y algunos experimentos para estudiar sus efectos.

Experimentalmente se ha comprobado que la tierra representa un electrodo negativo y a una distancia de 100 a 150 Km. sobre su superficie se encuentra una capa de aire que representa el electrodo positivo. Cuando las corriente de aire entre la tierra y esta capa producen una ionización alta se establece una descarga de iones, que si su valor es elevado puede de generar en una descarga eléctrica.

#### EFFECTOS DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS

Este tipo de situación ocasiona salidas frecuentes en las instalaciones que provocan interrupciones en el servicio, por lo que es importante el conocimiento de los efectos de las descargas atmosféricas, a fin de proporcionar la protección más adecuada a la instalación.

Basta con que se tenga nubes sobre la línea de transmisión para que se presente la posibilidad de un sobrevoltaje.

Las nubes en un medio seco, con viento y con una velocidad aproximada de 40 Km/h originan sobrevoltajes en la instalación .

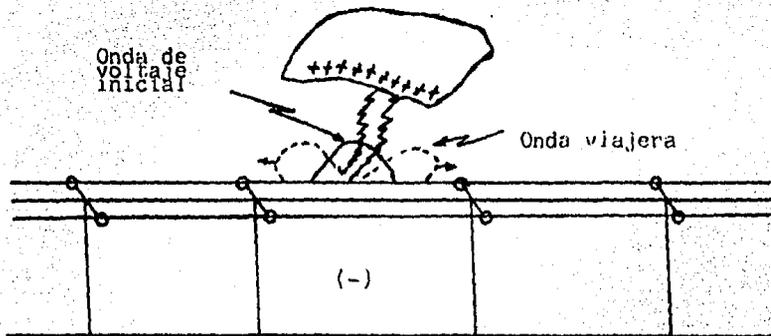
En general los sobrevoltajes de tipo externo pueden ser de tres tipos:

- a) Por cargas estáticas
- b) Por carga indirecta
- c) Por descarga directa

a) Estos sobrevoltajes se presentan en la instalación y en particular en las líneas de transmisión por el simple hecho de que existen nubes sobre éstas, y que las nubes sean desplazadas por el viento; este caso es el menos peligroso ya que se disminuye considerablemente su efecto mediante el uso de hilos de guarda en la línea de transmisión y con bayonetas e hilos de guarda en las subestaciones que se encuentran permanentemente conectada a tierra y representan un medio de descarga "natural".

b) Sobrevoltajes por descargas indirectas se presentan en las instalaciones por la presencia de rayos que caen en puntos cercanos y que por efecto de inducción electrostática y electromagnética introducen transitorios en las instalaciones. Este tipo de sobrevoltaje es el más frecuente y que puede ser grave dependiendo de la intensidad de descarga, ya que de mediciones realizadas en el campo se sabe que los sobrevoltajes son del orden de 100 y hasta 200 Kv. con corriente de 25 a 75 KA.

FIGURA I II-2 FALIA POR DESCARGA INDIRECTA



Las descargas indirectas son las que más afectan a las instalaciones de medianas y bajas tensiones del orden de 3 Kv. a 44 Kv ( que son voltajes usados en la distribución de energía eléctrica)

c) Sobrevoltajes por descargas directas. Este tipo de sobrevoltajes son los menos frecuentes en las instalaciones pero los que pueden causar los daños más graves, debido a la enorme cantidad de energía que trae consigo una descarga atmosférica. Las corrientes que se presentan por este tipo de descarga, pueden alcanzar valores hasta de 100 Kv. instantáneos y que introducen esfuerzos dinámicos y térmicos a las instalaciones.

Por lo general una descarga directa sobre una línea de transmisión provoca una onda de sobrevoltaje inicial que se divide en dos ondas viajeras que van hacia la izquierda y hacia la derecha del punto en que se produce la descarga con una velocidad igual a la de la luz en caso de conductores aéreos.

Otros efectos que ocasionan las descargas atmosféricas sobre las instalaciones son las siguientes:

- 1) La corriente del rayo alcanza valores instantáneos extremadamente altos que someten a los elementos de la instalación a esfuerzos dinámicos y térmicos y que además requieren para su disminución de un diseño adecuado de la red de tierra.
- 2) Los esfuerzos dinámicos debidos a la corriente del rayo, someten a los conductores ( barras) a fuerzas de atracción y repulsión que pueden llegar a romper los aisladores soportes o deformar los tableros.
- 3) La corriente del rayo trae consigo una gran cantidad de energía calorífica teniéndose temperaturas hasta  $350^{\circ}\text{C}$  que pueden provocar la falla de aislamiento de los apartarroyos y que en ocasiones llegan a destruirlos por explosión al no poder descargar la energía.

b) SOBREVOLTAJES DE TIPO INTERNO

Se entiende por sobrevoltaje de tipo interno a los sobrevoltajes que se presentan en las instalaciones por operaciones, fallas u otros motivos propios de la red. Estos sobrevoltajes pueden ser de dos tipos:

- a) Sobrevoltajes dinámicos.- son aquellos excesos de voltaje sobre el voltaje nominal.

- b) Sobrevoltaje transitorio.- los sobrevoltajes transitorios son aquellos que se presentan - cuando ocurre un transitorio en la red, como una falla, conexión o desconexión de circuitos. En general en una operación de maniobra (switcheo), se presentan los dos tipos de sobrevoltajes.

Según las normas AIEE los sobrevoltajes de tipo interno se pueden clasificar en forma general:

- a) Sobrevoltaje por ocurrencia de fallas
- b) Sobrevoltaje por operaciones de maniobra (switcheo).
- b1) Por desconexión de líneas largas, cables, bancos de capacitores, etc. (desconexión de circuitos capacitivos).
- b2) Por cierre de circuitos capacitivos.
- b3) Operaciones de maniobra en circuitos inductivos.
- 1) Desconexión de transformadores en vacío.
- c) Sobrevoltajes por pérdida brusca de carga.
- d) Sobrevoltajes por efecto ferrantil en las líneas de transmisión.
- e) Sobrevoltajes por operación de interruptores.

a) Sobrevoltajes por ocurrencia de fallas

En un sistema pueden presentarse las fallas siguientes:

- 1) Línea a tierra
- 2) Dos líneas a tierra

3) Línea a línea

4) Trifásica.

De estas fallas las que ocasionan problemas de sobrevoltajes en la red, debido a la asimetría son las fallas a tierra, es decir, en una o dos líneas a tierra y de estos dos tipos de fallas, el caso más crítico lo representa la falla de "línea a tierra".

#### **SOBREVOLTAJES POR OPERACIONES DE MANIOBRA.**

---

Se entiende por una operación a una apertura o cierre de interruptores en un sistema, que puede ser grave cuando ésta - apertura se hace para librar la falla o cuando existe recierre y la falla persiste.

En el caso de los sistemas de potencia los problemas graves se presentan en las redes de 85 Kv o mayores, pero también - en redes de menor tensión con fuertes cargas inductivas o -- bancos de capacitores a 4.16, 6.6, 20,25 Kv.

Para la interrupción, el problema que se presenta es que actualmente el medio de desconexión empleado por los interruptores es a base de separación de contactos en medio de una determinada constante dieléctrica, ya que no se ha diseñado otra forma de desconexión. Esta forma de desconexión puede provocar que el arco eléctrico entre contactos fijo y móvil

que han quedado separados se vuelva a restablecer cuando por la magnitud de falla, la rigidez dieléctrica del medio de extinción ( aceite, aire, sf6 y vacío) baja debido a la ionización. Este arco eléctrico somete a los contactos a un voltaje adicional llamado voltaje de restablecimiento o voltaje de recuperación.

Desde el punto de vista de la red este fenómeno se presenta - cuando hay cierre sobre falla, es decir, que se cierra un interruptor cuando una falla aún no ha sido liberada. Este voltaje de recuperación puede alcanzar valores elevados que someten a la instalación a esfuerzos dieléctricos graves, sin embargo, se puede considerar que está implícito en la operación de los interruptores aún cuando no se interrumpan fallas graves.

La razón de esto se encuentra en que la interrupción de las corrientes en las tres fases no es simultánea aún cuando se encuentre con interruptores trifásicos de desconexión en grupo, debido al defasamiento natural de las corrientes.

Los interruptores están diseñados para interrumpir en el cero natural de la corriente. De manera que cuando tienen que interrumpir una corriente de falla que pasa por cero, el interruptor se espera un cierto tiempo hasta que la corriente pasa por cero almacenándose una energía que origina lo que -

se conoce como corriente de post-arco.

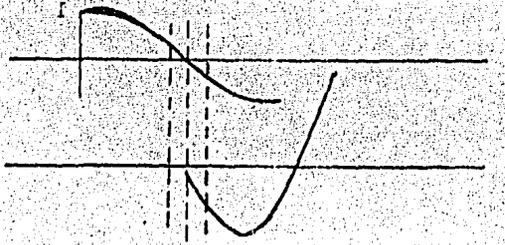


Fig. III.-3  
Corriente de post-arco.

### SOBREVOLTAJES POR DESCONEXION DE CIRCUITOS CAPACITIVOS

En el estudio de la desconexión de circuitos capacitivos se presentan dos casos:

- a) La desconexión por fallas en un punto de capacitancia considerable pero no muy lejano de la fuente.
- b) La desconexión de circuitos capacitivos conectados a sistemas grandes con terminación en inductancia (por lo general transformadores).

### DESCONEXION DE CIRCUITOS POR LOS QUE CIRCULAN PEQUEÑAS CORRIENTES INDUCTIVAS

En la desconexión de circuitos inductivos se presentan transitorios que provocan sobrevoltajes en las instalaciones. - Este tipo de transitorio puede ser grave, en particular si en los circuitos inductivos circulan corrientes pequeñas.

. . .

En este caso corresponden en la práctica normalmente a la -  
desconexión de transformadores en vacío por el lado de alta  
Interrupción de la corriente de  
tensión. excitación.

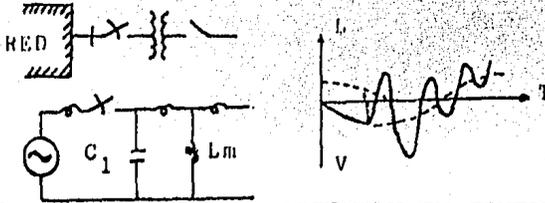


Fig. III.-4

SOBREVOLTAJES QUE SE PRESENTAN EN CONDUCTORES ABIERTOS

Cuando en un sistema eléctrico que tiene medios de interrupción a base de interruptores de operación individual por fase, seleccionadores, cuchillas de desconexión con carga y sin carga o cuchillas fusibles, al presentarse una falla de línea a tierra, puede ocurrir que solo opere o quede abierta únicamente la cuchilla de fase con falla (por lo menos por un período de tiempo corto) y las otras dos cerradas; este mismo problema se puede presentar aunque no exista necesariamente corto circuito, tal es el caso de sobrecarga en los circuitos con protección a base de elementos fusibles.

En estos casos además del problema que se presenta con las -  
corrientes en el secundario de los transformadores (lado de carga) cuando la falla ocurre en el lado de la alimentación, se presenta un problema de sobrevoltaje que puede ser de valores muy elevados.

### " SOBREVOLTAJE POR PERDIDA SUBITA DE CARGA "

Cuando un generador alimenta a una carga por alguna razón se tiene una pérdida súbita de carga, el voltaje en la carga - tiende a ser instantáneamente el voltaje interno de la máquina, lo cual representa un fenómeno transitorio que puede ser grave si la desconexión se efectúa al final de un circuito - en el que interviene la capacitancia.

### " SOBREVOLTAJES PRODUCIDOS POR LA SOBREVELOCIDAD "

Se supone que la sobrevelocidad en generadores y el rechazo de carga por sí solos, raramente darán origen a sobrevoltajes peligrosos.

De cualquier manera puede ser un factor contribuyente, especialmente si la sobrevelocidad ocurre durante una falla a tierra. La magnitud del voltaje es una función de las características del regulador de velocidad y de los medios para controlar la excitación en generadores movidos con turbina hidráulica sin regulador de velocidad o de excitación, los sobrevoltajes pueden ser de 170% a 180% del voltaje nominal en el caso de un rechazo de carga plena, mientras que con máquinas controladas con reguladores de velocidad y los --- voltajes modernos, los sobrevoltajes posiblemente sean menores de 120% a 140% del voltaje nominal.

" SOBREVOLTAJE POR FERRORESONANCIA "

Este aspecto constituye una causa frecuente de daños en las instalaciones eléctricas, sus orígenes pueden ser muy diversos y causan daños al equipo y paralizan total o parcialmente el servicio. Se presentan tanto en instalaciones industriales así como en líneas de distribución y transmisión.

Es un fenómeno resonante que verifica en determinadas condiciones del circuito cuando contiene capacitores y reactores con núcleo de hierro. Una variación de la inductancia del reactor con núcleo de hierro da el carácter especial del fenómeno.

Los efectos más notorios son daños a los apartarrayos, a los interruptores automáticos, a los transformadores de distribución y a un sin número de fusibles.

Además se presentan inversiones en motores trifásicos y alto voltaje en los secundarios.

Algunas condiciones que dan lugar a ferresonancia en los sistemas trifásicos son:

- I.- Circuitos trifásicos con banco de capacitores en estrella con neutro aterrizado y un banco de transformadores en delta o en estrella neutro aislado.

La fuente neutro aislado presenta el fenómeno cuando una fase se abre por la rotura de un cable o la operación de un fusible o interruptor.

II.- Circuito trifásico con capacitores en estrella con neutro flotante y transformador con neutro aterrizado en el lado de alta.

III.- Sistema de distribución industrial con neutro aterrizado en el cual hay un transformador con el neutro del primario aterrizado.

IV.- Sistema de transmisión con neutro aterrizado, transformador con neutro aterrizado. Se abre una fase en el extremo de la línea, opuesta al transformador.

Algunas medidas de corrección son:

I.- Cambiar los interruptores de monofásico a trifásico donde sea económicamente posible.

II.- Acortar los circuitos primarios agregando puntos de alimentación.

III.- Agregar carga activa al sistema.

IV.- Reconectar el secundario de delta a estrella con neutro aterrizado.

V.- Usar una resistencia en el neutro de una conexión estrella delta de la carga.

#### PROTECCION Y EQUIPO CONTRA SOBREVOLTAJES

---

Para la protección contra sobrevoltajes se requiere en primer término conocer el origen de éstos, las características del aislamiento de las máquinas, aparatos o elementos a proteger, las características y funcionamiento de los dispositivos de protección y la coordinación adecuada del aislamiento. A continuación se estudiarán los elementos de protección que de una manera simple se pueden clasificar.

a) apartarrayos, b) hilo de guarda, c) redes de tierra, d) algunos otros de funciones específicas.

a) Apartarrayos.- Es un dispositivo para proteger aparatos eléctricos de altas tensiones transitorias, se encuentra conectado entre línea y tierra; también sirve para limitar la duración y amplitud de la corriente del rayo a tierra. Se puede decir que las funciones de un apartarrayos son:

I.- Limitar los sobrevoltajes que se presentan en sus termina

les.

II.- Presentar una baja impedancia para facilitar el paso de la corriente del rayo a tierra.

III.-Autooperarse (restablecerse) después de que la onda ha pasado.

La acción de un apartarrayos va dirigido fundamentalmente hacia la operación con ondas de sobrevoltajes debidas a descargas atmosféricas y la interrupción de la onda de corriente - que se presenta simultáneamente.

#### Apartarrayos Tipo Valvular

El apartarrayos tipo valvular flamea y drena la corriente -- transitoria a tierra. El elemento característico de este tipo de apartarrayos ofrece baja resistencia al flujo de corriente transitoria y por lo tanto mantiene la tensión de descarga a través del apartarrayo en un mínimo. El elemento sin embargo, ofrece resistencia muy alta a la corriente de 60 ciclos que procede de la corriente transitoria la cual es limitada, no puede sostenerse por sí misma a través de la estructura de flameo del apartarrayos. Después de la interrupción de la corriente - remanente, el apartarrayos queda listo para repetir el ciclo de operación.

Apartarrayos tipo expulsión, a diferencia del tipo valvular la cámara de expulsión prácticamente no ofrece impedancia a -

las corrientes transitorias, y por lo tanto la tensión de descarga es muy pequeña.

De hecho, para la misma corriente transitoria la caída de tensión es despreciable comparada con la caída de un apartarrayos tipo valvular.

En el momento cero de la corriente de 60 ciclos, el arco se interrumpe momentáneamente y ya no se restablece por sí mismo. La alta presión de los gases expulsa las partículas del arco de la cámara quedando listo el apartarrayos para repetir el mismo ciclo de operación.

#### " HILOS DE GUARDA "

El nivel de protección de un sistema eléctrico de potencia - contra las descargas atmosféricas cuando se utilizan hilos - de guarda cobra gran interés según el servicio que preste. - Estos hilos pueden ser de acero, de cobre o de aluminio con alma de acero y se conectan a las puntas más altas de las - torres de la línea sobre los conductores activos o fases de la línea, es decir son hilos soportados paralelamente a los conductores de la línea, con una colocación a nivel superior de ellos que sirve como pantalla protectora impidiendo que los rayos caigan sobre los conductores activos.

Además, en la parte alta de las torres o postes se conectan los hilos de guarda o un cable que parte de la base del poste o torre y que sirve para descargar a tierra las ondas de sobretensión producidas por las descargas que viajan por -

los hilos de protección. Cuando el hilo de guarda recibe el impacto del rayo se propagan a través de él en cada sentido ondas de sobrevoltaje que inducen en los conductores de fase ondas de mayor amplitud cuyo valor depende del factor de acoplamiento que se puede determinar conociendo las distancias entre los hilos de referencia y los conductores de transmisión.

Se debe evitar que la descarga o el arco, salte de los hilos de guarda a los conductores de las fases, por lo que en general se adopta una distancia entre conductores de fase e hilos de guarda, igual a una altura similar a la distancia entre conductores por fase.

#### " T O M A S D E T I E R R A "

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobrevoltajes en las subestaciones es la de disponer de una red de tierra adecuada, a la cual se conectan los neutros de los aparatos, los apartarrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y todas aquellas otras partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

La necesidad de contar con una red de tierra en las subestaciones es la de cumplir con las siguientes funciones:

- a) Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sean debidas a una falla de aislamiento o a la operación de un aparta-

rrayos.

- b) Evitar que durante la circulación de estas corrientes por tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, que pueden ser peligrosas para el personal.
- c) Facilitar mediante sistemas de relevadores la eliminación de fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
- d) Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

#### " PROTECCION DEL TRANSFORMADOR "

=====

Un gran número de transformadores están sujetos a sobrecargas y ciclos térmicos que con los años pueden hacer disminuir la resistencia de aislamiento. Hay cuatro aspectos importantes que deben tomarse en cuenta por la protección del transformador:

- I.- El apartarrayos se selecciona basándose en la eficiencia de funcionamiento para el margen de protección deseado y para los años esperados de vida de servicio.
- II.- Montar el apartarrayos en la misma cruceta del transformador lo más cerca posible. Es aconsejable colocar en una sola estructura el transformador, los corta circuitos y los apartarrayos.

III.- Conectar el apartarrayos a la línea primaria de manera que la descarga, no pase a los fusibles primarios.

IV.- Conectar la tierra del apartarrayos con el neutro del secundario para evitar efectos de falsa tierra.

Una consideración importante en la aplicación del apartarrayos en los transformadores es la localización adecuada para evitar la posibilidad de que operen los fusibles. Si el apartarrayos se conecta entre el transformador y el fusible en caso de una descarga atmosférica la onda de corriente para por el fusible y puede fundirlo sacando el transformador, innecesariamente de servicio.

Por lo tanto, la conexión de los apartarrayos debe hacerse entre líneas y los fusibles. Debido a la estructura de flameo más refinada, los apartarrayos tipo valvular ofrecen mayor margen de tensión de impulso que los apartarrayos tipo expulsión.

PROTECCION DE CAPACITORES

La protección de capacitores por medio de apartarrayos requiere las mismas consideraciones respecto a conexiones cortas, conexión entre la línea y los fusibles y capacidad de tensión, como en el caso de transformadores.

Considerando el apartarrayos tipo valvular y tipo expulsión, es preferible la utilización de los primeros. El alto flameo de frente de onda de los apartarrayos tipo expulsión, permite que el banco de capacitores se cargue a un valor más alto antes del flameo cuando se utiliza un apartarrayos tipo valvular. Al flamear el apartarrayos, el corto circuito virtual del banco de capacitores a tierra a través de un apartarrayos tipo expulsión, descarga los capacitores rápidamente y ofrece un esfuerzo severo en el banco de los capacitores, la rápida descarga de los capacitores también somete a un trabajo severo al apartarrayos. El apartarrayos tipo valvular limita la descarga por medio de su elemento resistivo no líneal y la descarga resulta lenta de los capacitores por lo que no impone severos esfuerzos ni en los capacitores, ni en el apartarrayos.

PROTECCION DE RESTAURADORES

Para la protección de restauradores, se recomienda utilizar apartarrayos a uno y otro lado, de cada una de las fases de un restaurador. En caso de utilizar apartarrayos únicamente

de un lado, deben instalarse del lado de la fuente por las siguientes razones.

Una descarga atmosférica del lado de la fuente puede flamear - los aisladores del restaurador de ese mismo lado y producir - una falla de fase a tierra, que debe liberarse por un dispositivo de protección de respaldo. Un apartarrayo colocado del lado de la fuente drena la descarga, y libera la corriente de 60 ciclos. Si los aisladores del restaurador del lado de carga se flamean por una descarga atmosférica el restaurador opera normalmente para interrumpir la corriente remanente de 60 ciclos - resultante.

Si el restaurador se localiza en una subestación, los apartarrayos de estación o de línea protegen el lado de la fuente; por lo tanto, únicamente se requiere apartarrayos del lado de la carga.

III.-3 "PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES"TIPOS DE FALLAS

Desde el punto de vista de las redes eléctricas por lo general se le da una importancia notable en la planeación, diseño, construcción y operación a la generación, transformación y transmisión, debido a que se requiere tener altos índices de confiabilidad en el transporte y producción de la energía eléctrica y con este mismo criterio se establecen los esquemas de protección y la inversión que se hace en los mismos, es decir, en la elección de la protección que debe llevar un sistema eléctrico a seguir y que en particular para los sistemas de distribución se pueden mencionar los siguientes:

- a) Magnitud de la carga, grado de importancia y características de la misma.
- b) Tipos de fallas a que se puede ver expuesta la instalación.
- c) Costo de las posibles alternativas de protección en función del grado de confiabilidad deseado.
- d) Dispositivos de protección usados.

Para el caso de las redes de distribución aéreas se pueden -  
mencionar las siguientes fallas:

- \_ Flameos externos y fallas de aislamientos debidos a descargas atmosféricas.
- \_ Fallas debidas a problemas de contaminación ambiental.
- \_ Envejecimiento de aislamientos por calentamiento excesivo.
- \_ Fenómenos de corrosión en aislamientos.
- \_ Ruptura de conductores, aisladores y postes a causa de choques y recargones automovilísticos, sismos, caída de árboles, viento, etc.
- \_ Errores humanos en construcción y operación.

En la República Mexicana en el año de 1980 los datos estadísticos reportaban que en los transformadores de distribución usados en la Comisión Federal de Electricidad había un índice de falla del orden del 7% del total instalado, estimándose -- que las causas probables de falla tenían una distribución como la siguiente:

Defectos de fabricación	10%
Sobretensiones por rayo	27%
Sobrecargas	13%
Corto circuito en el secundario del transformador	50%

Si se toma en consideración que aproximadamente el 50% de la inversión en los sistemas eléctricos de potencia se hace en

lo que corresponde a distribución, se justifica poner la debida atención a todo este tipo de estudios de protección.

Dependiendo de la naturaleza de las fallas se pueden clasificar como:

#### 1) PERMANENTES

Corresponden a este tipo de fallas las que prevalecen sin -- que influya la rapidez de desconexión de los dispositivos de protección o las maniobras que se realicen para restablecer el servicio cuando se presentan las desconexiones temporales. En las redes de distribución aérea caen dentro de esta categoría la caída de conductores, el contacto entre conductores de distinta fase, etc., y en las redes de distribución subterránea, la mayoría de las fallas son permanentes debido a que generalmente se deben a fallas de aislamientos en los cables o equipos.

#### 1.1) TEMPORALES

Son aquellas que se pueden interrumpir en períodos de tiempo breve antes de que puedan causar daños; ésta interrupción se hace normalmente con dispositivos de protección. Algunas de las causas que provocan estas fallas temporales son: Flameo en aisladores debido a descargas atmosféricas, caídas de ramas de árbol sobre los conductores, contacto entre conductores, arqueos por contaminación, etc. Este tipo de fallas -- temporales es típica de las redes de distribución y se debe de contar con los elementos de protección adecuados para ais-

larlas, de otra manera pueden resultar permanentes.

### DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN EMPLEADOS CONTRA SOBRECORRIENTES

---

En la ingeniería de distribución como en otras actividades de la ingeniería eléctrica, se debe diseñar sistemas para proporcionar servicio a los usuarios al menor costo posible para lo cual se requiere de una buena práctica de la ingeniería, el servicio, la seguridad y los buenos requerimientos de operación, lo que significa una buena selección de los equipos y aparatos a emplear en la instalación. Desde el punto de vista de la protección en redes de distribución y dado que se tienen restricciones económicas, es necesario seleccionar los dispositivos de protección apropiados a las funciones que van a desempeñar y efectuar una adecuada coordinación debido a que se deben cumplir los requerimientos de un buen sistema de protecciones que debe de ser seguro, selectivo y confiable básicamente.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes en las redes de distribución están diseñados, no solo para interrumpir corrientes de corto circuito, también desempeñan otras funciones como la interrupción de corrientes de sobrecarga, con la función primordial de aislar las fallas permanentes.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes que se usan en forma más común en las redes de distribución son:

- En la subestación

Los elementos de protección de los alimentadores primarios, instalados en la subestación de distribución son los INTERRUPTORES y los RESTAURADORES.

- En la línea

En las líneas se instalan elementos de protección contra sobrecorrientes y estos son los SECCIONADORES y los FUSIBLES.

" R E S T A U R A D O R E S "

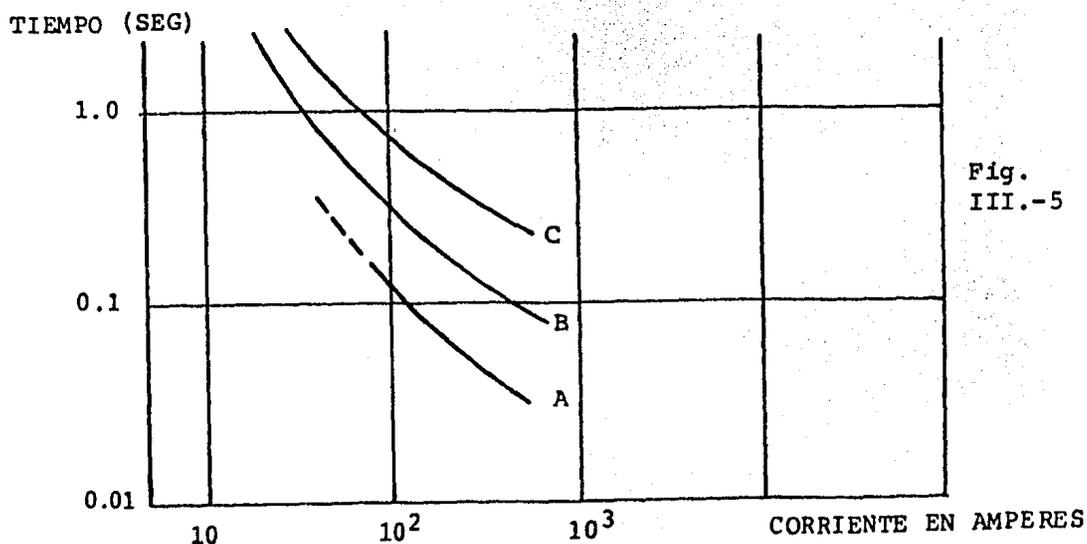
Anteriormente se mencionó que en las redes de distribución del orden de un 80% de las fallas son de naturaleza temporal por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones largas e innecesarias y en este caso se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y reconectarlo después de fracciones de segundo.

Los restauradores se diseñan para interrumpir una fase o tres fases simultáneamente pudiendo tener accionamiento hidráulico o electrónico y pudiendo ser desde el punto de vista de extinción del arco: En aceite ó en vacío y operando con disparo mo-

nofásico con bloqueo trifásico o disparo trifásico con bloqueo monofásico.

De acuerdo con los principios de diseño para el restaurador son dispositivos auto controlados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguido de una operación final de cierre o apertura definitiva, por lo general los restauradores son de operación de apertura definitiva pudiendo tener 4 aperturas y 3 cierres.

En la siguiente figura se muestra una curva característica típica tiempo-corriente observándose tres curvas, una A de disparo instantáneo y las B y C con retardo.



" CURVAS CARACTERÍSTICAS CORRIENTE-TIEMPO PARA RESTAURADOR  
RAPIDO "A" Y DE RETARDO "B" Y "C"

---

La curva de disparo rápido es para la característica de interrupción de fallas temporales evitando la operación de los - dispositivos de protección del lado de carga (generalmente - fusibles) mientras que las curvas de operación con retardo - sirven para coordinar la interrupción de fallas permanentes o permiten la operación de los dispositivos de operación del lado de carga de manera tal que para fallas que se mantengan durante un cierto tiempo el restaurador abra en forma permanente; generalmente permiten al menos dos disparos para coordinar la protección.

Desde el punto de vista de selección de los restauradores los parámetros importantes de especificación son: capacidad de interrupción, corriente nominal, corriente mínima de disparo, -- tensión nominal (ó máxima de diseño) y número de operación de cierre y apertura, así como la frecuencia.

Algunas de las características más importantes para los restauradores se dan en la tabla siguiente:

Tensión Nominal kV	Tensión Máxima de Diseño (kV)	Corriente Nominal A	Capacidad Inte- rruptiva (kA sim)	No. de Operaciones esperado
14.4 (1)	15.0	50/560	8.0	100
24.9 (1)	27.0	10/280	2.0/4.0	68
34.5 (1)	38.0	560	8.0	58
14.4	15.0	50/1120	1.25/16	100
24.9	27	560	8.0/12	58
34.5	38	400/560	6.0/16.0	62
69.0	72.5	560	8.0	58

113

(1) MONOFASICOS.

Para su designación los restauradores se clasifican de acuerdo a:

i) EL MEDIO DE INTERRUPCION

El medio de interrupción se refiere al medio en el cual se produce la extinción o auxilia a la extinción del arco eléctrico y pueden ser por lo general :

- Aceite aislante
- El vacío.

ii) EN CUANTO AL NUMERO DE FASES DE LOS RESTAURADORES PUEDEN SER :

- Monofásicos
- Trifásicos.

iii) EN CUANTO A SISTEMA DE CONTROL

- Con control de tipo hidráulico
- Con control de tipo electrónico en forma automatizada.

Un aspecto importante a considerar en la selección y aplicación de restauradores es su característica de operación mediante la relación tiempo-corriente y que de hecho parte de la definición propia de lo que es un restaurador que según la norma ANSI 37.60 publicación 1974 lo define como:

"Un dispositivo auto controlado que permite abrir y cerrar -

en forma automática un circuito de corriente alterna con una secuencia de aperturas y cierres deseada seguida de una operación de cierre o apertura definitiva. Siendo la mayoría de -- los restauradores fabricados de manera que tengan una apertura definitiva.

Las características de operación por lo general se muestran - como una curva tiempo corriente como las que se muestran en - las siguientes figuras para restauradores con bobina serie y sin bobina serie; estas curvas tienen un buen número de varian- tes y son usadas normalmente con propósitos de coordinación de protecciones.

Las secuencias de operación normalmente usadas en los restau- radores que se aplican para la protección de las redes de dis- tribución caen por lo general dentro de las siguientes:

Tipo de Secuencia de Maniobra.	Característica de la Maniobra.
A	2 Interrupciones rápidas y 2 con retardo.
B	1 Interrupción rápida y 3 con retardo.
C	1 Interrupción rápida y 2 con retardo.
D	2 Interrupciones rápidas y 1 con retardo.

Las características de aplicación en general para estas secuencias de operación se dan a continuación, obteniéndose condiciones semejantes para las que no se indican.

Tipo de Secuencia de Maniobra	Ventajas	Comentarios sobre la Aplicación
A	El esquema de dos interrupciones rápidas y dos con retardo, permite la coordinación con los relevadores que accionan interruptores en aceite y también una buena coordinación con los fusibles.	Se ha observado que ésta secuencia interrumpe el 90% de las fallas durante la interrupción rápida, el 5% a la tercer operación por protección a un fusible y el 5% para apertura definitiva cuando las fallas son permanentes.
B	El esquema de 1 disparo rápido y tres retardos permite una buena coordinación entre restauradores y fusibles cuando se encuentran en serie.	El 80% de las fallas se interrumpen con la operación rápida del restaurador, permitiendo un mayor tiempo de operación del fusible, que por lo general se funde en el primer tiempo.

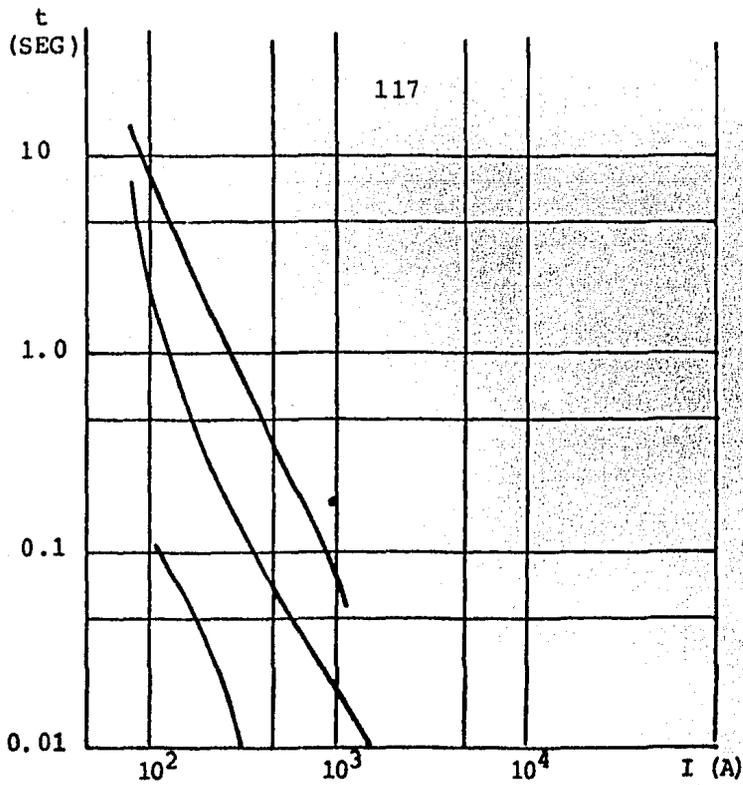


Fig. III.-6 RESTAURADOR CON BOBINA NO-SERIE

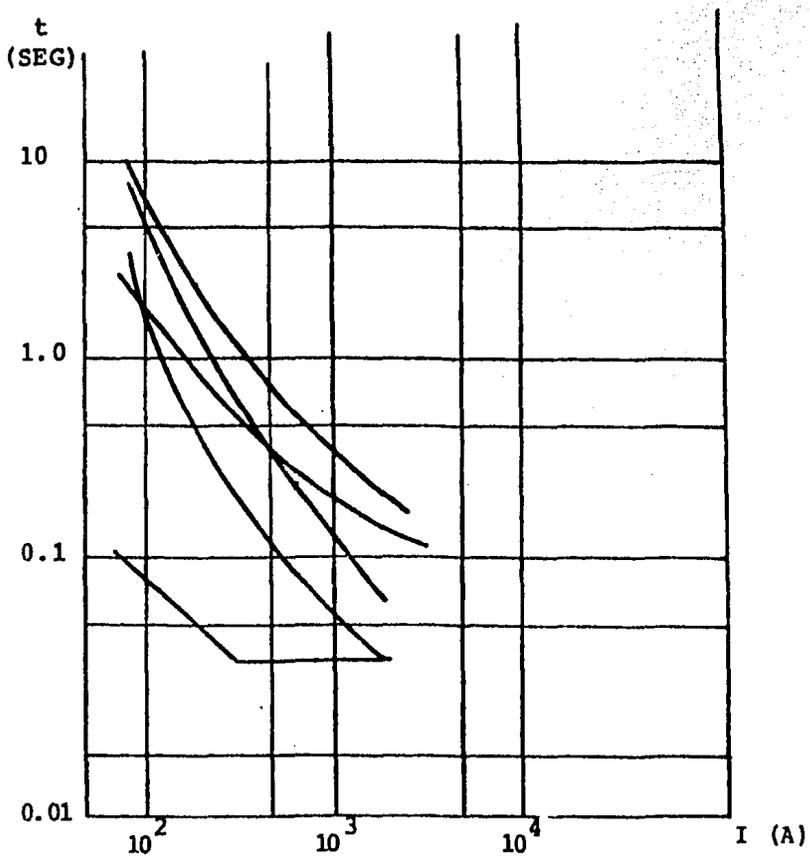


Fig. III.-7 RESTAURADOR CON BOBINA SERIE

I N T E R R U P T O R E S

Los interruptores son los elementos cuya función es desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal, vacío o corto circuito, es decir, con condiciones normales o anormales. Su operación o ciclo de trabajo puede consistir en lo siguiente:

- Desconexión normal.
- Interrupción de corriente de falla.
- Cierre con corriente de falla.
- Interrupción de corrientes capacitivas.
- Interrupción de pequeñas corrientes inductivas.
- Fallas de línea corta (falla kilométrica)
- Oposición de fase durante las salidas del sistema.
- Recierres automáticos rápidos.
- Cambio súbito de corriente durante las operaciones de maniobra.

Los valores nominales de un interruptor deben considerar las condiciones de operación posibles mencionadas anteriormente, o sea que su diseño debe considerar estos factores y desde luego que debe estar diseñado y construido para conducir las corrientes de plena carga del sistema en el que se encuentra y soportar los esfuerzos electrodinámicos debidos a las corrientes de corto circuito. Las normas internacionales recomiendan que como mínimo se deben especificar las siguien-

tes características nominales de un interruptor:

- I.- Corriente nominal
- II.- Frecuencia nominal
- III.- Capacidad de interrupción simétrica y asimétrica.
- IV.- Capacidad de cierre en corto circuito.
- V.- Máxima duración de la corriente de corto circuito o corriente nominal de tiempo corto.
- VI.- Ciclo de operación nominal.
- VII.- Tensión Nominal.

#### CORRIENTE NOMINAL

La corriente nominal de un interruptor es el valor eficaz de la corriente expresada en amperes, para el cual está diseñado y que debe ser capaz de conducir continuamente sin exceder los límites recomendables de elevación de temperatura.

La elevación de temperatura de cada una de las partes de los interruptores cuando se prueba para verificar su capacidad de conducción de corriente nominal se muestra en la tabla siguiente:

**ELEVACION MAXIMA DE TEMPERATURA PARA LAS  
DIFERENTES PARTES DE UN INTERRUPTOR**

PARTES O COMPONENTES	Limites de elevación de Temp. en °	
	Interr. en aceite	Interr.s/aceite
a) Contactores en aire	30	35
b) Contactores en aceite	30	---
c) Aceite	30	---
d) Bobinas de potencial con aislamiento tipo O *	35	35
e) Bobinas en serie con aislamiento clase O *	50	50
f) Bobinas en serie y de potencial con aislamiento clase A	50	50
g) Bobinas en serie y de potencial con aislamiento clase B	70	70
h) Todas las otras partes del interruptor	70	70

O.- TIPO SINTETICO

A.- PAPELES EN ACEITE

Los valores dados en la tabla anterior corresponden a interruptores de operación exterior (intemperie). Para interruptores que operan en interior estos límites de elevación de temperatura se basan sobre la temperatura ambiente dentro del elemento que los contiene y que no debe exceder a  $40^{\circ}\text{C}$  si el interruptor tiene contactos de plata o cobre plateado.

#### " FRECUENCIA NOMINAL "

La frecuencia nominal de un interruptor es la frecuencia a la cual está diseñado para operar y que corresponde a la frecuencia del sistema del cual se va a conectar; por ejemplo en México este valor es de 60 Hz.

#### CAPACIDAD DE INTERRUPCION SIMETRICA Y ASIMETRICA

Como es sabido, las corrientes de corto circuito (C.C.) están formadas de varios componentes, si se toma un oscilograma de una corriente de C.C. se puede observar que en general son asimétricas con relación a un eje de referencia de tal manera que el valor eficaz de la corriente varia con el tiempo. En la siguiente figura se indica la forma de un oscilograma.

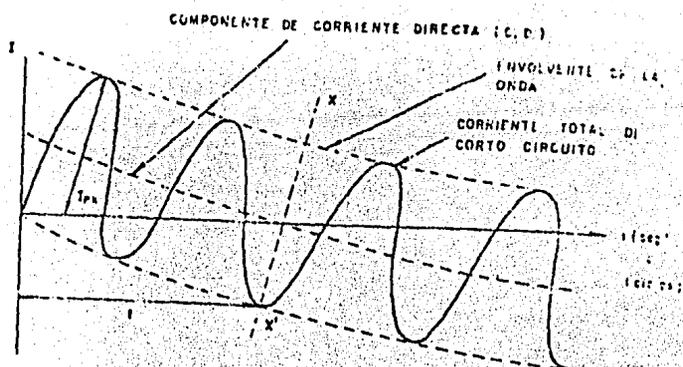


Fig.III.-8  
Oscilograma de  
una corriente  
de corto  
circuito.

Después del instante de la falla la corriente de C.C. decae de un alto valor inicial  $I$  (produce efectos dinámicos) a un valor sostenido, además hay que agregar el tiempo propio de los relevadores que envían la señal de apertura al interruptor después de la iniciación del C.C., por lo que el valor real de la corriente interrumpida por el interruptor es menor que el valor inicial de la corriente de C.C.

La corriente de interrupción de un polo de un interruptor es el valor de la corriente en el polo en el instante de separación de los contactos y se expresa por dos valores.

- a) Corriente simétrica
- b) Corriente asimétrica.

#### QUE REPRESENTAN LAS CORRIENTES DE APERTURA

- a) La corriente simétrica es el valor eficaz de la componente de corriente alterna en el polo en el momento de la se-

paración de los contactos; refiriéndose a la figura su valor está dado por:

$$I_{sim} = \frac{a b}{\sqrt{2}}$$

b) La corriente asimétrica es el valor eficaz del valor total de la corriente que comprende las componentes de C. A. y C. D. en un polo en el instante de la separación de los contactos, de la figura se ve que el valor de la corriente asimétrica es:

$$I_{asim} = \sqrt{\left(\frac{a b}{2}\right)^2 + (bc)^2}$$

Frecuentemente se expresan las relaciones entre las corrientes simétricas y asimétricas de C.C. por medio de un factor de asimetría.

$$I_{asim} = K I_{sim}$$

K= Factor de asimetría

Este valor K depende de las relaciones entre la reactancia -- inductiva y la resistencia del circuito en donde se va a instalar el interruptor.

$$K = f \left( \frac{X}{R} \right)$$

Normalmente aparece tabulado en tablas.

La capacidad interruptiva de un interruptor se calcula como.

$$P_{ccsim} = \sqrt{3} \cdot (KV) \cdot I_{sim}$$

$$P_{cc asim} = \sqrt{3} \cdot (KV) \cdot I_{asim}$$

$$P_{cc asim} = K P_{ccsim}$$

#### CAPACIDAD DE CIERRE EN CORTO CIRCUITO

Este valor caracteriza la capacidad de un interruptor para cerrar sus contactos en condiciones de C.C. en el sistema.

#### CORRIENTES DE CIERRE

La corriente de cierre de un interruptor cuando cierra sobre C.C. es el valor eficaz de la corriente total (incluyendo -- las componentes de C.A. y C. D.) y que se miden de la envolvente de la onda de corriente en su primer valor cresta, en la figura este valor es  $I_{pk}$

La corriente de cierre de un interruptor es aquella que corresponde a esta maniobra a la tensión nominal del mismo, la ausencia de este valor en la placa de características del interruptor implica que se debe calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Corriente de cierre} = 1.8 \sqrt{2} I_{sim} = 2.54 I_{sim} \text{ sobre C.C.}$$

La corriente nominal de tiempo corto de un interruptor es: - el valor eficaz de corriente que el interruptor puede conducir en posición cerrada sin sufrir daño para intervalos de tiempo corto: especificados. Estas corrientes se expresan por lo general en KA para un período de 1 seg. o para 4 seg. expresándose como las corrientes de 1 seg. y 4 seg.; estas corrientes por lo regular no se especifican para interruptores de baja tensión debido a que están equipados con dispositivos de disparo directo y su objetivo es determinar sus limitaciones térmicas.

CICLO DE OPERACION NOMINAL.- El ciclo de operación de un interruptor consiste de un número de operaciones establecidas con intervalos de tiempo dados. De acuerdo con las recomendaciones de las normas de la IEC el ciclo de operación de un interruptor que no está especificado para autorecierrne se puede expresar como sigue:

- a) o - t - co - t' - co
- b) o - t" - co

Siendo:

- o - operación de apertura
- c - operación de cierre
- co - operación de cierre seguida de una apertura
- t t' t" - intervalos de tiempo
- t y t' - en minutos
- t" - en segundos

En la siguiente figura se ilustran las diferentes componentes del tiempo de operación de un interruptor.

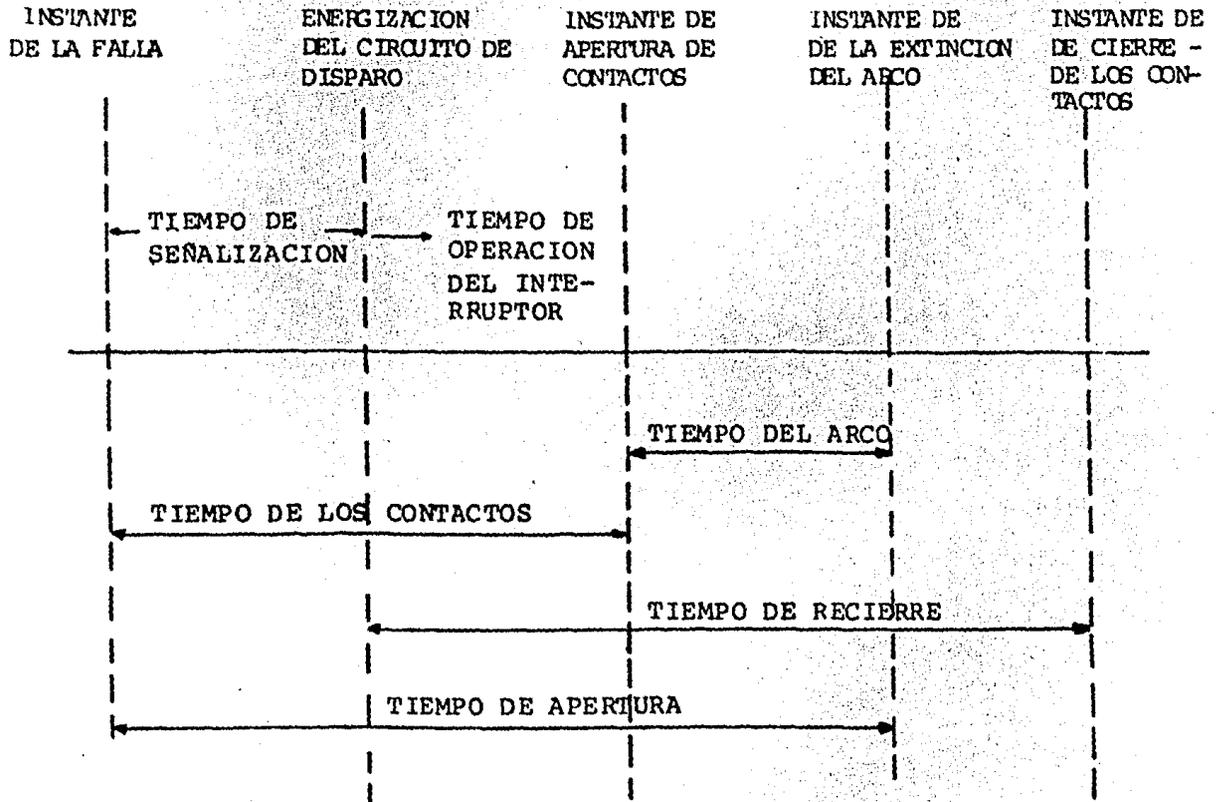


Fig. III.-9 Componentes del tiempo de operación de un interruptor.  
CONDICIONES DE OPERACION DE LOS INTERRUPTORES

En diferentes circunstancias los interruptores se pueden ver sometidos a diferentes esfuerzos ( una gran variedad), por ejemplo, la corriente varía de unos cuantos amperes cuando se tienen transformadores en vacío hasta valores muy grandes de corriente que pueden llegar a ser del orden de kiloamperes, pudiendo también operar para conectar líneas en vacío o ca--

bles en vacío, de tal forma que mientras las corrientes de carga son más o menos ohmicas, las corrientes de C.C. son puramente inductivas y la desconexión de líneas en vacío puramente capacitivas.

Los interruptores no solamente deben interrumpir sino también cerrar circuito, esto produce algunos problemas especialmente cuando el interruptor se encuentra cercano al corto circuito debido a que la corriente a través del arco producido por la ruptura dieléctrica pueden dañar los contactos. Esta situación en general no es deseable debido a que el interruptor debe estar en posibilidad de abrir sus contactos una vez más ya que alrededor de un 20% de los cortos circuitos que ocurren persisten, de manera que el interruptor inmediatamente después de un recierre debe estar en posibilidad de abrir. Esta condición de operación es muy severa especialmente si el interruptor interrumpe corrientes muy grandes.

Las principales condiciones de operación a las que se ve sometido un interruptor y que se pueden mencionar son en adición a la capacidad interruptiva y a la capacidad de cierre sobre corto circuito son las siguientes:

- a) Interrupción de corto circuito
- b) Interrupción de pequeñas corrientes inductivas
- c) Interrupción con falla de línea corta (falla kilométrica).

a) INTERRUPCION DE CORTO CIRCUITO

La corriente de corto circuito depende básicamente de la fuente de tensión E y la reactancia en serie con ella, X, calculándose para el caso de la falla trifásica de acuerdo con las expresiones indicadas

$$I_{sim} = \frac{KVA \text{ base}}{\sqrt{3} kV \text{ falla} \times P.M.} \quad I_{asim} = K I_{sim}$$

Después de que el arco de corriente se extingue al pasar por el cero de su frecuencia natural (60 Hz), el circuito recupera su tensión y aparece entre las terminales del interruptor una tensión transitoria de restablecimiento (TTR) ó tensión de reignición por lo que se deben especificar estas cantidades en la serie de datos para la operación del interruptor.

E = Fuente de voltaje

X = Reactancia en serie entre el punto de falla y la fuente de voltaje

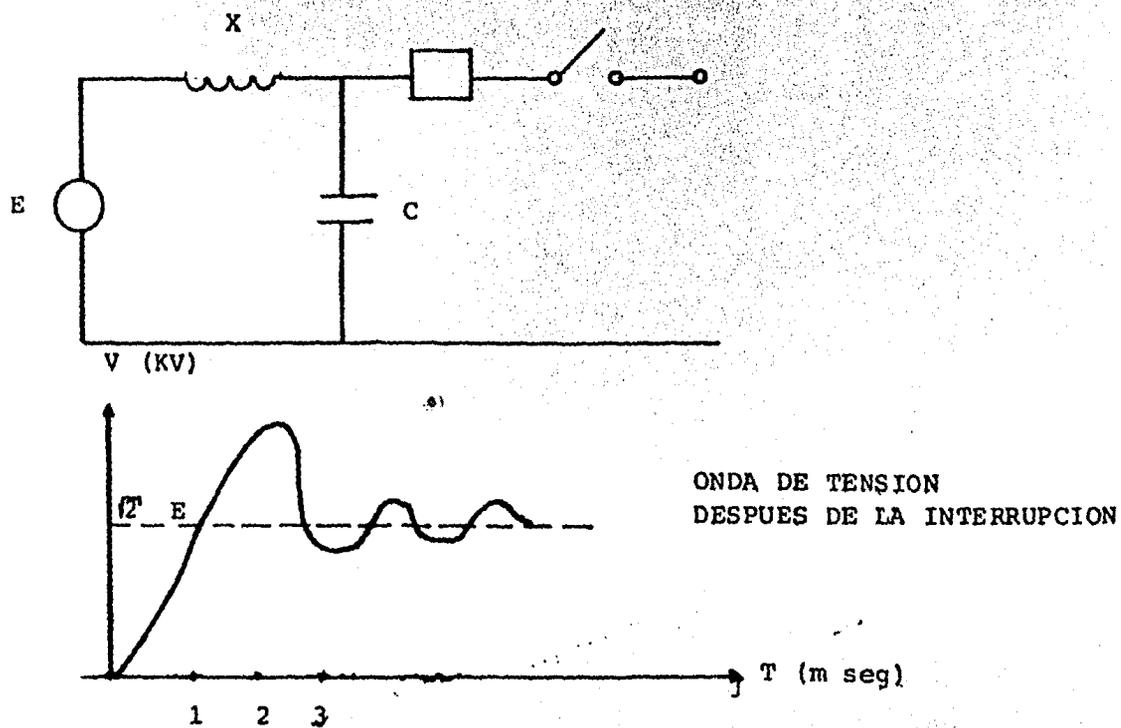


Fig. III.-10 Interrupción después de una falla.

b) INTERRUPCION DE PEQUEÑAS CORRIENTES INDUCTIVAS

Las corrientes de magnetización de los transformadores son por lo general pequeñas ( del orden del 1 al 2% de la corriente nominal) de manera que su interrupción por si misma constituye un problema para el interruptor, la supresión de estas corrientes antes de su cero natural presenta una elevación de tensión que puede ser muy peligrosa pues puede alcanzar hasta 3 veces el valor de la tensión máxima del diseño del interruptor a través de la inductancia del transformador. Esto hace que algunos interruptores se les instale en paralelo resistencias con las cámaras de interrupción como medidas de protección a través de las cuales la energía del transformador se puede descargar sin causar daños considerables debidos a las tensiones excesivas.

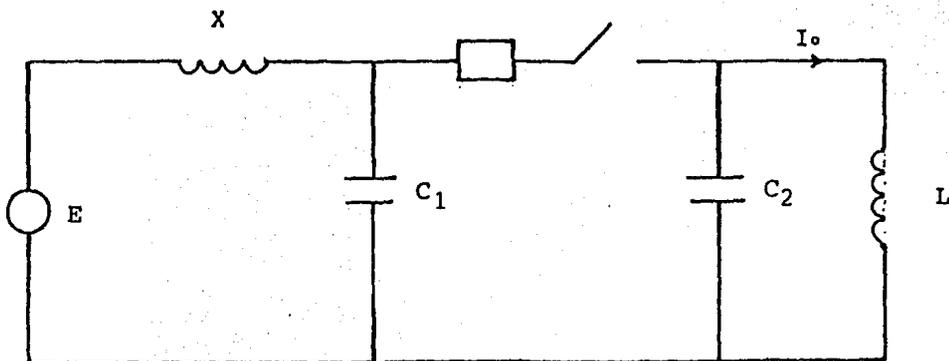


Fig.  
III.-11

- $L$  = Inductancia del transformador.
- $C_1$  y  $C_2$  Capacitancias concentradas en cada lado del interruptor.
- $X$  = Reactancia en serie entre la fuente y el transformador.
- $I_0$  = Corriente de magnetización del transformador (1 al 2%  $I_{nom}$ )

c) DESCONEXION DE LINEAS DE TRANSMISION

En vacío o de bancos de capacitores, imponen al interruptor la condición de operación de desconexión de corriente capacitiva, a un factor de potencia cero, esto puede resultar anormal cuando se tienen altas tensiones entre los contactos del interruptor ya que puede originar reencebados del arco eléctrico, de manera que cuando la interrupción ocurre, si la línea de transmisión por ejemplo se encuentra cargada a su máximo valor en comparación con la tensión generada, el interruptor se puede ver sometido a una diferencia de potencial  $V_c$  después de un intervalo de aproximadamente medio ciclo del momento de la apertura alcanzando valores hasta de cinco veces su tensión nominal en algunas ocasiones.

e) INTERRUPCION DE FALLA DE LINEA CORTA

La interrupción de corrientes de corto circuito debidas a fallas que ocurren en el primer kilómetro o alrededor del pri-

mer kilómetro de una línea cercana produce una condición severa de operación del interruptor, esto se debe a que la tensión transitoria de restablecimiento a través de los polos del interruptor está acompañada de un componente de alta frecuencia - del lado de la línea, mientras que la reducción de la corriente de corto circuito en la línea es pequeña debido al bajo valor de inductancia.

La tensión transitoria de la línea en corto circuito es proporcional a la magnitud de la corriente de corto circuito y la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de la línea en corto circuito. Después de la interrupción de la corriente de corto circuito la tensión en la línea decae en la forma de una línea con carga y a su vez la carga decae en la forma de una onda viajera que oscila a la frecuencia natural. El índice de elevación de estas oscilaciones tiene una frecuencia de oscilación - bastante alta.

Con relación a la impedancia característica de la línea en corto circuito obteniéndose este índice de elevación a la tensión transitoria de restablecimiento (IETTR) de acuerdo a la siguiente expresión:

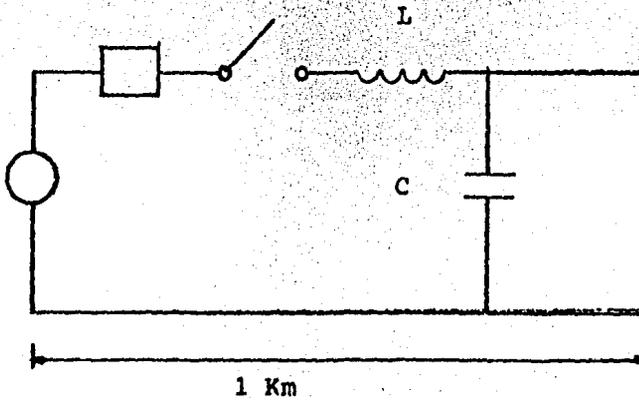
$$IETTR = \sqrt{2} \quad IWZ$$

$I$  = corriente de c.c.

$\omega$  = frecuencia angular de servicio

$Z$  = impedancia característica de la línea en falla en ohms.

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ en ohms}$$



ER IETTR es del orden de 1.5 KV/microsegundo, después de la -  
 interrupción en las terminales. Para una falla a un Km del in-  
 terruptor (aprox.) se puede tomar el IETTR entre 6 y 8 KV/mi-  
 croseg. dependiendo del valor de  $Z$  .

FUSIBLES

Como se sabe, en cualquier tipo de instalación eléctrica ya sea residencial, industrial o comercial así como en las redes de distribución se requiere protección contra sobrecargas o corto circuito. Como se describió en el capítulo 3 una forma de hacerlo es instalando en el circuito un punto débil que responda a las condiciones de exceso de temperatura y esto constituye el principio de funcionamiento del fusible y cuyas funciones en las instalaciones eléctricas es:

- Abrir el circuito eléctrico, el cual se encuentra conectado cuando existe una sobrecarga o corto circuito, protegiendo de esta manera a la instalación y al equipo mismo.

- Proporcionar seguridad de funcionamiento al quedar instalado en el circuito eléctrico al cual va a proteger.

De acuerdo con estas funciones los elementos fusibles deben cumplir con los siguientes requerimientos de diseño:

- Limitar los efectos de las sobrecorrientes en las instalaciones eléctricas a un mínimo grado.

- En condiciones normales al no permitir sobrecorrientes en las instalaciones, no permiten sobre calentamientos y consecuentemente prolongan la vida de la instalación.

- Deben satisfacer las condiciones técnicas y económicas que lo justifiquen como elemento de protección.

- Deben operar en períodos de tiempo relativamente cortos - cuando se presenten las sobrecorrientes.

Desde el punto de vista de la velocidad de fusión de un fusible que en realidad da una idea de la rapidéz con que responde el elemento fusible a la magnitud de la sobrecorriente -- que se presente, se puede definir esta velocidad de fusión a 0.1 seg. y la corriente mínima de fusión a 300 ó 600 seg. De acuerdo con esto los elementos (eslabones) fusibles se acostumbra clasificarlos como:

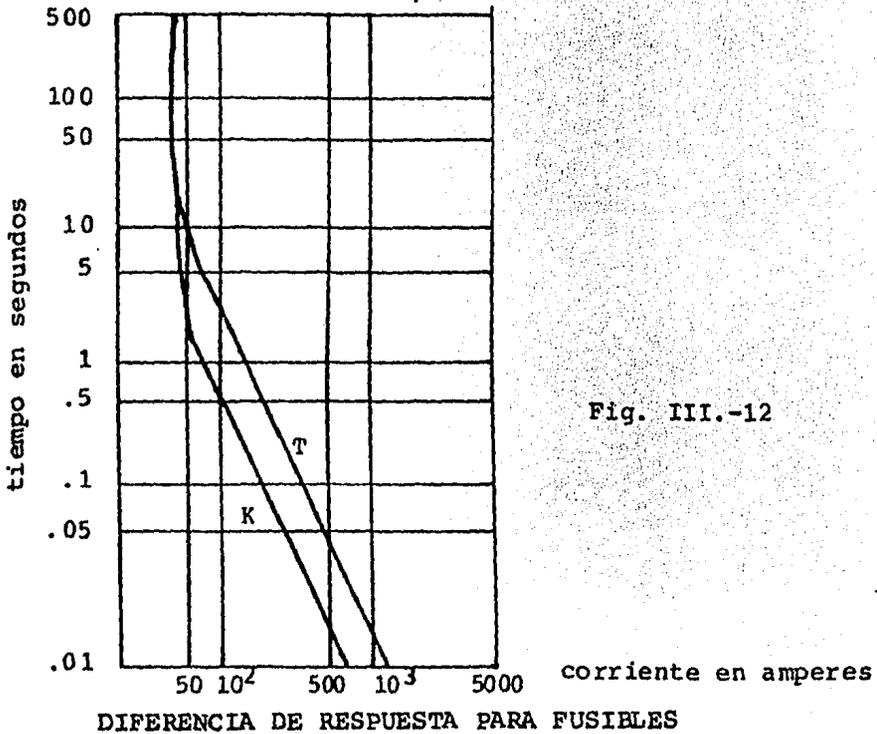
#### Elemento fusible T (lento)

Las características que establecen la diferencia entre un tipo de fusible y otro son su velocidad de fusión y su corriente nominal los llamados eslabones fusibles LENTOS (T) son -- aquellos cuya velocidad de fusión se encuentra en el rango de 10 a 13 y su capacidad de conducción de corriente nominal va de 6 hasta 200 A en valor eficaz.

#### Elemento fusible K (rápido)

A estos elementos fusibles se les conoce como rápidos por que tienen una velocidad de fusión que va de 6 a 8.1 teniéndolo una capacidad de conducción de corriente nominal que está comprendida en el rango de 6 a 200 A en valor eficaz.

El valor de corriente nominal de un fusible se refiere a valores de corriente eficaz expresada en amperes que conduce el fusible sin que se presente ninguna elevación de temperatura en alguna de las partes que lo constituyen. En la figura siguiente se muestran las diferencias entre la respuesta de los fusibles tipo K y tipo T.



TIPO "K" Y TIPO "T"

" CORTA CIRCUITOS FUSIBLE "

Desde el punto de vista del reglamento de obras e instalaciones eléctricas los fusibles que operan con tensiones superiores a 600 volts, son considerados como de alta tensión encontrándose dos formas ó tipos para su aplicación en las redes de distribución aéreas; una de estas formas es la que se denomina corta circuitos y la otra los fusibles de potencia.

El corta circuitos está diseñado principalmente para ser instalado a la intemperie y está constituido como se indicó en el capítulo 3 por una estructura soporte y el elemento fusible permitiéndolo:

- Instalarse a la intemperie en instalaciones aéreas generalmente montado en la cruceta de los postes.
- Se instala por lo general en el lado primario de los alimentadores en las redes de distribución aéreas empleándose fusibles tipo expulsión en tubo de fibra y eventualmente con el elemento sin la protección del tubo de fibra (canilla). El fusible que se encuentra en tubo de fibra se coloca en el interior de la Canilla que tiene contactos eléctricos en ambos extre--

mos como se muestra en las figuras.

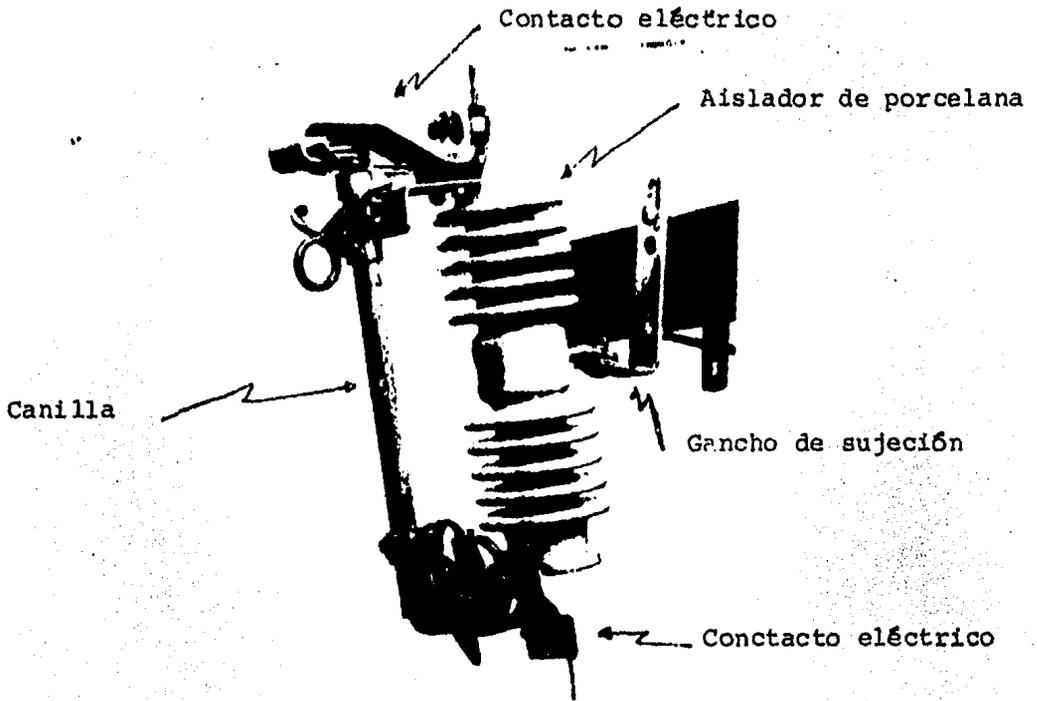


Fig. III.-13 CORTACIRCUITO CON TUBO DE FIBRA DE VIDRIO

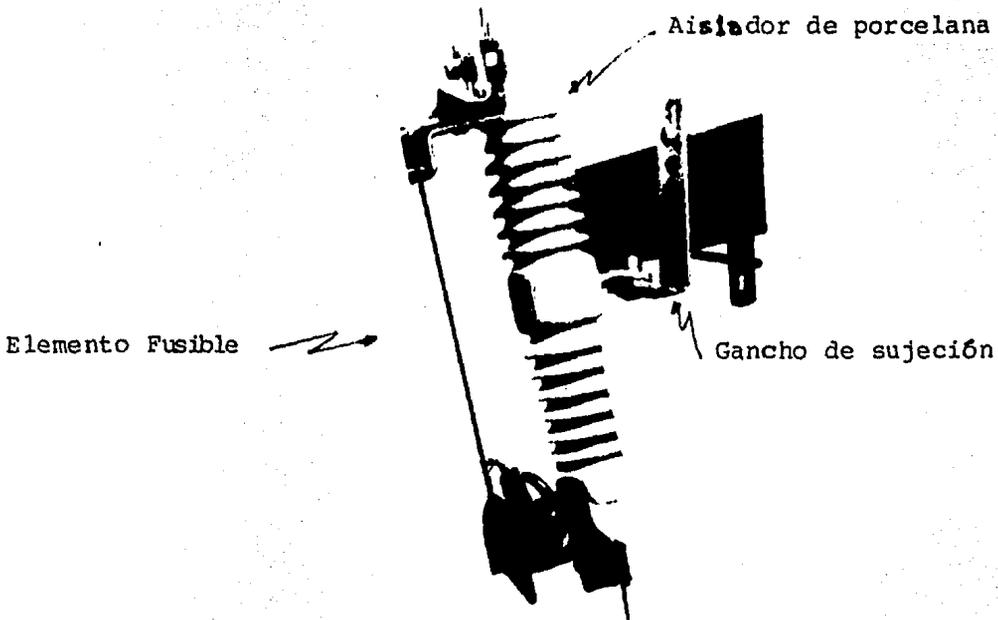
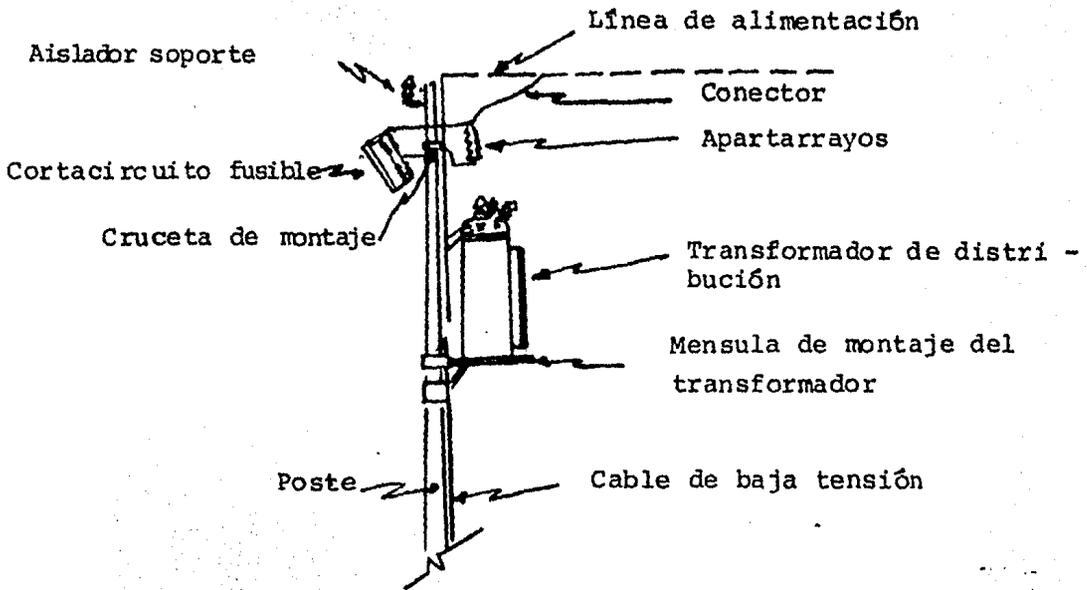


Fig. III.-14 ELEMENTO FUSIBLE ABIERTO

En la figura siguiente se indican los principales elementos que intervienen en la selección e instalación de corta circuitos fusible usados en redes de distribución aéreas.

Fig. III.-15



" FUSIBLES DE POTENCIA "

Los fusibles de potencia constituyen otro de los elementos de protección contra sobrecorrientes en las redes de distribución y su aplicación en cierto modo es semejante a la de los corta circuitos sólo que está más orientada hacia las instalaciones eléctricas convencionales (no tipo poste) pudiéndose usar en interiores o a la intemperie. Está constituido por un soporte, una estructura del fusible y una unidad fusible.

Para la aplicación se requiere de la determinación de los llamados parámetros de selección que básicamente son los mismos que para los corta circuitos fusible y que básicamente son los siguientes:

- Tensión nominal
  - Tipo de conexión a tierra del sistema a que se conectará el fusible o corta circuitos.
  - Relación X/R y valor máximo del corto circuito en el punto de su instalación.
  - Corriente de carga.
- . . .

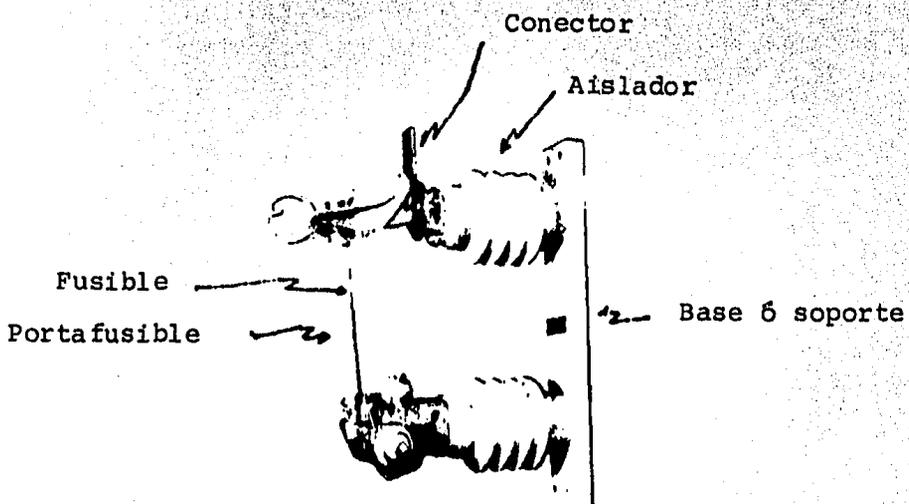


Fig. III.-16  
ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN FUSIBLE DE POTENCIA

La serie de valores de corrientes nominales preferidos para fusibles de potencia :

0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 40.0, 50.0, 65.0, 80.0, 100.0, 125.0, 150.0, 200.0, 250.0, 300.0 y 400.0.

En la tabla siguiente se dan algunos datos de valores de corrientes de corto circuito para corta circuitos de expulsión y elementos fusible tipo T y K dados por las normas.

TENSION MAXIMA DE DISEÑO KV	T I P O	CAPACIDAD INTERRUP-TIVA EN AMPERES
5.2	Encerrado	1600 -12500
7.8	Encerrado	1400 - 8000
7.8	Eslabón Abierto	1200
15	Abierto	2800 -10000
15/26	Abierto	2800 - 5600
18	Eslabón Abierto	750
27	Abierto	1100 - 8000
38	Abierto	1300 - 5000

" SECCIONADORES "

Los seccionadores son elementos que no están diseñados para interrumpir corrientes de corto circuito ya que sirven para abrir circuitos en forma automática después de cortar y responder a un número predeterminado de impulsos de corriente de igual a mayor valor que una magnitud previamente determinada; abre cuando el circuito principal queda desenergizado; tratándose de la desconexión de cargas se puede hacer en forma manual.

En cierto modo el seccionador permite aislar sectores de la red de distribución llevando un conteo de las operaciones de sobrecorriente del dispositivo de respaldo. Es importante hacer notar que debido a que no interrumpen corrientes de corto circuito, no tienen curva característica tiempo-corriente por lo que no intervienen en la coordinación de protecciones, pudiéndose instalar entre dos dispositivos de protección.

Por su principio de operación el medio aislante puede ser aire, aceite o vacío y en cuanto al control se refiere, es similar al caso de los restauradores ó sea se puede ser hidráulico, electromecánico o electrónico.

Por lo general el registro de las sobrecorrientes se efectúa cuando la corriente a través del seccionador cae debajo de un valor de alrededor del 40% de la corriente mínima con que se activa al seccionador.

Los valores típicos para especificación de un seccionador son:

- Tensión máxima de diseño
- Corriente de conducción.
- Corriente de interrupción.

Las características más importantes para seccionadores de línea se dan a continuación.

**SECCIONADORES  
MONOFASICOS**

Tensión Nominal en KV	Tensión Máxima de diseño KV	Corriente Nominal (Amperes)	Capacidad Interruptiva (KA)
14.4	15	200	440
14.4	15	200	200
14.4	15	200	440
24.9	27	200	---
<b>SECCIONADORES TRIFASICOS</b>			
14.4	15.5	200	440
14.4	15.5	400	880
14.4	15.5	600	1320
34.5	32.0	400	880

Los alimentadores primarios son los elementos encargados de distribuir la energía eléctrica de la subestación eléctrica de potencia a la carga; generalmente adoptan configuraciones que permiten hacer movimientos de carga con relativa facilidad, llevar a cabo ampliaciones en la red con un mínimo de modificaciones, asegurar el máximo de continuidad y operar de la manera más eficiente posible.

Las tensiones de operación de los alimentadores primarios son función de: el valor de la potencia a alimentar, las pérdidas, el costo de instalación, el costo de mantenimiento y las restricciones de espacio de la vía pública que presenten los reglamentos en vigor.

Las tensiones más comunmente usadas son: 2400, 3000, 4160, - 4300, 6600, 7200, 12470, 13200, 13800, 22900, 24900 volts.

En la República Mexicana las tensiones más usadas son: 6600, 13200, 22900 volts, esta última por comodidad al referirse a ella se dice 23 Kv.

Las redes primarias de distribución se clasifican de acuerdo a su tipo de operación de la siguiente manera:

- Radial
- Paralelo

Por definición, en un sistema radial el flujo de energía tiene una sola trayectoria: de la fuente a la carga en el sistema paralelo tiene más de una trayectoria.

Para proteger los alimentadores primarios, se emplean una serie de aparatos y dispositivos tales como: interruptores, restauradores, seccionadores, fusibles, relevadores, alarmas, etc. que ya mencionamos anteriormente; todos ellos seleccionados para lograr una buena coordinación de la protección y un tiempo mínimo de la duración de la falla.

La capacidad normal de los alimentadores de 23 KV es de 9 ó - 12 MVA, dependiendo de la capacidad firme de la subestación.

Un alimentador de 23 KV, se estructura en forma que el área por él abarcada quede enmarcada por su troncal y dividida en tres cuadros ó módulos por líneas de igual calibre. Se unen los lados opuestos de un módulo por líneas llamadas de amarre, cuyos calibres son 1/0 y sus ramales ó derivaciones para alimentar el transformador son de calibre No. 2

Los materiales normalizados en la construcción de estas estructuras son :

Conductores y sus características:

DESIGNACION	H I L O S		EQUIVALENTE COBRE	SECC. mm <sup>2</sup> .	CORRIENTE NORMAL (AMP)	U S O
	ALUM.	ACERO				
ACSR 2	6	1	4	39.24	160	Ramales
ACSR 1/0	6	1	2	62.39	220	Líneas de amarre.
ACSR 4/0	6	1	2/0	125.10	330	Troncales
ALD 336	19	0	4/0	170.50	470	Troncales

Se ha dado preferencia al uso de conductores de aluminio por ser más económicos, ligeros y presentar el fenómeno de efecto corona que los conductores de cobre, los cuales se han dejado para aplicaciones especiales, como son las zonas contaminadas con vapores que atacan al aluminio. En zonas de mucha vegetación, se usan conductores forrados.

Aisladores y Crucetas:

Existen dos tipos de aisladores de porcelana:

- Alfiler o suspensión
- Tensión

Las crucetas utilizadas son de fierro canal liviano de 150 mm. de ancho y de diferentes longitudes según la disposición de los conductores.

Elementos de desconexión:

- a) Interruptores en aire, de operación manual, en grupo de -

600 amp. y una cámara de extinción, para usarse en exclusivamente en troncales.

b) Interruptores en aire, de operación manual, en grupo de 400 amp. y una cámara de extinción, para usarse en líneas de amarre, en los puntos de derivación.

c) Cuchillas de navaja monopolares, tipo load-booster, para puntos de derivación o puntos intermedios.

d) El medio de conexión, desconexión y protección de transformadores, equipos de medición y servicios de clientes proporcionados en 23 KV, son los portafusibles con fusibles seleccionados de acuerdo con la capacidad de corto circuito de la zona y la corriente demandada por el servicio.

Norma de empleo de los elementos de desconexión en la red de 23 KV.

a) Los tramos de troncal entre dos nodos, que carezcan de derivaciones de líneas de amarre, llevan un solo juego de interruptores en aire de 600 amp. en cualquiera de sus extremos.

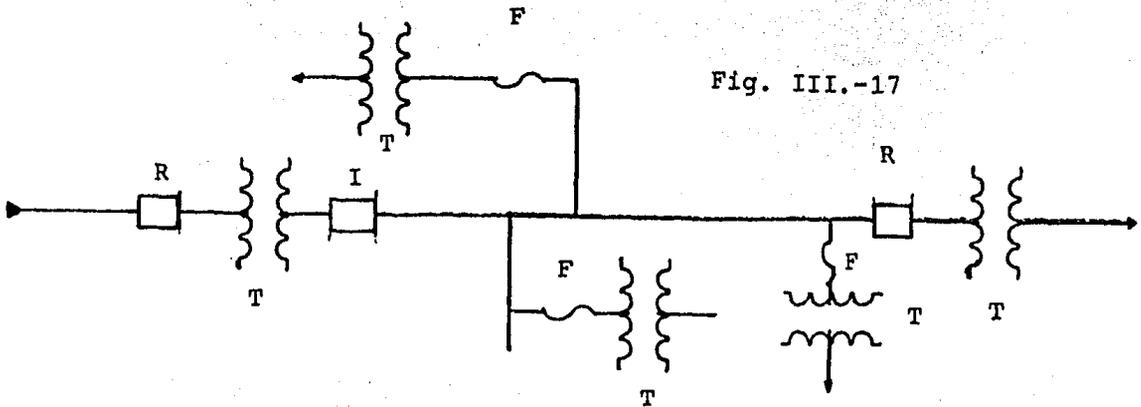
b) Los tramos de troncal entre dos nodos, que tengan una o varias derivaciones de líneas de amarre, llevan dos juegos de interruptores en aire de 600 amp.

c) Las líneas de amarre llevan en puntos intermedios juegos de cuchillas de navaja, alimentando grupos de transformadores.

· Protección de transformadores y equipo auxiliar

PROTECCION DE TRANSFORMADORES

Los transformadores de distribución instalados en las líneas aéreas se pueden proteger contra sobrecorrientes en distintas formas , dependiendo de factores diversos tales como: tipos de conexión de la red (radial ó malla), importancia de la carga o de su localización dentro de la red, así como del criterio de la coordinación de las protecciones. Un esquema típico de los elementos en la red eléctrica es el que se muestra a continuación:



Por lo general los elementos de protección contra sobrecorrientes en los transformadores de distribución se encuentran localizados en el lado de alta tensión por lo que cuando ocurren fallas en el secundario del transformador ( a cierta distancia del devanado de bajo voltaje) debido a la impedancia propia del transformador y a la del cable, la protección del primario no detecta la falla como tal, más bien la ve como una sobrecarga y esto hace que un buen porcentaje de los transformadores de distribución dañados tengan como origen de la falla la presencia de corto circuito en el secundario y en ciertos casos haga necesaria la aplicación de dispositivos de protección contra sobrecorriente en este devanado.

En la protección de transformadores que operan en las redes de distribución aéreas, es necesario considerar que con cierta frecuencia estarán sometidos a sobrecargas y una pregunta que surge es qué tanto se puede sobrecargar un transformador de distribución durante su operación considerando la diversidad de condiciones de carga a que se encuentran sometidos dependiendo del número de usuarios.

La capacidad de disipación de calor de una máquina eléctrica es la capacidad de sobrecarga que puede tener. En el caso particular de los transformadores de distribución puede tomar como referencia la norma ANSI C57.92 que se refiere a la "Guía para carga de transformadores sumergidos en aceite" y que da en la tabla siguiente algunos valores de carga de corto tiem-

po permisibles para la protección por sobrecorriente.

P E R I O D O	Número de veces la corriente nominal del transformador (sobrecarga)
2 Seg.	25.0
10 Seg.	11.3
30 Seg.	6.7
60 Seg.	4.75
5 Min.	3.0
30 Min.	2.0

Los transformadores de distribución también tienen una capacidad de conducción de corrientes de corto circuito durante lapsos de tiempo cortos y dependiendo también del valor de su impedancia; estos valores de corriente y su relación con la impedancia se encuentran normalizados en la norma ANSI C 57.12.10 para transformadores con tensiones iguales o inferiores a 13.8 KV y se dan en la tabla siguiente:

PERIODO (Seg)	No. de veces la corriente nominal	Impedancia en %
2	25	4 ó menor
5	14.3	7

Como se sabe es bastante común que en algunas redes de distribución aéreas se usen capacitores con propósitos de regulación de voltaje y de corrección de factor de potencia, razón por la que es necesario que en forma semejante a los transformadores se proteja convenientemente los bancos de condensadores para evitar fallas internas que pueden tener su origen en otras pero que al final de cuentas producen un efecto negativo en la operación de la red misma.

Como política de operación y de los mismos fabricantes de capacitadores recomiendan que en las redes de distribución se pueden operar a máxima carga y una sobre capacitancia máxima de 115% sin tener problema y en permitir una sobretensión del 110% y por esto el factor combinado es del 25%, lo que permitirá ofrecer un mejor servicio siendo el factor del 25%.

Además de la protección de los bancos de condensadores contra sobrecorrientes por corto circuito o sobrecargas es necesario considerar que no puede iniciar su operación en cualquier forma, ya que también se presentan las corrientes de inserción inicial, con una corta duración y de respuesta senoidal y que en este caso depende del tamaño del capacitor y de otros factores como la corriente ini- - - -

cial de inserción que produce una respuesta senoidal amortiguada de alta frecuencia cuyas características dependen del tamaño e impedancia de fuente del capacitor.

Cuando ocurre un corto circuito y se presenta una corriente de falla en el banco de condensadores queda expresado como un valor  $I^2t$  mayor que la corriente de inserción.

Debido a que los condensadores se encuentran contruídos por medio de grupos de paquetes que están conectados en paralelo, de manera que cuando una falla ocurre en uno de los paquetes, tiende a propagarse y la corriente del capacitor se incrementa, causando la mayoría de las veces sobrecorrientes aumentando también la tensión de los paquetes no fallados, pudiéndose presentar la ruptura dieléctrica del capacitor al tanque del banco. - Esta ruptura es la que constituye la base de la protección y se maneja probabilísticamente por medio de la curva "conocida como de probabilidad de ruptura a tanque" .

En cuanto a la conexión los bancos de condensadores en redes de distribución aéreas, generalmente es auxiliar valioso su conocimiento para la protección, estando conectados estos - bancos en general en delta o en estrella como se indica en las figuras siguientes:

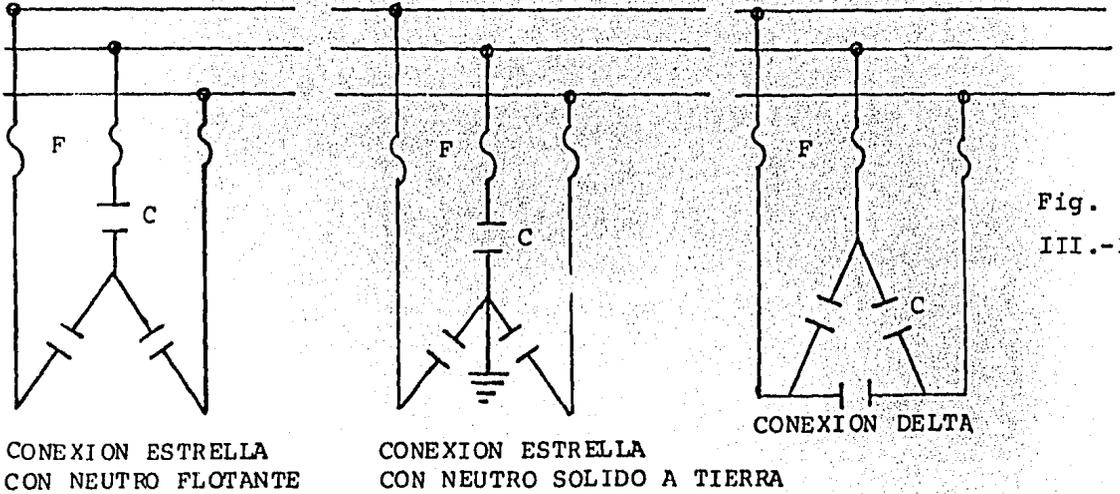


Fig. III.-18

Cuando un banco de condensadores está conectado en estrella con el neutro flotante, la corriente de falla se limita a tres veces la corriente de línea normal, pudiéndose seleccionar de esta forma corrientes de menor capacidad.

Los valores recomendados de corrientes permisibles usados para fusibles de protección a bancos de condensadores en redes de distribución aéreas se dan en la tabla siguiente:

. . .

DATOS DE PROTECCION A GRUPOS DE  
CAPACITORES A 12.5 KV

Capacidad del Banco en KVAR	Combinación usual por fase en KVAR	Corriente nominal en amperes.	Capacidad de fusible en amperes.
1200	4 de 100, 2 de 200	55.7	80
900	3 de 100, 2 de 150	41.6	65
600	2 de 100, 1 de 200	27.8	50
300	1 de 100	13.9	25

Una recomendación de tipo general llevada a la práctica es la de permitir que el fusible de protección opere en un período de 5 minutos al 95% de la corriente de falla mínima que pueda provocar la fusión del fusible.

Cálculos

FALLAS BALANCEADAS:

Una falla balanceada en un sistema ó circuito eléctrico, se puede analizar considerando que en el punto de falla se conecte una carga trifásica balanceada cuya impedancia tenga

el valor particular de cero.

Ya sabemos que el análisis de un circuito trifásico balanceado, se puede reducir analizando una sola fase, ya que los valores de las otras fases están relacionados angularmente.

Tratándose de una red más o menos compleja, el circuito monofásico equivalente a resolver puede establecerse por la aplicación del teorema de Thevenin, de manera que toda la red -- puede representarse simplificada por el siguiente circuito:

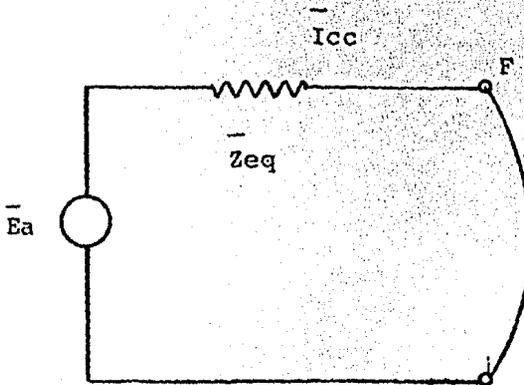


Fig. III.-19

CIRCUITO CORTO REPRESENTANDO LA FALLA

En el circuito anterior:

$\bar{E}_a$  : Es la tensión de una fase (a) a tierra en el punto donde se presenta la falla, antes de que ésta ocurra.

$\bar{Z}_{eq}$ : Es la impedancia equivalente por fase, vista desde el punto de falla, y representa a todos los elementos del sistema.

$\bar{I}_{cc}$  : Será la corriente total alimentando el corto circuito.

Los valores anteriores representan valores en por unidad.

Como se ve, la solución para la corriente total de corto - circuito se determina por la siguiente expresión:

$$\bar{I}_{cc} = \frac{\bar{E}_a}{\bar{Z}_{eq}}$$

El circuito equivalente de Thevenin, representa exclusivamente valores y cantidades de secuencia positiva, ya que en condiciones balanceadas, solamente existen este tipo de componentes.

La impedancia equivalente  $\bar{Z}_{eq}$  representará la síntesis de - los circuitos equivalentes de secuencia positiva de todos los elementos interconectados del sistema.

El valor de  $\bar{E}_a$ , la tensión en el punto de falla, antes de - que ésta ocurra, puede ser determinada por el conocimiento de las condiciones de operación del sistema, previas a la falla y en función de un análisis de flujos.

#### Fallas desbalanceadas:

En lo relativo al cálculo de un sistema trifásico desequilibrado, éste se puede realizar, analizando dicho sistema desde tres puntos de vista separadamente.

Con cantidades de (1) secuencia positiva, (2) secuencia --  
negativa y (3) secuencia cero.

Debido a que los tres sistemas derivados son simétricos, es --  
es posible nuevamente reducir cada sistema a un circuito equi-  
valente monofásico, los cuales se resolverán independiemen-  
te combinando los resultados finalmente de acuerdo con las --  
propiedades de las componentes simétricas.

Cada uno de estos circuitos equivalentes, representará el cir-  
cuito equivalente de Thevenin desde el punto de vista de cada  
una de las secuencias; de manera que éstos en su representa--  
ción más general serán como sigue:

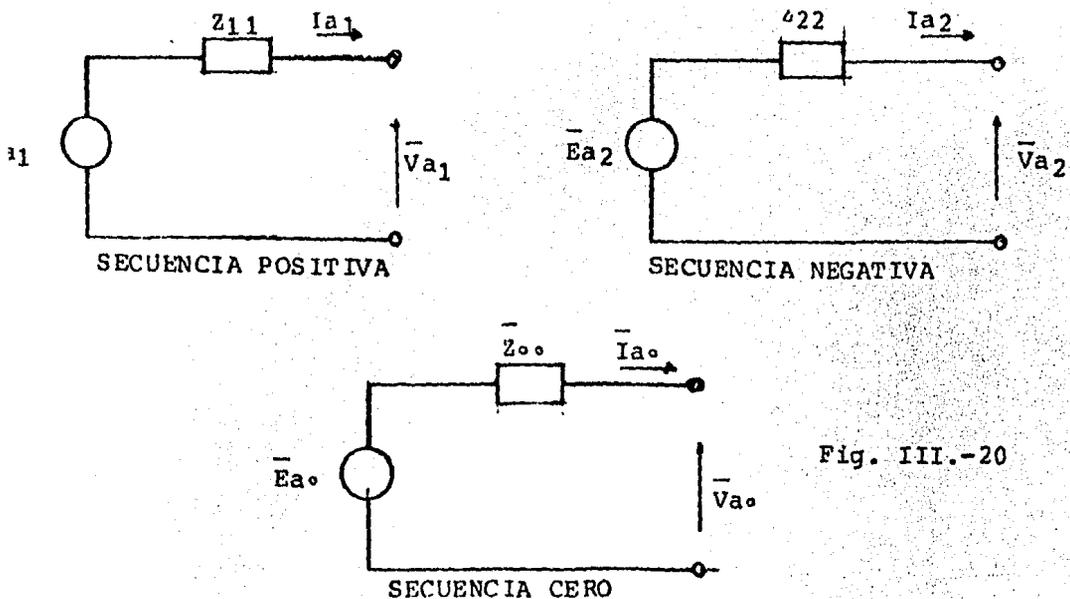


Fig. III.-20

Avocándose a la definición del teorema de Thevenin y a las características de las componentes simétricas de las tensiones balanceadas que existen antes de la falla, los circuitos equivalentes se reducen a lo siguiente

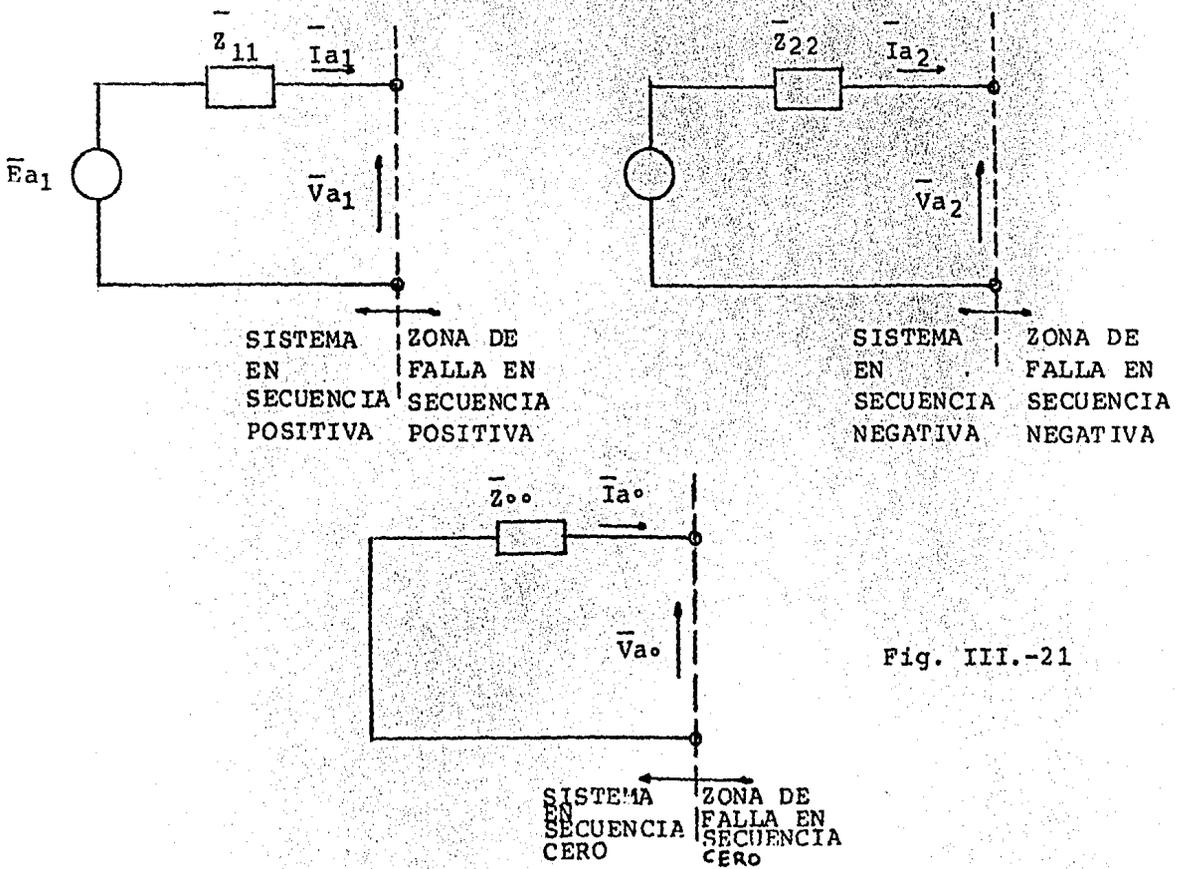


Fig. III.-21

En el circuito equivalente de secuencia positiva,  $\bar{I}_a$  y  $\bar{V}_a$ , - representan la componente de secuencia positiva hacia la falla de la fase "a" y la componente de secuencia positiva del voltaje al neutro de la fase "a" en el mismo punto de falla.

Lo mismo puede decirse de los valores respectivos para los otros dos circuitos equivalentes y por lo tanto las ecuaciones que satisfacen a los tres circuitos para la zona que representan al sistema son:

$$\bar{V}_{a1} = \bar{E}_{a1} - \bar{I}_{a1} \bar{Z}_{11} \quad \text{----(1)}$$

$$\bar{V}_{a2} = -\bar{I}_{a2} \bar{Z}_{22} \quad \text{----(2)}$$

$$\bar{V}_a = -\bar{I}_a \bar{Z}_{00} \quad \text{----(3)}$$

Las tres ecuaciones anteriores indican la existencia de 6 incógnitas principales:  $\bar{I}_a, \bar{I}_b, \bar{I}_c, \bar{V}_a, \bar{V}_b, \bar{V}_c$  que son precisamente los valores de corrientes de la fase "a" hacia la falla y - las tensiones de la fase "a" a tierra en el punto de la falla en cada una de sus componentes simétricas. El resolver estas 6 ecuaciones, es resolver prácticamente las condiciones de la falla desequilibrada, por las relaciones siguientes:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0}$$

Corriente de la fase "a" hacia la falla.

$$\bar{I}_b = a^2 \bar{I}_{a1} + a \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0}$$

Corriente de la fase "b" hacia la falla.

$$\bar{I}_c = a \bar{I}_{a1} + a^2 \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0}$$

Corriente de la fase "c" hacia la falla.

$\bar{V}_a = \bar{V}_{a_1} + \bar{V}_{a_2} + \bar{V}_{a_0}$  Tensión de la fase "a" en la falla

$\bar{V}_b = \alpha^2 \bar{V}_{a_1} + \alpha \bar{V}_{a_2} + \bar{V}_{a_0}$  Tensión de la fase "B" en la falla

$\bar{V}_c = \alpha \bar{V}_{a_1} + \alpha^2 \bar{V}_{a_2} + \bar{V}_{a_0}$  Tensión de la fase "c" en la falla

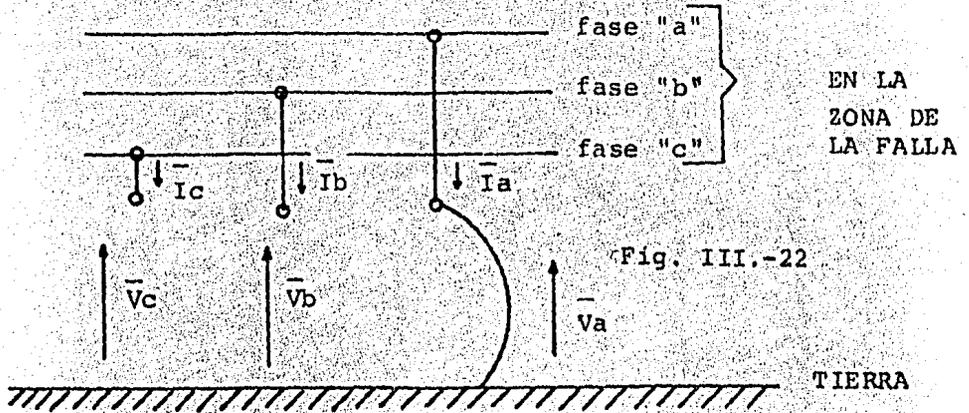
Sin embargo, para encontrar las 6 incógnitas, se ve que se requieren otras tres ecuaciones además de las ya indicadas (1), (2), y (3). De los circuitos equivalentes de cada secuencia se ve que éstos podrían resolverse directamente si se conociera "lo que se encuentra conectado entre sus terminales" y se supone que es algo "representativo" de la falla ó "tipo de falla"

Veremos a continuación que ése algo que se encuentra conectado entre las terminales de cada circuito equivalente es función de lo que representa al sistema en los 2 ó solamente uno de los circuitos equivalentes y esto se obtendrá en función del tipo y características de la falla.

Para explicar lo anterior tomemos como ejemplo una falla desequilibrada que consista en un corto circuito de una fase (a) a tierra sólida a través de una conexión metálica de impedancia cero.

Supongamos que nos situamos en el punto de falla y simulamos

ésta:



El tipo de falla nos permite establecer relaciones perfectamente definidas de las cantidades eléctricas de corrientes - y tensión que pretendemos encontrar, por ejemplo:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_b &= 0 \\ \bar{I}_c &= 0 \\ \bar{V}_a &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Representan tres ecuaciones independientes que satisfacen éste tipo de falla. - En este caso no tan solo representan relaciones entre ellas si no incluso la solución particular de 3 valores; sin embargo, aún queda por encontrar el valor de las tres cantidades restantes ( $\bar{V}_b$ ,  $\bar{V}_c$ ,  $\bar{I}_a$ )

Ya que se trata de una falla desequilibrada, las tres incógnitas faltantes no se pueden encontrar en función de las ya conocidas; para lograrlo, se aprovecharán las tres últimas ecuaciones que caracterizan la falla buscando un conjunto de tres ecuaciones expresadas en función de las componentes simétricas derivadas de estas, por ejemplo:

Aprovechando las dos ecuaciones de corriente  $\bar{I}_b = \bar{I}_c = 0$  se pueden derivar las siguientes relaciones en componentes simétricas de la corriente de la fase "a".

$$\bar{I}_{a_1} = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + a\bar{I}_b + a^2\bar{I}_c) = \frac{1}{3} \bar{I}_a$$

$$\bar{I}_{a_2} = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + a^2\bar{I}_b + a\bar{I}_c) = \frac{1}{3} \bar{I}_a$$

$$\bar{I}_{a_0} = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c) = \frac{1}{3} \bar{I}_a$$

Las tres expresiones anteriores permiten encontrar dos ecuaciones independientes:

$$\bar{I}_{a_1} = \bar{I}_{a_2} \quad (4)$$

$$\bar{I}_{a_1} = \bar{I}_{a_0} \quad (5)$$

La tercera ecuación  $\bar{V}_a = 0$ , permite establecer la tercera expresión en componentes simétricas:

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a_1} + \bar{V}_{a_2} + \bar{V}_{a_0} = 0 \quad (6)$$

Las ecuaciones (4), (5) y (6) no tan sólo complementan el número de ecuaciones necesarias, que en conjunto con las que satisfacen al sistema de los tres circuitos equivalentes (1), (2) y (3), simultáneamente resuelven las 6 incógnitas: sino que -

también indican una relación de "interconexión" entre los tres circuitos.

La interconexión de los circuitos de cada secuencia que satisfacen a las ecuaciones (4), (5) y (6) es la siguiente:

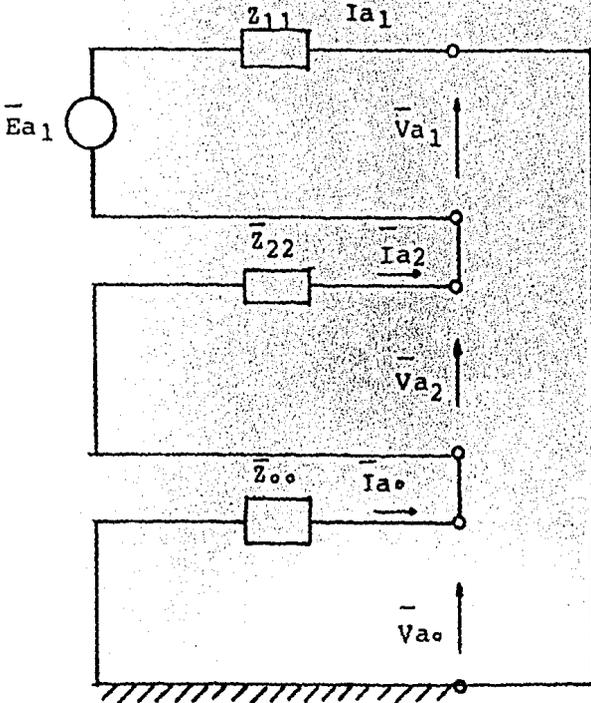


Fig. III.-23

Finalmente observamos que ese algo que pretendíamos encontrar y que representaba "lo que se encontraba" "conectado" entre las terminales de cada circuito, satisface lo dicho anteriormente ya que:

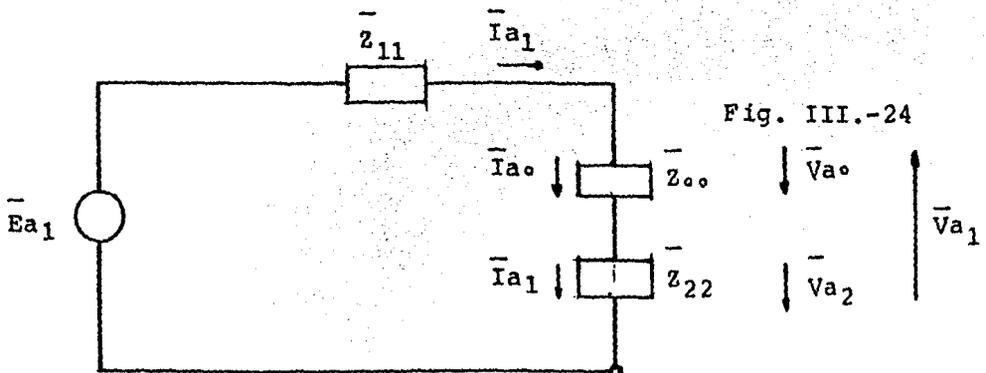


Fig. III.-24

La solución de este circuito es suficiente para encontrar todas las incógnitas considerando las propiedades que guardan las componentes simétricas de corriente y tensión en cada circuito y su independencia respecto a las diferentes secuencias.

La expresión que satisface en este caso a las tres incógnitas de corriente será:

$$\bar{I}_{a_1} = \bar{I}_{a_2} = \bar{I}_{a_0} = \frac{\bar{E}_{a_1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}} \quad \text{--- (7)}$$

Sustituyendo la ecuación (7) en las ecuaciones (1), (2) y (3) se encuentran las tres incógnitas de tensión.

$$\bar{V}_{a_1} = \bar{E}_{a_1} - \bar{Z}_{11} \bar{I}_{a_1} = \bar{E}_{a_1} \frac{\bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}} \quad \text{--- (8)}$$

$$\bar{V}_{a_2} = -\bar{E}_{a_1} \frac{\bar{Z}_{22}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}} \quad \text{--- (9)}$$

$$\bar{V}_{a_0} = -\bar{E}_{a_1} \frac{\bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}} \quad \text{--- (10)}$$

A continuación se presentará en forma resumida el análisis de las dos fallas desequilibradas más comunes que son la falla entre dos fases ("B" y "C") y la falla simultánea entre dos fases ("B" y "C") y tierra

-Falla entre dos fases (b y c)

Simulación de la falla:

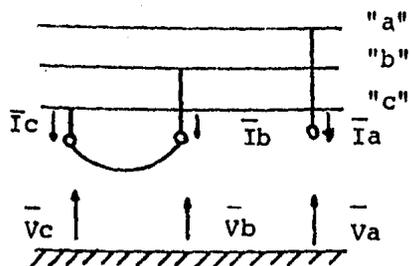


Fig. III.-25

Expresiones que caracterizan la falla:

$$\bar{I}_b = -\bar{I}_c$$

$$\bar{I}_a = 0$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_c$$

Ecuaciones en componentes simétricas que caracterizan la falla:

$$\bar{I}_{a_1} = -\bar{I}_{a_2}; \bar{V}_{a_1} = \bar{V}_{a_2}$$

$$\bar{I}_{a_0} = 0 \quad \bar{V}_{a_0} = 0$$

Interconexión entre los diagramas que satisfacen las ecuaciones que caracterizan la falla

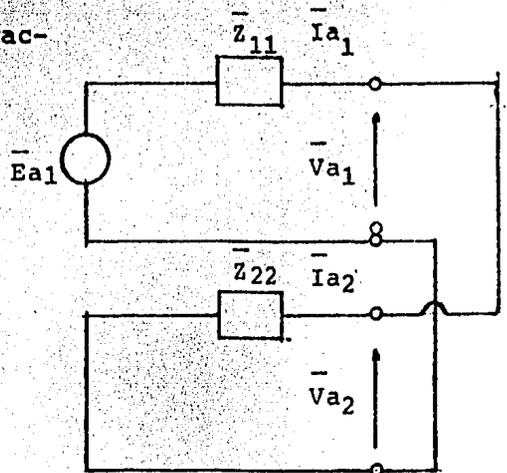


Fig. III.-26

Solución de las incógnitas para esta falla.

$$\bar{I}_{a_1} = \frac{\bar{E}_{a_1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}}$$

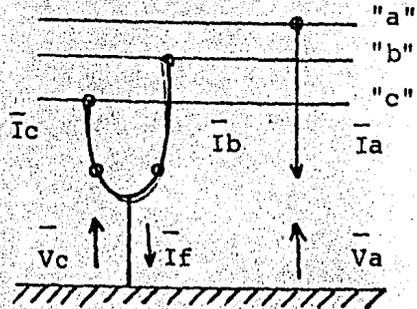
$$\bar{I}_{a_2} = -\frac{\bar{E}_{a_1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}}; \bar{I}_{a_0} = 0$$

$$\bar{V}_{a_1} = \bar{V}_{a_2} = \bar{E}_{a_1} \frac{\bar{Z}_{22}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}}; \bar{V}_{a_0} = 0$$

- Falla entre dos fases y tierra (b y c)

Simulación de la falla

Fig. III.-27



Expresiones que caracterizan la falla:

$$\bar{I}_a = 0$$

$$\bar{V}_b = 0$$

$$\bar{V}_c = 0$$

Ecuaciones en componentes simétricas

que caracterizan este tipo de falla:  $\bar{I}_{a_1} + \bar{I}_{a_2} + \bar{I}_{a_0} = 0$

$$\bar{V}_{a_1} = \bar{V}_{a_2} = \bar{V}_{a_0} = \frac{\bar{V}_a}{3}$$

Interconexión entre los diagramas que satisfacen las ecuaciones que caracterizan la falla.

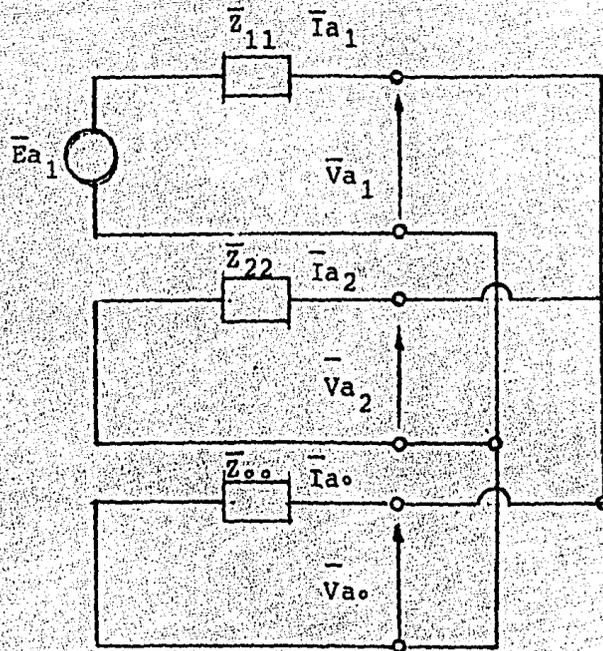


Fig. III.-28

Solución de las incógnitas para esta falla.

$$\bar{I}_{a_1} = \bar{E}_{a_1} \frac{\bar{z}_{22} + \bar{z}_{00}}{\bar{z}_{11}\bar{z}_{22} + \bar{z}_{11}\bar{z}_{00} + \bar{z}_{22}\bar{z}_{00}}$$

$$\bar{I}_{a_2} = -\bar{E}_{a_1} \frac{\bar{z}_{00}}{\bar{z}_{11}\bar{z}_{22} + \bar{z}_{11}\bar{z}_{00} + \bar{z}_{22}\bar{z}_{00}}$$

$$\bar{I}_{a_0} = -\bar{E}_{a_1} \frac{\bar{z}_{22}}{\bar{z}_{11}\bar{z}_{22} + \bar{z}_{11}\bar{z}_{00} + \bar{z}_{22}\bar{z}_{00}}$$

$$\bar{V}_{a_1} = \bar{V}_{a_2} = \bar{V}_{a_0} = \bar{E}_{a_1} \frac{\bar{z}_{22}\bar{z}_{00}}{\bar{z}_{11}\bar{z}_{22} + \bar{z}_{11}\bar{z}_{00} + \bar{z}_{22}\bar{z}_{00}}$$

" CAPITULO IV "

" OPERACION DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION EN  
LA CIUDAD DE MEXICO "

---

IV - 1.- INTRODUCCION

IV - 2.- PLANEACION

IV - 3.- OPERACION.

IV - 4.- CONCLUSIONES

#### IV -1. - I N T R O D U C C I O N

El notable crecimiento demográfico que ha sufrido la Ciudad de México en los últimos años, ha traído consigo un aumento de carga que nos exige la mejoría del Sistema de Distribución de energía eléctrica existente; parte muy importante de esto es la operación, planeación, comunicación y el mantenimiento del mismo, cuya principal finalidad es poder dar con fiabilidad y continuidad de servicio al usuario.

Dentro del sistema de operación existe el área de planeación y estudios, la cual nos indicará en base a estadísticas de carga, disturbios y otros estudios sobre el sistema, la cantidad de subestaciones, alimentadores y voltajes de distribución que necesitará el sistema en el futuro, para que con éstos datos podamos preveer el incremento en la generación de la energía eléctrica y las reservas necesarias, lo cual está íntimamente relacionado con la distribución, representando grandes ahorros a futuro y sobre todo una mayor utilidad diaria por el consumo continuo del usuario al no tener interrupciones en su servicio.

En este capítulo se tratará de estudiar lo relativo a la operación de un sistema de distribución, sus problemas físicos

y humanos con los que nos encontramos y sus posibles soluciones, todo esto referido a la Ciudad de México.

#### IV - 2.-PLANEACION DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION.

---

La planeación del sistema es esencial para asegurar que la de manda creciente de electricidad pueda ser satisfecha por adi- ciones al sistema de distribución, las cuales sean tecnicamen te adecuadas y económicamente razonables.

En el futuro, la utilización eléctrica necesitará una planea ción económica y estable, herramienta para evaluar las conse cuencias de diferentes alternativas propuestas y su impacto en el resto del sistema para preveer la economía necesaria, confiabilidad e igual energía eléctrica a los usuarios.

El objetivo de la planeación de los sistemas de distribución es asegurar que la demanda creciente de electricidad, en tér minos de proporciones de incremento de producción y altas den sidades de carga, puedan ser satisfechas en el camino óptimo por sistemas adicionales de distribución, desde los conductores secundarios hasta el volúmen de las subestaciones de potencia, las cuales deben ser técnicamente adecuadas y razonablemente económicas.

Todos estos factores y otros como el terreno disponible en áreas urbanas y las consideraciones ecológicas, pueden poner el problema de optimizar la planeación de los sistemas de dis tribución más allá del poder de solución de la mente humana.

La gente que planea los sistemas de distribución debe determinar la magnitud de la carga y su localización geográfica. Por lo anterior, las subestaciones de distribución deben ser localizadas y dimensionadas en forma tal que alimenten la carga al máximo costo de eficiencia para minimizar las pérdidas en los alimentadores y en los costos de construcción, considerando mientras tanto las contracciones de la confiabilidad del servicio.

Como resultado del incremento en los costos de energía eléctrica, equipo y mano de obra, una mejor planeación del sistema a través del uso de métodos y técnicas de planeación eficientes es inevitable e importante. El sistema de distribución es particularmente importante por dos razones:

- 1) Su cercanía al usuario.
- 2) Su alto costo de instalación.

Puesto que el sistema de distribución de un sistema de generación es el más cercano al usuario, su descuido afecta el servicio más directamente que, por ejemplo, descuidos en los sistemas de transmisión y generación, los cuales usualmente no causan interrupciones de servicio al usuario.

Por lo tanto, la planeación del sistema de distribución empieza al nivel del usuario. La demanda, el tipo, el factor de carga y otras características de carga indican el tipo de sistema de distribución requerido. Una vez que las cargas del

. . .

usuario están determinadas, son agrupadas por servicio desde la conexión de líneas secundarias a los transformadores de distribución secundario. Las cargas de los transformadores de distribución primario son entonces asignadas a las subestaciones, las cuales reducen el voltaje de transmisión. Las cargas en turno determinan el tamaño y localización de las subestaciones, así como la ruta y capacidad de las líneas de transmisión asociadas.

La gente que planea sistemas de distribución, parte el problema total de la planeación en un juego de subproblemas, para que puedan ser manejados de acuerdo a sus necesidades. Ellos mismos en ausencia de técnicas de planeación aceptadas, rescatan el problema como un intento de minimizar costos de subtransmisión, subestaciones, alimentadores, etc., así como el costo de pérdidas. En el proceso, como siempre, están usualmente restringidos por valores permisibles de voltaje, caídas de voltaje, etc., así como la confiabilidad y continuidad del servicio.

En consecuencia con éstos objetivos, la gente que planea ultimamente tiene una influencia significativa en adiciones y/o modificaciones de las redes de subtransmisión, localizaciones y tamaños de subestaciones, áreas de servicio de subestaciones, localización de interruptores y cuchillas, tamaño de alimentadores, niveles y caídas de voltaje en el sistema, la loca

lización de capacitores y reguladores de voltaje y la carga de alimentadores y transformadores.

Existen, por supuesto, algunos otros factores que necesitan ser considerados, tal como la impedancia del transformador, niveles de aislamiento, disponibilidad y transformadores de reserva y subestaciones móviles, despacho de generación y la forma en que todo esto afecta a los usuarios. Además hay -- factores sobre los cuales el que planea el sistema de distribución no tiene influencia, no obstante, necesitan ser considerados en una buena planeación de sistemas de distribución a largo plazo, como son: el tiempo y localización de las demandas de energía, la duración y frecuencia de interrupción, el costo de equipo, mano de obra y dinero, incremento en los costos de combustibles, incremento ó decremento en los precios de las alternativas de generación de energía, condiciones de cambio socioeconómico y tendencias tales como la demanda creciente para mercancías y servicios, incremento ó decremento de la población local, cambio público en la conducta como resultado de cambios tecnológicos, conservación de la energía, cambio gubernamental concerniente al pueblo, cambios en las condiciones económicas, tales como incremento o decremento en las proyecciones del Producto Nacional Bruto (PNB), inflación y/o recesión y variaciones de gobiernos federales, estatales y locales.

. . .

177  
" PRONOSTICO DE CARGA "

=====

El incremento en el área geográfica atendida por una compañía de suministro de energía eléctrica, es el factor de influencia más importante en la expansión de los sistemas de distribución. Por lo tanto, el pronóstico de carga y la respuesta del sistema a éstos incrementos, es esencial para el proceso de planeación. Existen dos escalas comunes en el tiempo de importancia para el pronóstico de carga: a largo plazo, con visión en el tiempo entre 15 y 20 años de distancia; y a corto plazo, con visión en el tiempo arriba de 5 años de distancia. Idealmente, éstos pronósticos predecirían cargas futuras en detalle extendiéndose aún al nivel del usuario particular, pero en la práctica, las soluciones son de menor exactitud.

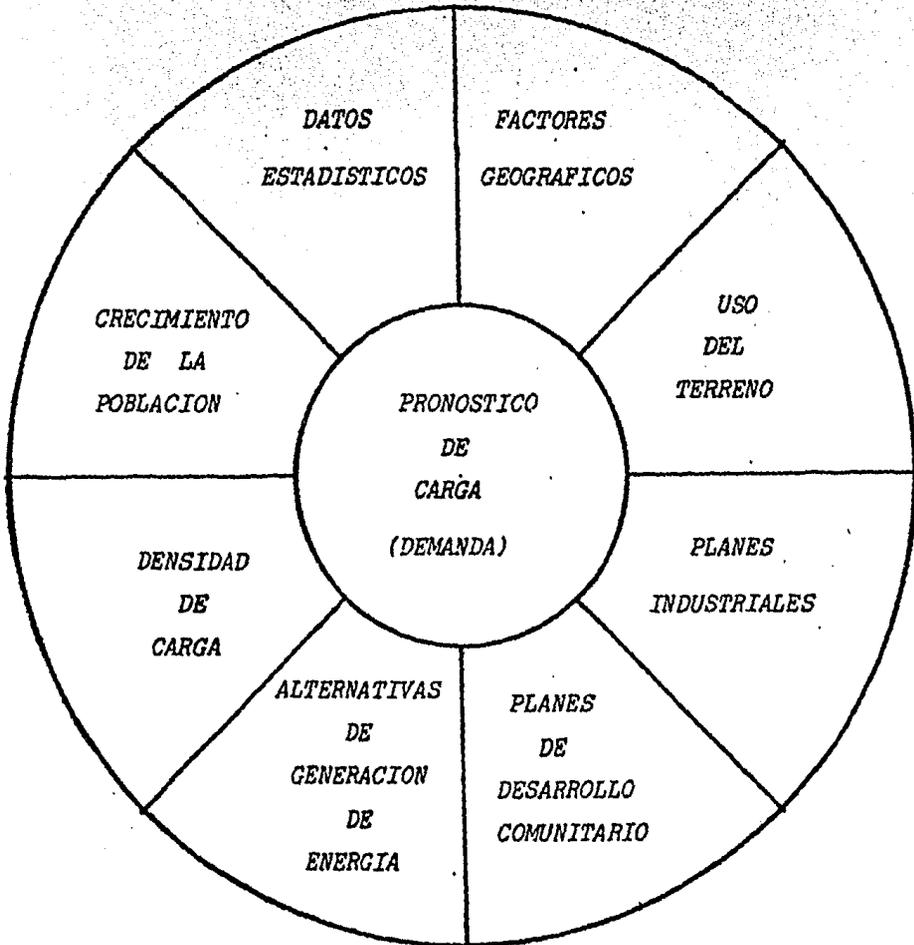
La figura IV-1 muestra algunos de los factores que influyen en el pronóstico de carga.

" EXPANSION DE LA SUBESTACION "

=====

La Fig. IV-2, muestra algunos de los factores que afectan la expansión de la subestación. La gente que planea, toma una decisión basada en la información tangible e intangible. Por ejemplo, el pronóstico de carga, la densidad de carga, el incremento de carga, puedan requerir de una expansión de la su-

FIGURA IV-1 FACTORES QUE AFECTAN EL PRONOSTICO DE CARGA



Tal como lo podemos observar, el incremento en la carga es - mucho más dependiente de la comunidad y sus colonias. La uti lidad del pronóstico está en la forma de densidades de carga ( $MVA/KM^2$ ) para pronósticos a largo plazo. Las densidades es- tán asociadas a una malla de coordenadas, para su mejor utili- dad, ya que ayudarán al diseño de la configuración. La malla principal presenta el dato del pronóstico de carga y proporció- na una herramienta muy útil de planeación para checar todas - las localizaciones geográficas y tomar las acciones necesarias para acomodar los patrones de expansión del sistema.

FIG. IV-2 FACTORES QUE AFECTAN LA EXPANSION DE LA SUBESTACION.

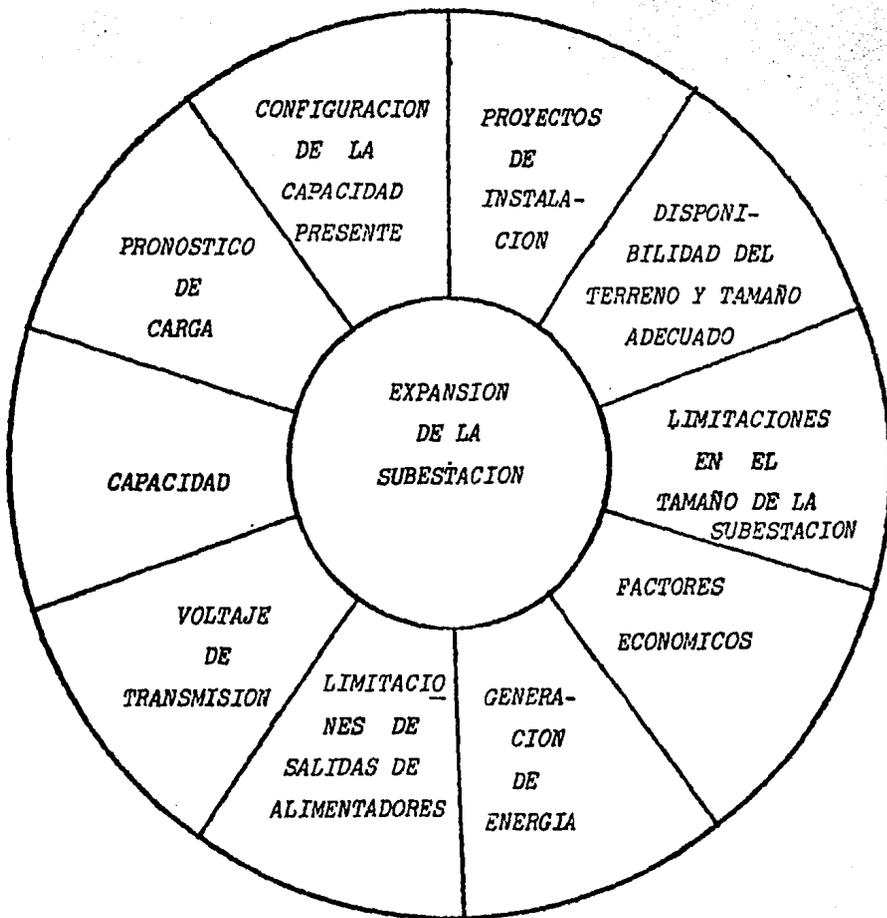
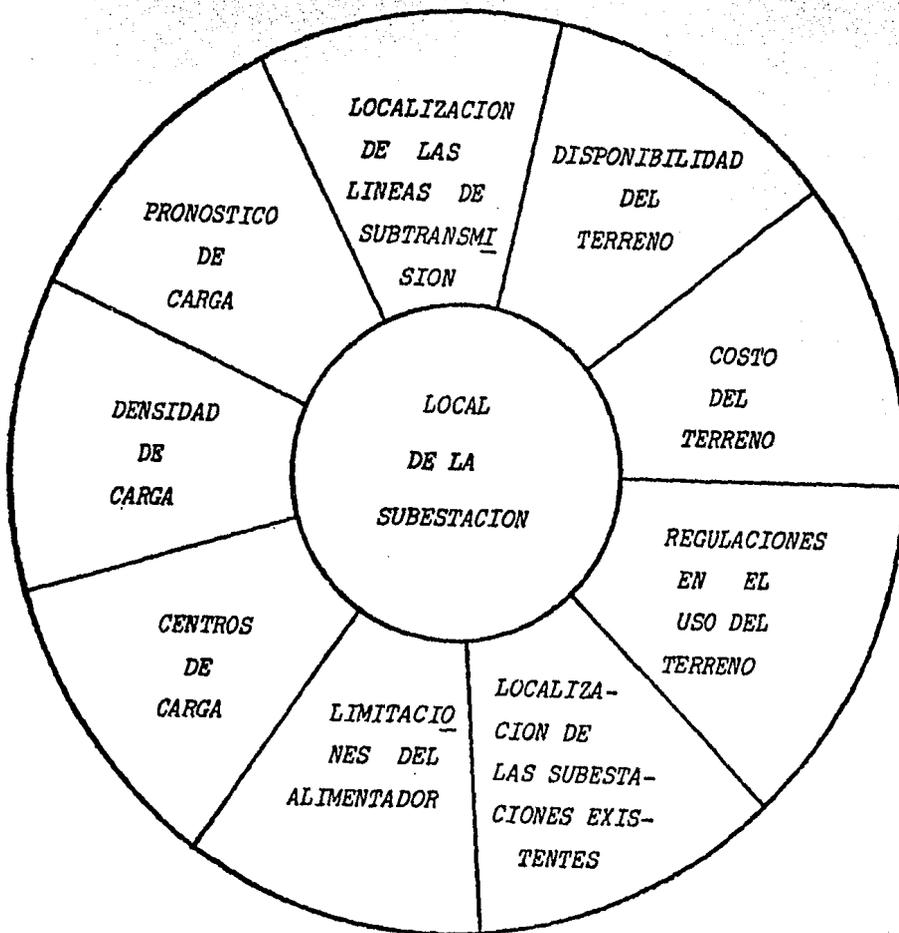


FIGURA IV-3 FACTORES QUE AFECTAN EL LOCAL DE LA SUBESTACION



" SELECCION DEL LOCAL DE LA SUBESTACION "

La figura C muestra los factores que afectan la selección del local de la subestación. La distancia desde los centros de carga a las líneas de subtransmisión existentes así como la disponibilidad del terreno, su costo y su regulación, son factores muy importantes.

El proceso de Localización de la subestación puede ser descrito como una selección a través de la cual todos los lugares posibles para un sitio ó local son probados, tal como se muestra en la figura D.

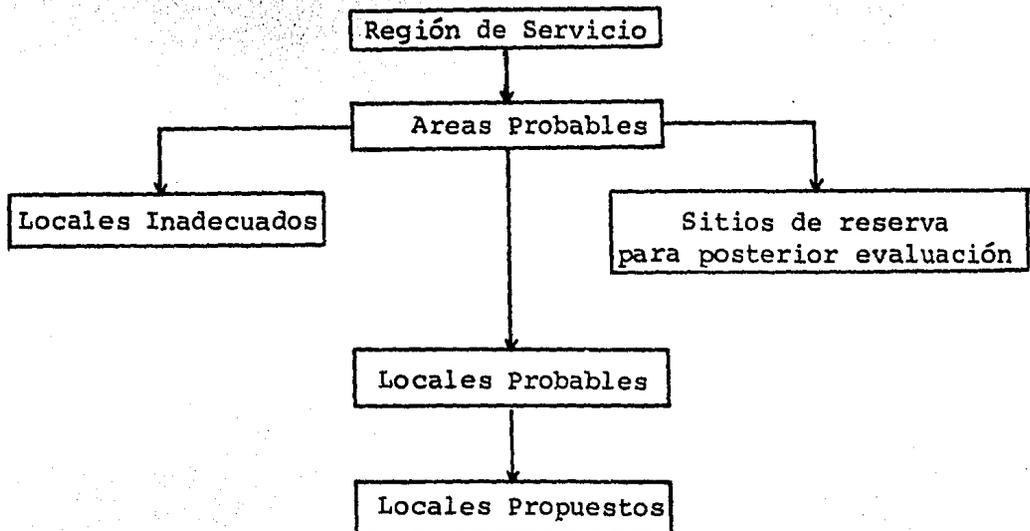


Fig. IV.-4 Procedimiento para la selección del local de la Subestación.

La región de servicio es la región bajo evaluación. Puede ser definida como el territorio útil de servicio. Una selección inicial es aplicada usando un juego de consideraciones como son: la seguridad, la ingeniería, planeación del sistema, factores estéticos y económicos. Esta etapa de selección indica básicamente las áreas que son impropias para el crecimiento del local. Los sitios probables son catalogados en tres grupos básicos.

- 1) Locales que son inadecuados para un crecimiento en un futuro próximo.
- 2) Locales que son viables, pero no son seleccionados debido a una evaluación detallada durante el ciclo de planeación.
- 3) Locales probables que están por ser estudiados en más detalle.

El énfasis puesto sobre cada consideración varía dependiendo de su utilidad. Existen dos alternativas básicas que son auxiliares de las anteriores consideraciones, y son:

- a) Evaluación de la cantidad vs. calidad.
- b) Evaluación de efectos benéficos vs. adversos.

#### " OTROS FACTORES "

Una vez que la asignación de la carga para las subestaciones ha sido determinada, entonces los factores remanentes que se muestran en las Figuras IV-5 a la IV-9 necesitan ser consideradas.

FIGURA IV-5 FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCION DEL VOLTAJE PRIMARIO

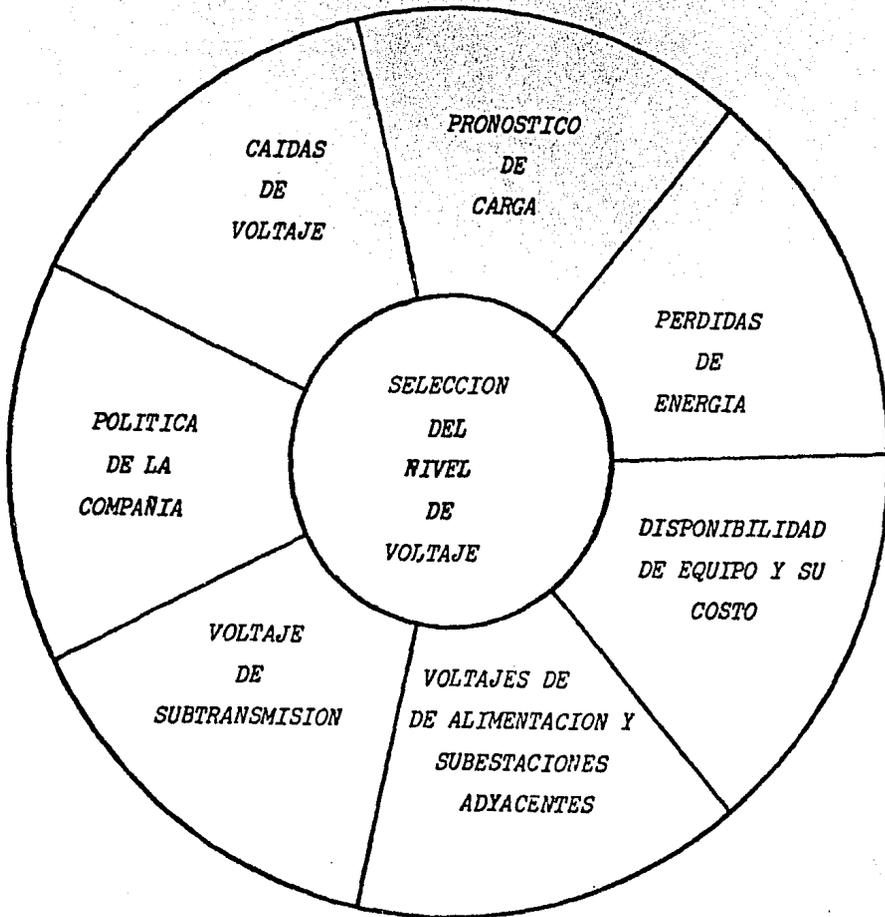


FIGURA IV-6 · FACTORES, QUE AFECTAN LA SELECCION DE LA RUTA DEL ALIMENTADOR

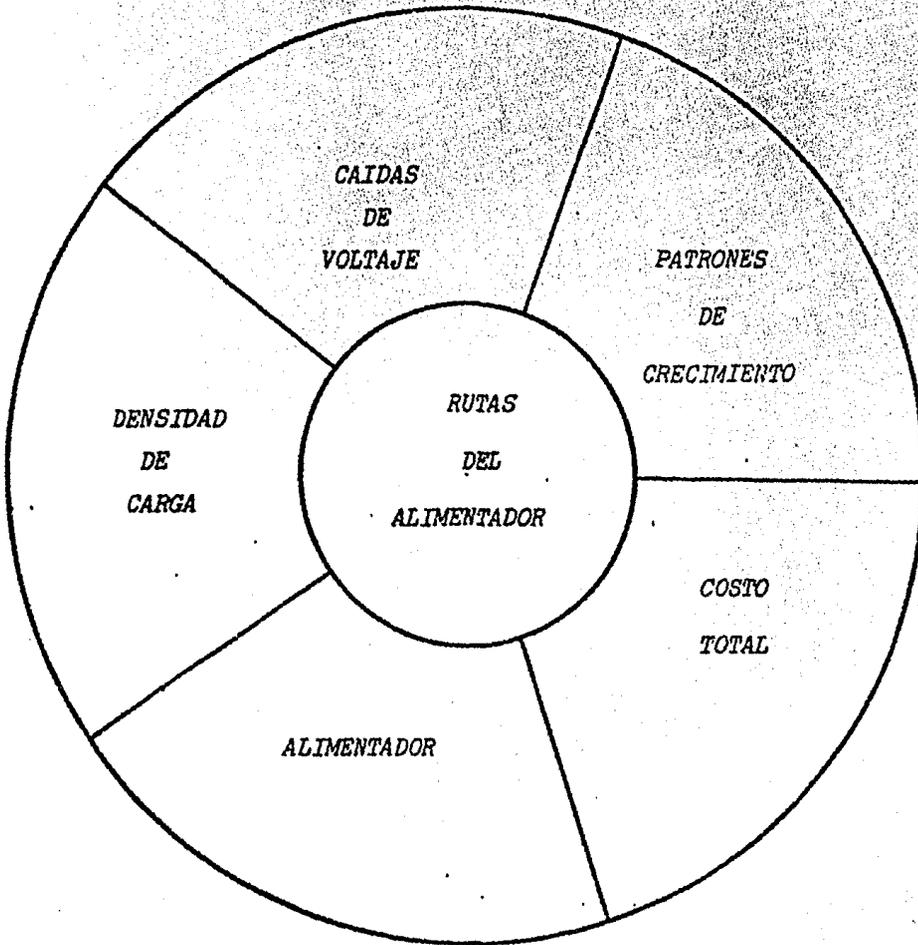


FIGURA IV-7 FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCION DEL NUMERO DE ALIMENTADORES

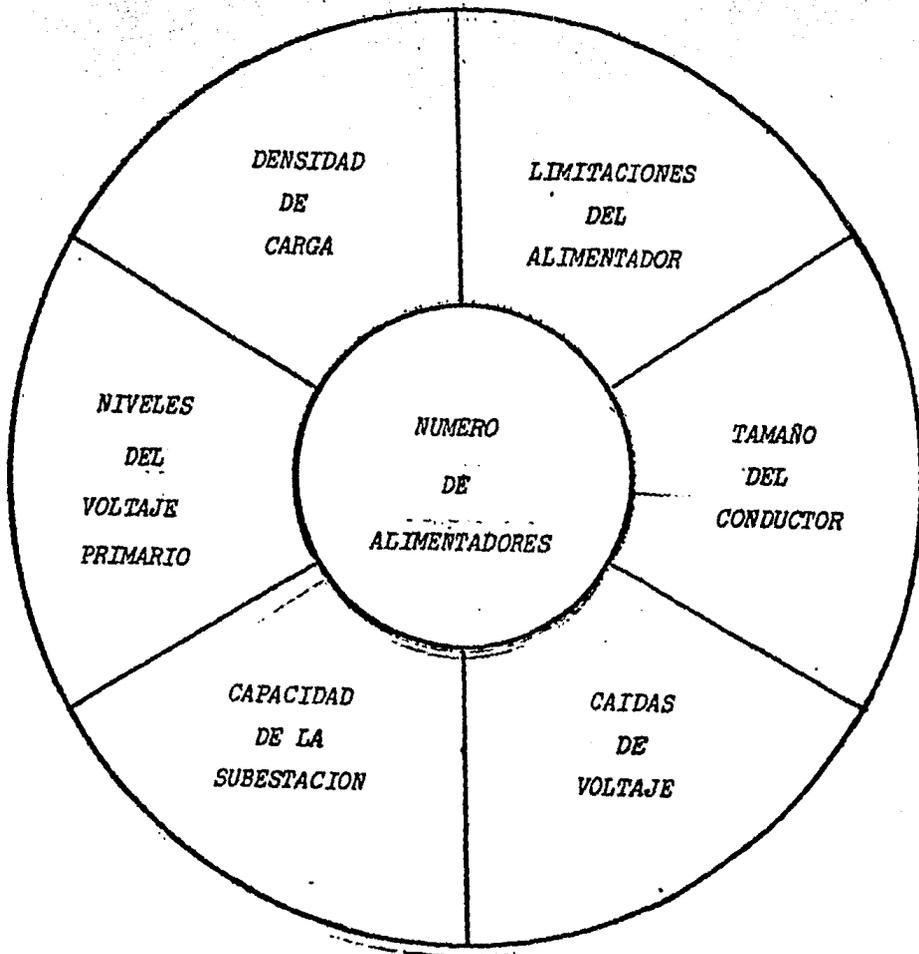


FIGURA IV-8 FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCION DEL TAMAÑO DEL CONDUCTOR

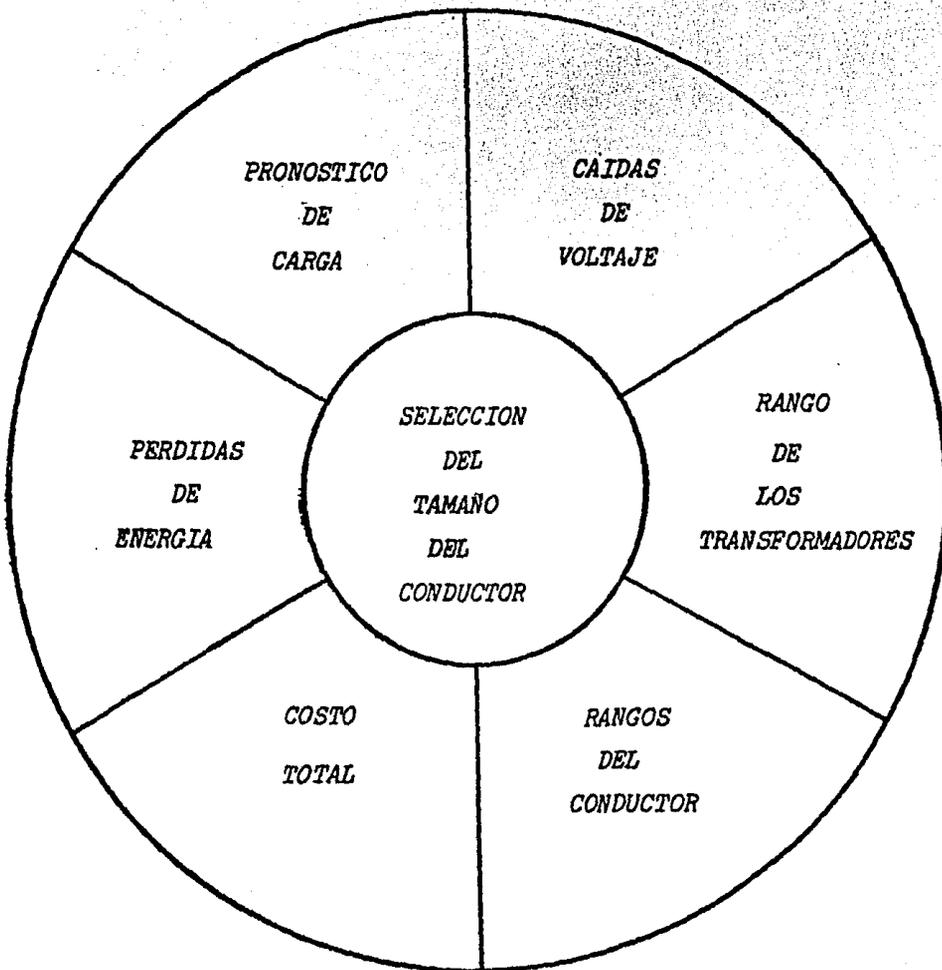


FIGURA IV-9 FACTORES QUE AFECTAN EL COSTO TOTAL DE LA EXPANSION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION

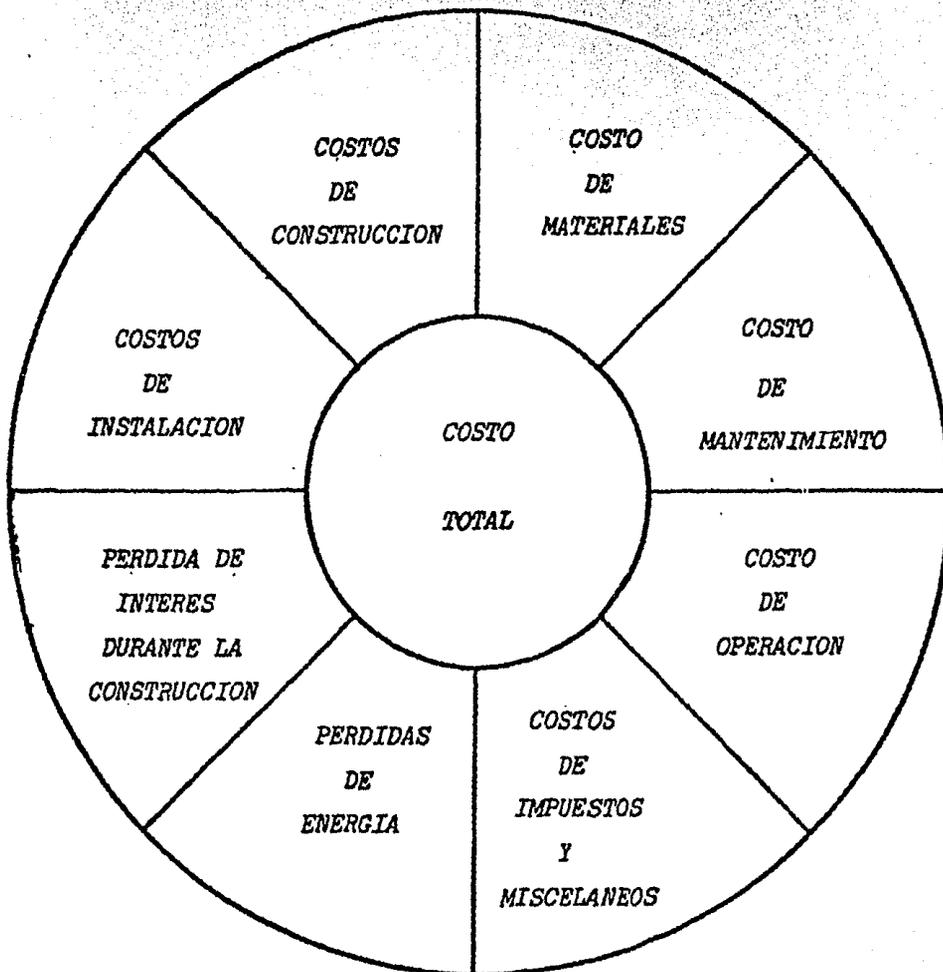
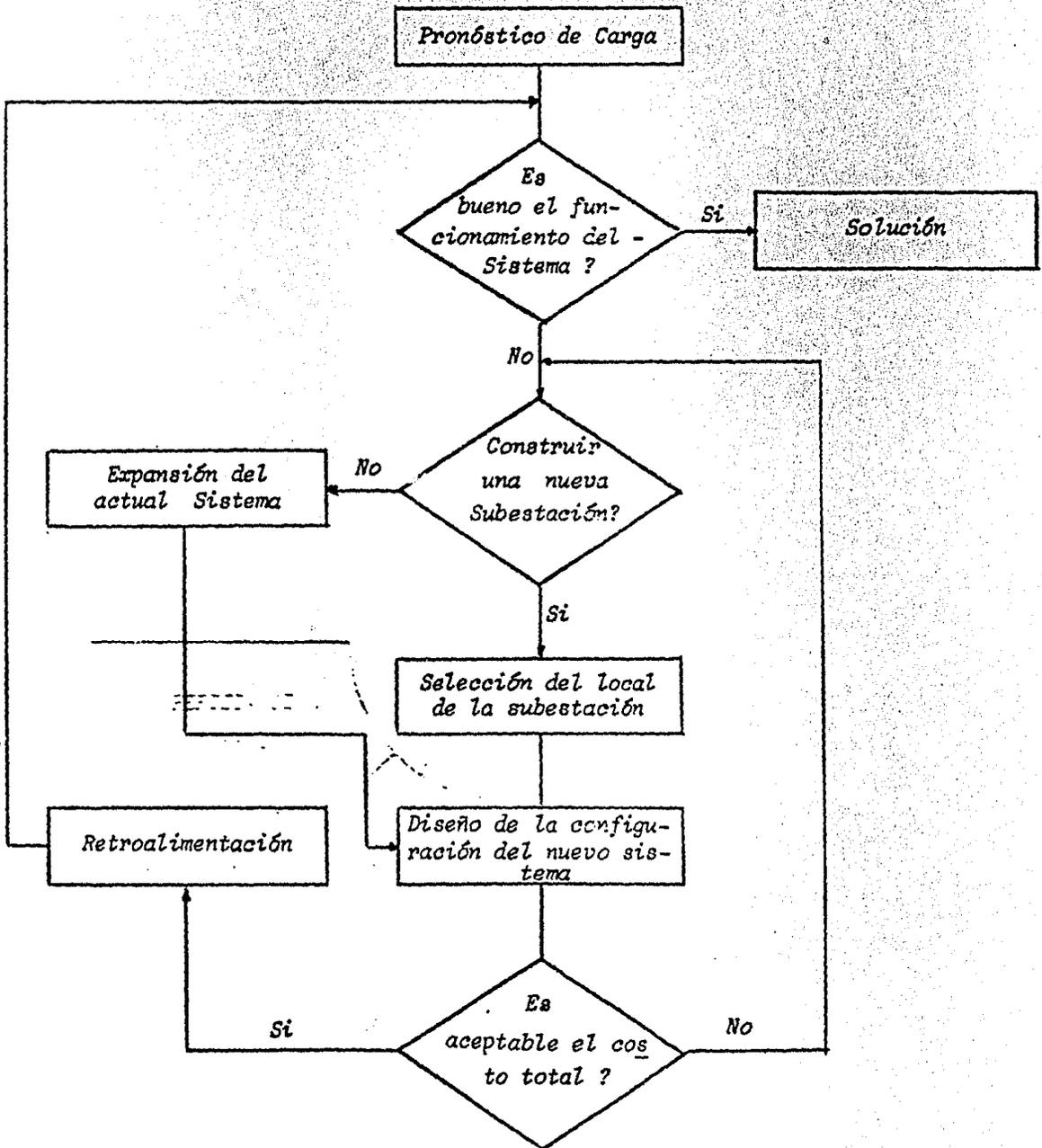


FIGURA IV-10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO TÍPICO DE PLANEACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN



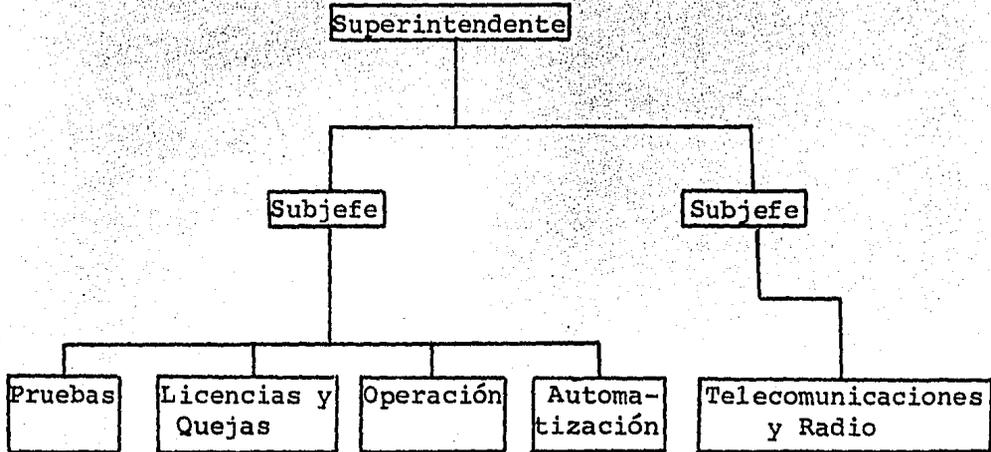
I V.- O P E R A C I O N

Definición.- Es la función que está relacionada con la supervisión, control y mantenimiento de los circuitos de distribución, y tiene como objetivo lograr el funcionamiento del sistema con un alto grado de eficiencia. Algunas de sus funciones son las siguientes:

- a) Supervisar y controlar, tanto el estado como la operación de seccionadores y restauradores, lo cual permite la detección, localización y aislamiento de fallas, así como un rápido restablecimiento del servicio.
- b) Supervisar y controlar capacitores.
- c) Supervisión de transformadores y cables.
- d) Control y supervisión de subestaciones.
- e) Programación de mantenimiento preventivo.
- f) Creación de bancos de datos para la planeación y expansión del sistema, etc.

Para iniciar nuestro análisis, a continuación aparece el organigrama del Departamento de Redes de Distribución, así como un pequeño desglose de sus principales funciones, todo esto refiriéndose a la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S. A. (en liquidación), que es la Dependencia que controla la dis-

tribución de energía eléctrica en la Ciudad de México



Pruebas.- Este Depto. se encarga de probar el equipo en servicio, incluyendo reguladores, transformadores, seccionadores, etc.

Licencias y Quejas.- Se encarga de la recepción de quejas, atender quejas repetitivas, dar licencias, así como avisar a los usuarios de las interrupciones que están programadas y les puedan afectar.

Operación.- Además de lo mencionado al principio, se encarga de estudiar los problemas relativos con la operación del sistema, como son: la regulación, confiabilidad del sistema, así como la continuidad en el servicio, además de saber en que momento se debe descargar un alimentador y bajo qué condiciones, tratando de aliviar problemas inmediatos, tales como fallas de bancos de transformadores en la Subestación, falla de una línea, etc.

Automatización.- Tiene por objeto el poder automatizar la red de distribución existente, básicamente por medio de computadoras digitales para el control remoto y adquisición de datos de las Subestaciones de la Compañía, así como las previsiones para la aplicación futura de automatismos de control y funciones de análisis en tiempo real.

Telecomunicaciones y Radio.- Se encarga de mantener actualizadas las comunicaciones que se tengan entre operadores de -

Subestación, operadores ciudad y operadores de sistema, así como las que se tengan con las cuadrillas de reparaciones y mantenimiento y entre ellos mismos.

Subjefe.- Se encarga de analizar los problemas relativos a su área, darles solución dependiendo de su prioridad, manteniendo informado de todo esto al Superintendente. Cabe señalar que el Subjefe es el puesto sindicalizado más alto en el escalafón de Ingenieros.

Superintendente.- Se encarga de analizar y solucionar los problemas relativos al Depto., tratando siempre de incrementar la eficiencia de éste. Cabe señalar que el Superintendente es personal de confianza.

Continuando con nuestro análisis es importante mencionar que existen básicamente tres tipos de servicio en la Ciudad de México:

- a) Doméstico ó Residencial.
- b) Comercial.
- c) Industrial.

La importancia de cada uno de éstos servicios está determinada por su densidad de carga, que es una medida de energía --

eléctrica y está determinada por MVA/Km<sup>2</sup>., como a continuación se indica para el caso de la Ciudad de México.

<u>A R E A</u>	<u>DENSIDAD DE CARGA (MVA/Km<sup>2</sup>)</u>
Primer Cuadro	De 50 a 120
Sector Comercial	De 40 a 80
Sector Industrial	De 30 a 100
Sector Residencial	De 6 a 8
Sectores Suburbanos	De 2 a 5

Como podemos observar, el sistema del primer cuadro necesita garantizar la continuidad de servicio, debido a su alta densidad de carga y a la importancia política y administrativa - que ahí se localiza, por lo que en la actualidad cuenta con un sistema de distribución subterránea en Alta y en Baja ten sión,

En los lugares donde la densidad de carga es de menor importancia, se utiliza el sistema de red de distribución aérea, haciendo notar que su costo es muy inferior al de los sistemas subterráneos.

En base a lo anterior, se dan prioridad de atención, como son: Organismos Políticos, Grandes Industrias, Hospitales, Condominios, etc.

Dentro de las características del sistema de distribución por red aérea, destacan su sencillez y economía, la configuración más utilizada es la de tipo árbol, la cual consiste de conductores de grueso calibre en el tronco y de menor calibre en las derivaciones ó ramales. La mayor parte de éstos alimentadores se encuentran expuestos al viento, lluvias, temblores, choques de vehículos, etc., lo que provoca una falta de continuidad en el servicio.

La red aérea de baja tensión empieza en el secundario de los transformadores de distribución, suministrando los siguientes voltajes: 220 Volts entre fases y 127 volts entre fase y neutro. Su principal servicio lo presta a las zonas residenciales, aunque también da servicio a varizas zonas comerciales, industriales y unidades habitacionales. Estas redes son del tipo radial y son interconectadas para dar cierta flexibilidad al sistema.

Los conductores utilizados en este tipo de sistema son básicamente, de cobre, generalmente forrados de algún material aislante adecuado al voltaje de utilización.

En algunos casos se utilizan conductores desnudos de un calibre del No. 4 AWG generalmente, a éste tipo de arreglo se le denomina "línea abierta" y los problemas que presenta son de-

bidos a corto circuito, los cuales son provocados por los -- fuertes vientos, temblores, choques de vehículos, así como -- por la caída de objetos extraños (árboles, ramas, papalotes, etc.)

Los postes de distribución también soportan algunas veces líneas de alumbrado público, luminarias, líneas telefónicas, -- cableados de televisión y hasta propaganda política y comercial ocasionalmente.

Red Subterránea. - Existen básicamente dos tipos de redes -- subterráneas: Automáticas y Radiales.

Las redes automáticas se utilizan en los lugares donde existen grandes concentraciones de servicio, los cuales requieren de un alto grado de continuidad.

El sistema de red automática, es una estructura subterránea cuyos cables de baja tensión están solidamente interconectados en paralelo múltiple, abastecida por transformadores de distribución que son energizados en media tensión (6 y 23 KV), por un sistema de dos o más alimentadores primarios conectados siempre a una sola subestación de potencia.

Todos sus elementos trabajan coordinadamente.

Elementos que la constituyen:

Subestación de potencia. - Reduce el voltaje de subtransmi--

sión (85, 115, 230, 440 KV), al de distribución ( 6 y 23 KV).

Alimentadores primarios. - Se encargan de conducir energía eléctrica de la subestación de potencia a los diversos transformadores.

Buscando disminuir los efectos originados por la diferencia de magnitud del voltaje y el ángulo de fase, todos los alimentadores que forman un sistema de red automática están conectados a un solo banco de transformadores. Con esto mejora el reparto de carga en la red automática, al mismo tiempo que se regula el voltaje en las barras derivadoras.

De acuerdo a la posición que guarda entre la subestación de potencia y las cargas solicitadas, los alimentadores se clasifican en:

Troncales

Ramales

Derivaciones

La estructura utilizada en estos circuitos es del tipo radial con seccionadores localizados convenientemente para facilitar la operación y el mantenimiento. Cada alimentador tiene su circuito independiente.

Seccionadores. - Permiten seccionar y proteger los circuitos en caso de disturbio, además de aumentar la flexibilidad de operación y mantenimiento. El inconveniente es que sólo tie

nen una trayectoria de alimentación.

Transformadores. - Son los elementos encargados de reducir - el voltaje de distribución primaria, a voltaje de uso común.

Red Secundaria. - Elementos que la constituyen

- Protectores de red.
- Cajas de baja tensión.
- Acometidas
- Medidores.

Protectores de red. - Interruptor aire operación manual ó automática, relevador de inducción y potencia direccional para operar un motor y bobina de disparo, un relevador 1 Ø de inducción para corrección del ángulo de fase 3 T.C's para operar redes, tablero fusibles y diagrama de conexión. Rango 800.- 2500 Amperes.

Caja de B. T. y Buses.- Bus de 600 Amperes con varias derivaciones previstas de un medio de desconexión (placa ó lámina de cobre que sirve como fusible), las cuales se conectan al exterior a mufas 1 Ø y 3 Ø. Alas mufas 1 Ø llegan los cables del transformador, salen de las mufas 3 Ø los cables de distribución que se conectan a la red secundaria.

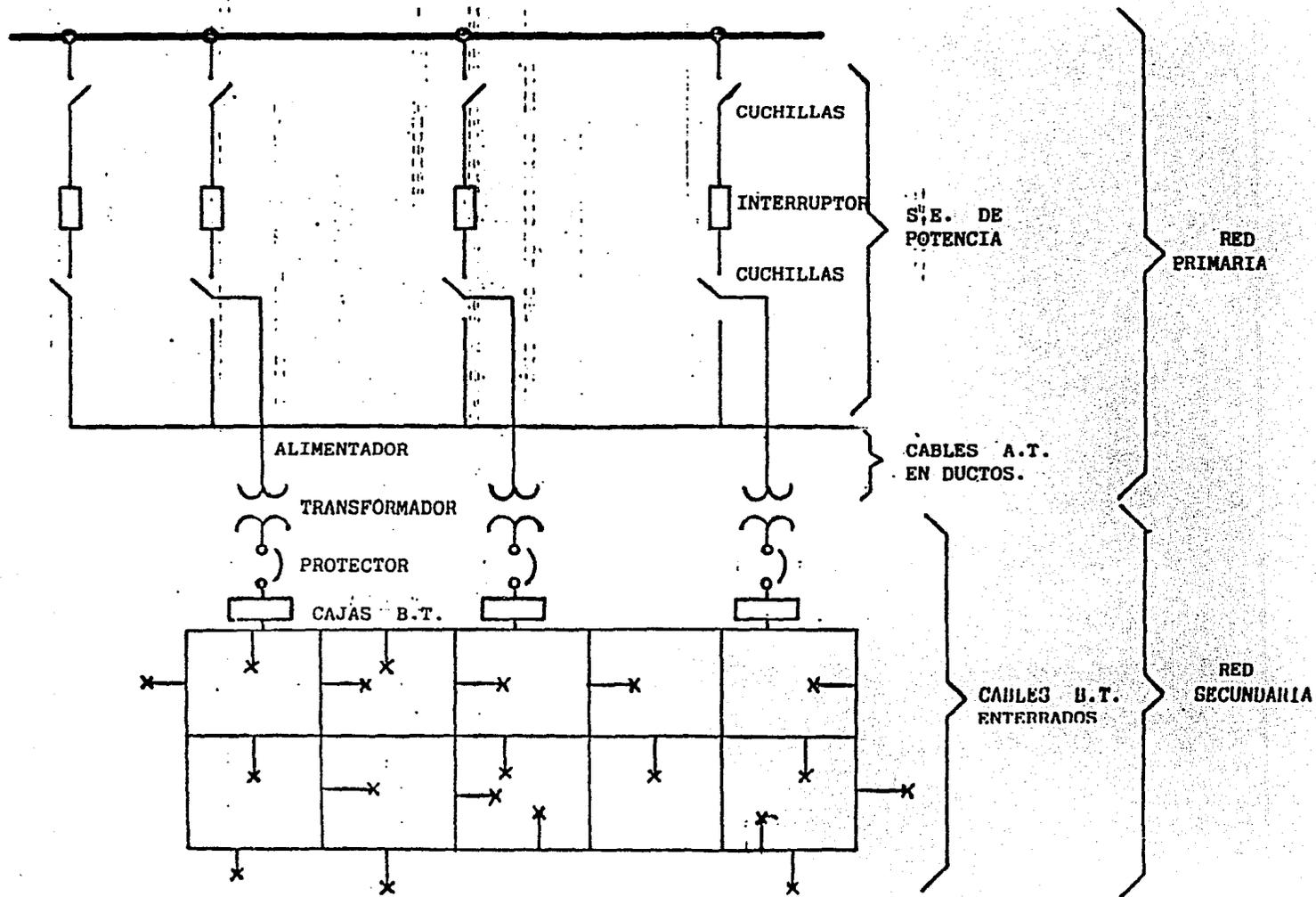
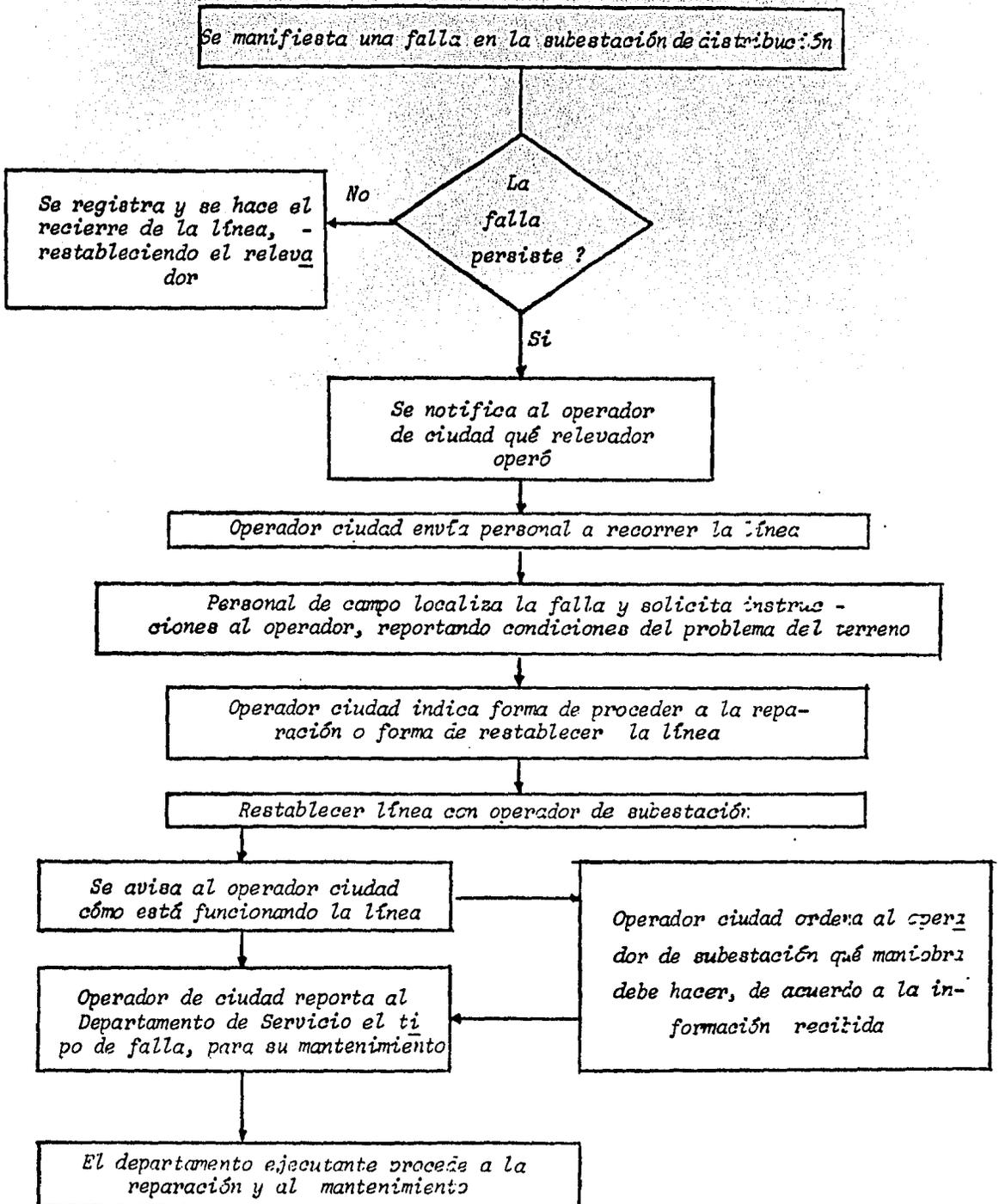


FIGURA IV- 11

## PROCEDIMIENTO PARA LA DETECCIÓN DE UNA FALLA Y SU AISLAMIENTO



Actualmente las cajas se remplazan por buses monofásicos de cobre, aislados con epoxi glass moldeado o material contraccional.

**Función:** Distribuir la energía eléctrica desde las barras de derivación hasta los consumidores, se encuentran interconectados formando circuitos en paralelo múltiple o mallas.

Este tipo de conexión, al ocurrir una falla en cualquier lugar de la malla, el corto circuito producido queda alimentado por la capacidad combinada de todos los transformadores, provocándose una corriente de falla suficiente para fundir un segmento de cable, abriéndose en un tiempo relativamente corto, evitando se produzcan daños de consideración en el servicio.

Acometidas.- Son el último eslabón entre la Compañía y el usuario, se encarga de proporcionar el servicio eléctrico.

Red. Radial Subterránea.- Es igual a la automática sólo que no están conectados en paralelo los conductores de B.T. y -- tampoco existe el protector de red ( Network-Protector).

A continuación se muestran algunos diagramas y estadísticas relacionadas con la operación del sistema eléctrico de distribución de la Ciudad de México.

" ELEMENTOS CON QUE CUENTA EL SISTEMA"

## 1.- Instalaciones Aéreas

a) Alimentadores: KV CANTIDAD

6 225

23 257

b) Longitud de circuitos trifásicos KV KM

6 3918

23 6232

B.T. 15139

c) Postes de acero: 55232

d) Postes de concreto: 244285

e) Transformadores: KV CANTIDAD

6 12012

23 12924

## 2.- Instalaciones Subterráneas.

a) Alimentadores : KV CANTIDAD

6 49

23 49

b) Longitud de circuitos trifásicos: KV KM

6 956

23 928

B.T. 3025

c) Transformadores: KV CANTIDAD

6 983

23 1874

" COMPORTAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DE LA  
 COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S. A. "

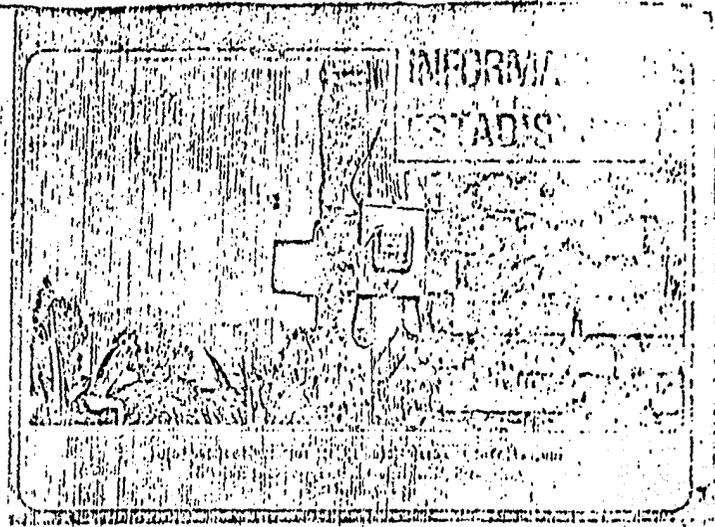
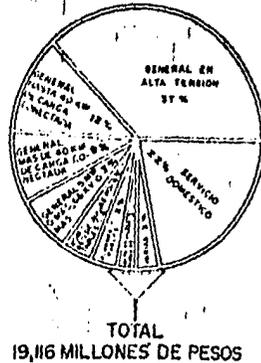
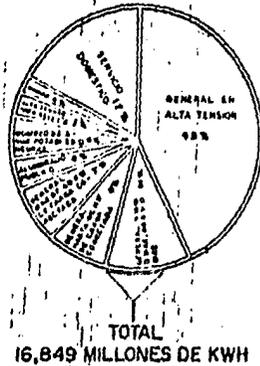
---

<u>Alimentadores</u>			<u>Interrupciones</u>			
<u>Año</u>	<u>No.</u>	<u>Long. (Km)</u>	<u>No.</u>	<u>Horas</u>	<u>F/Km/Año</u>	<u>Hora/A</u>
1975	279	4651	1801	1972	0.387	7.19
1976	289	5200	2267	2240	0.435	7.72
1977	298	5963	2317	2494	0.388	8.36
1978	312	6483	2515	3071	0.387	9.84
1979	329	6825	2726	3500	0.399	10.63
1980	337	7192	3135	3730	0.435	11.06
1981	355	7420	3220	3741	0.437	10.53

F = FALLAS

A = ALIMENTADOR

**DISTRIBUCION PORCENTUAL DE VENTAS  
POR TARIFA**



204

ESTANTES, CONSUMOS Y PRODUCTOS POR ENTIDAD SERVIDA		
NUMERO DE HABITANTES BENEFICIADOS 16'150,000		
ENTIDAD SERVIDA	CONSUMO ANUAL %	FACTURACION ANUAL %
DISTRITO FEDERAL	49.5	64.8
GUERRERO	0.7	0.7
HIDALGO	6.0	5.8
MEXICO	40.1	36.5
MICHOACAN	0.1	0.1
MORELOS	2.4	1.8
PUEBLA	0.0	0.5
TLAXCALA		
TOTAL	100.00	100.00

UNIDADES DE ATENCION AL PUBLICO	
NUMERO DE SUCURSALES	28
NUMERO DE AGENCIAS FORANEAS	48
OFICINAS DE CONTRATACION Y COBRO	9
SUPERINTENDENCIAS FORANEAS	2
UNIDADES MOVILES	16
OFICINAS PARA ATENCION DE CUENTAS ESPECIALES	1
TOTAL	104
RECEPCION DE PAGO DE FACTURAS A TRAVES DE BANCOS	
NUMERO DE INSTITUCIONES BANCARIAS	22

CAPACIDAD EN MW	1970	1979	1980	1981
CAPACIDAD CLFC	676	664	850	930
PLANTAS INTERCONECTADAS CF	3703	3703	3540	3794
<b>TOTAL</b>	<b>4469</b>	<b>4457</b>	<b>4390</b>	<b>4724</b>
GENERACION EN GWH				
GENERACION CLFC	2600	2611	2671	2813
COMPRA	12627	14009	14801	16282
<b>TOTAL</b>	<b>15317</b>	<b>16620</b>	<b>17472</b>	<b>19095</b>
DEMANDA MAXIMA EN MWH/H	3264	3400	3561	3792.0

LONGITUD DE CIRCUITOS DE LINEAS AEREAS Y CABLES SUBTERRANEOS DE TRANSMISION		
TENSION KV	LINEAS AEREAS Km.	CABLES SUBTERRANEOS Km.
400	206.6	
230	968.6	26.4
150	50.7	
85	2,258.8	48.6
23	7,420.0	928.0
6	6,225.0	956.0
<b>CAPACIDAD INSTALADA EN SUBESTACIONES 12,874 MVA</b>		

TARIFA	TIPO DE SERVICIO	MILLONES DE KWH 1980	MILLONES DE KWH 1981	INCREMENTO EN 100/01	CONSUMI- DORES 1981	MILLONES DE PESOS 1981	PRECIO PROMEDIO DE KWH (en pesos) 1981
1	Servicio Doméstico	2,570	2,800	11.28	2,401,719	4,142	1.45
1A	Doméstico verano muy cálido	11	12	0.09	9,110	15	1.26
2	Gral. hasta 40 KW de carga conectada	1,320	1,441	8.43	353,061	2,309	1.68
3	Gral. más de 40 KW de carga conectada	1,060	1,125	6.23	8,002	1,728	1.54
4	Molinos de Nixtamal	63	54	-1.09	2,070	11	2.0
5	Alumbrado Público	685	763	11.39	883	662	.87
6	Bombas de aguas potables o negras	776	725	-0.06	1,461	736	0.6
7	Temporal	0	0	0.00	1,595	31	6.17
8	Gral. en alta tensión	6,821	7,100	5.26	4,203	7,140	.99
9	Redes especiales	40	43	(12.74)	887	16	.37
10	Alta tensión para reventa	636	611	-3.99	60	621	1.02
11	Alta tensión para mallas	107	140	(12.67)	37	89	.81
12	Gral. 5 MW o más, 60 KV o más	1,570	1,818	15.80	13	1,400	.77
	Recobrado por inspección	12	15	25.00	0	128	8.53
<b>TOTAL</b>		<b>18,643</b>	<b>19,840</b>	<b>7.71</b>	<b>2,704,003</b>	<b>10,110</b>	<b>1.13</b>



# SIGNOS CONVENCIONALES

## EN DIBUJOS Y PRESUPUESTOS DE LINEAS AEREAS

NORMA LyF  
1.8750.25  
Ene 69

NOMBRE	SIGNO	NOMBRE	SIGNO
Lineas baja tensión 1 hilo		Lineas 44 kv 3 hilos	
Lineas baja tensión 2 hilos		Lineas 60 kv en torre 3 hilos	
Lineas baja tensión 3 hilos		Lineas 85 kv en torre 3 hilos	
Lineas baja tensión 4 hilos		Lineas 85 kv en poste 3 hilos	
Lineas 6 kv 3 hilos		Lineas 220 kv en torre 3 hilos	
Lineas 23 kv 3 hilos		Lineas 220 kv en poste 3 hilos	
Capacitor		Poste de concreto de 30' o menos	o
Corte abierto		Poste de concreto de 35' o más	o
Corte cerrado		Poste de madera de 30' o menos	/
Cuchilla línea aérea operación   x		Poste de madera de 35' o más	/
Cuchilla línea aérea 23 kv desconectadora en aire para operar en grupo sin carga		Poste A65	O
Interruptor línea aérea 23 kv en aire para operar en grupo con carga		Poste A109	@
Equipo Medición (Ejem: 6000V - 200/5 Amp)		Restaurador	
Generador	□	Retenida de ancla	T
Interruptor en aceite		Retenida de poste	H
Motor	□	Retenida entre postes	
Pararrayos		Seccionador	
Portafusible		Terminal de cable subterráneo	X
Poste de acero de 30' o menos	▲	Terminal de cable subterráneo con portafusible	X
Poste de acero de 35' o más	▲	Torre de transmisión	□
Poste C 31	□	Transformador en poste de acero	@
Poste C 32	□	Transformador 6 KV en subestación	□
		Transformador 23 KV en subestación	□

Colores usados con estos signos para presupuestos:

ACTUAL: Morado

PROPUESTO: Rojo

POR RETIRAR: Verde

REEMPLAZAR: Azul

NOTA: Las instalaciones de propiedad particular se representan con el mismo signo que las de la Cía. pero en color azul y con la anotación: Particular.

VII-53 Rev: V-55 IX-62 | VIII-63 | VI-64 | IX-64 | I-65 | VIII-66 | IX-68 | I-69

D-L.A.

PROCESO PARA LA LOCALIZACION DE FALLAS EN CABLES DE HT. Y AT.

IDENTIFICACION DE LA  
NATURALEZA DE LA  
FALLA.

MEDICION DE LA CONTINUIDAD

PRUEBA CON C.C.

FALLA DE CONTINUIDAD

FALLA DE AISLAMIENTO

FALLA DE TIPO EXPLOR

PRELOCALIZACION  
DE LA FALLA.

MEDICION DE LA RESISTENCIA DE  
LOS CONDUCTORES POR OHMETRO.

$R_d < 100$  Ohms.

$R_d > 100$  Ohms.

QUEBRADO A.T.

QUEBRADO 10 KV  
CIRCUITO DE ENERGIA

ONDAS DE IMPULSO A.T.

REFLECTOMETRIA  
BAJA TENSION

REFLECTOMETRIA  
BAJA TENSION

REFLECTOMETRIA  
BAJA TENSION

REFLECTOMETRIA  
ALTA TENSION

TRAZO DEL CABLE

TRAZO DEL CABLE

TRAZO DEL CABLE

TRAZO DEL CABLE

LOCALIZACION  
PRECISA DE  
LA FALLA.

ONDAS DE IMPULSO AT.

ONDAS DE IMPULSO AT.

ONDAS DE IMPULSO AT.

ONDAS DE IMPULSO AT.

DETECCION ACUSTICA

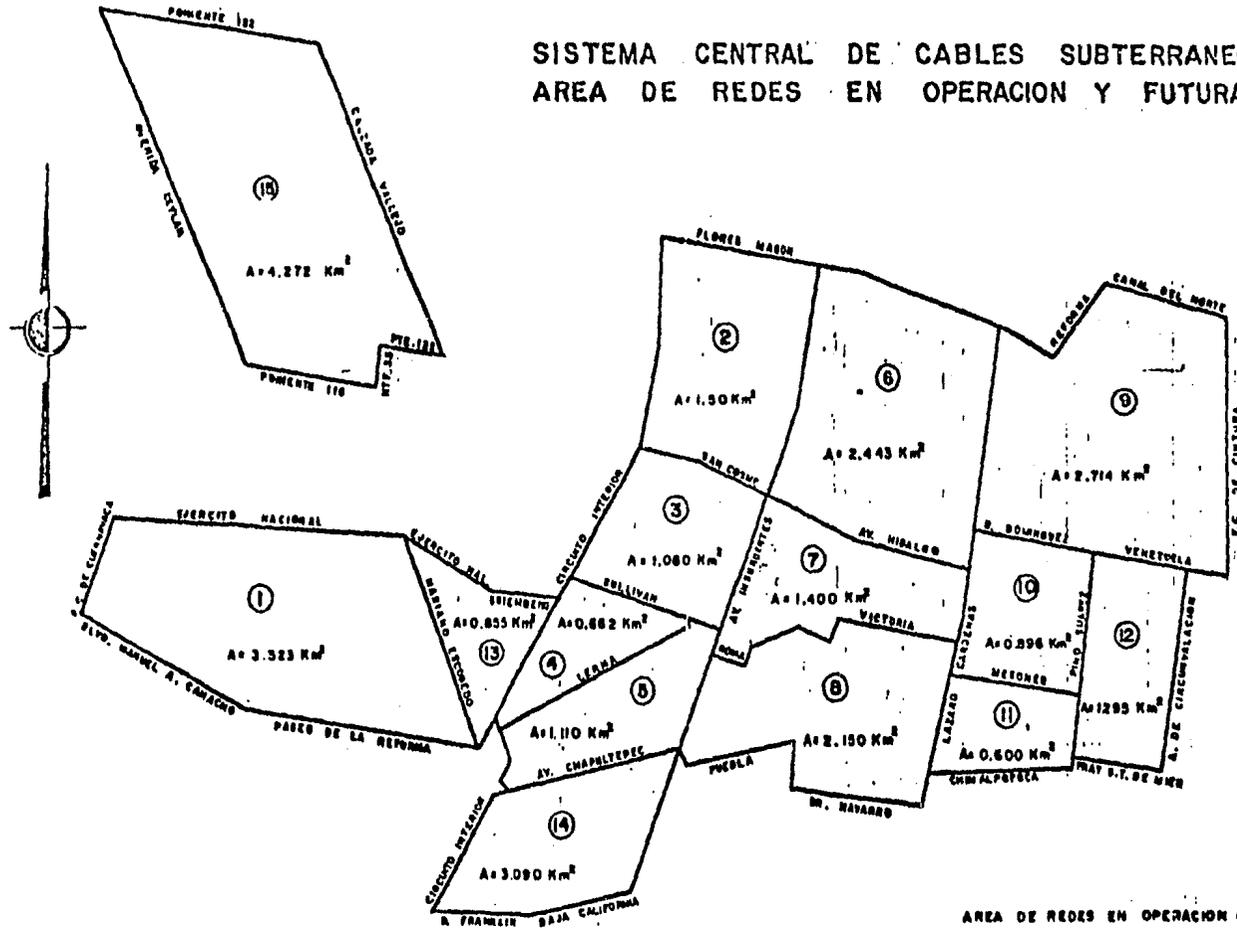
DETECCION ACUSTICA

DETECCION ACUSTICA

DETECCION ACUSTICA



# SISTEMA CENTRAL DE CABLES SUBTERRANEOS AREA DE REDES EN OPERACION Y FUTURAS



AREA DE REDES EN OPERACION = 6.156 Km<sup>2</sup>  
 AREA DE REDES FUTURAS = 21.464 Km<sup>2</sup>  
 AREA TOTAL = 27.620 Km<sup>2</sup>

### REDES

	MVA/KM <sup>2</sup>		MVA/KM <sup>2</sup>
1 FUTURA RAD. POLANCO 23 KV	22.883	8 RAD. INDIANILLA 23KV	28.354
2 FUTURA RAD. SANTA MARIA 23KV	5.428	9 FUTURA RAD. MORELOS 23KV	5.913
3 FUTURA RAD. SAN RAFAEL 23KV	8.739	10 AUTO. CENTRAL 23KV	120.538
4 FUTURA RAD. CUAUHTEMOC 23KV	23.798	11 AUTO. JAMAICA 6KV	72.750
5 AUTO. VERONICA 23 KV	60.090	12 FUTURA AUTO. MERCED 23KV	31.660
6 FUTURA RAD. BUENAVISTA 23KV	18.281	13 FUTURA RAD. ANZURES 23 KV	18.345
7 AUTO. REFORMA 23KV, 6KV	80.538	14 FUTURA RAD. CONDESA 23KV	9.174
		15 FUTURA RAD. INDUSTRIAL VALLEJO 23 KV	28.480

NOVIEMBRE /1981  
SEPTIEMBRE /1981.

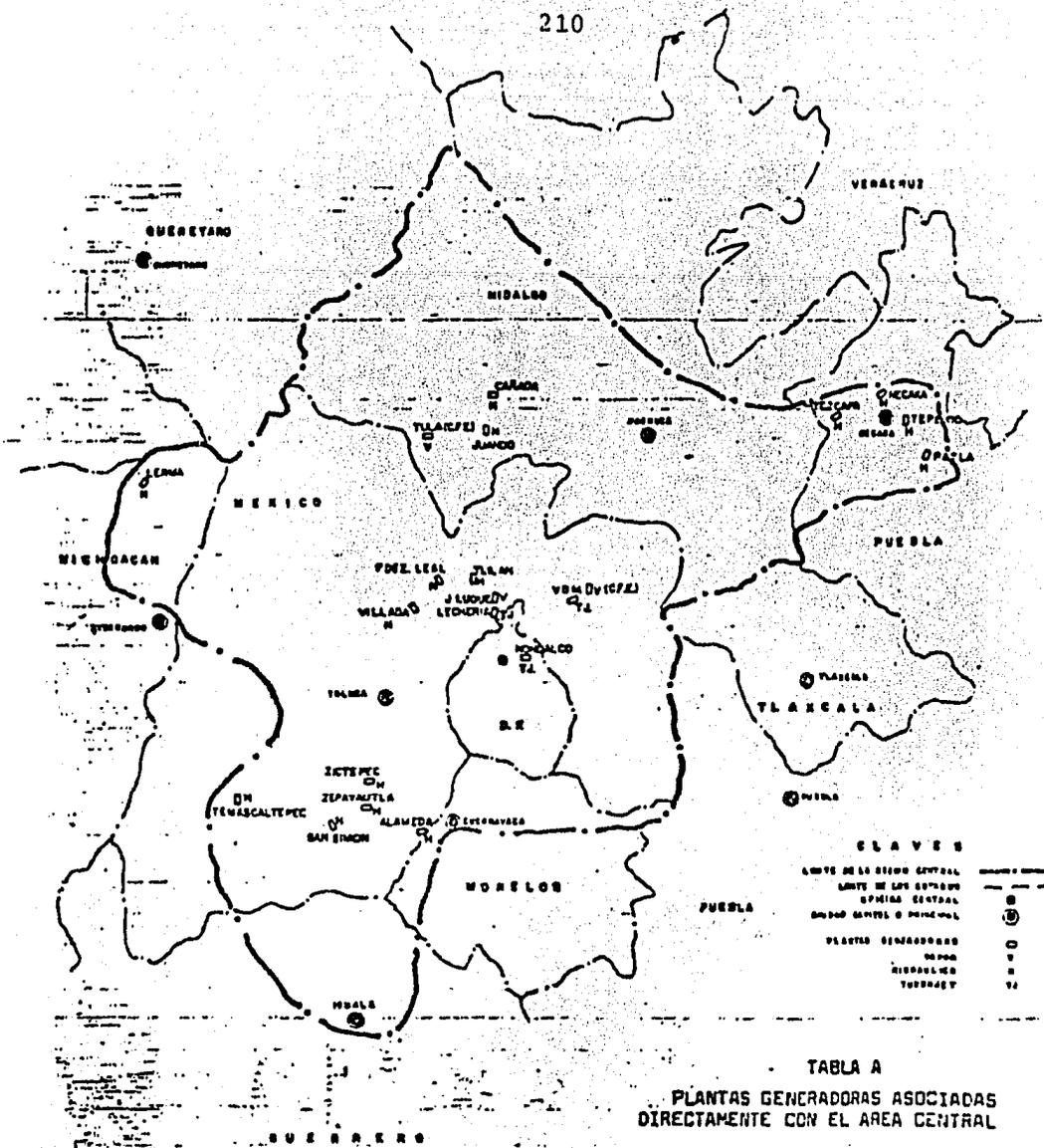


FIG. 3 PLANTAS GENERADORAS DEL AREA CENTRAL

TABLA A  
PLANTAS GENERADORAS ASOCIADAS DIRECTAMENTE CON EL AREA CENTRAL

PLANTA	No. de Unidades	tipo	CAPACIDAD INSTALADA (MW)
1.1 Sistema Necaxa	16	H	211
1.2 Lerma	3	H	230
1.3 Ing. Jorge Lunus	4	M	230
1.4 Nonoalco	4	TJ	135
1.5 Lecharie	4	TJ	144
1.6 Valle de México-CLFC	3	TJ	90
1.7 Plantas Honores	17	H	23
Total Plantas CLFC			933
2.1 Infernillo	6	H	1012
2.2 Villito	4	H	300
2.3 Sistema Miguel Alemán	12	H	371
2.4 Tula	4	V	1200
2.5 Valle de México-LFC	4	V	766
Total Plantas CFC			3649
TOTAL SISTEMA CENTRAL			4582

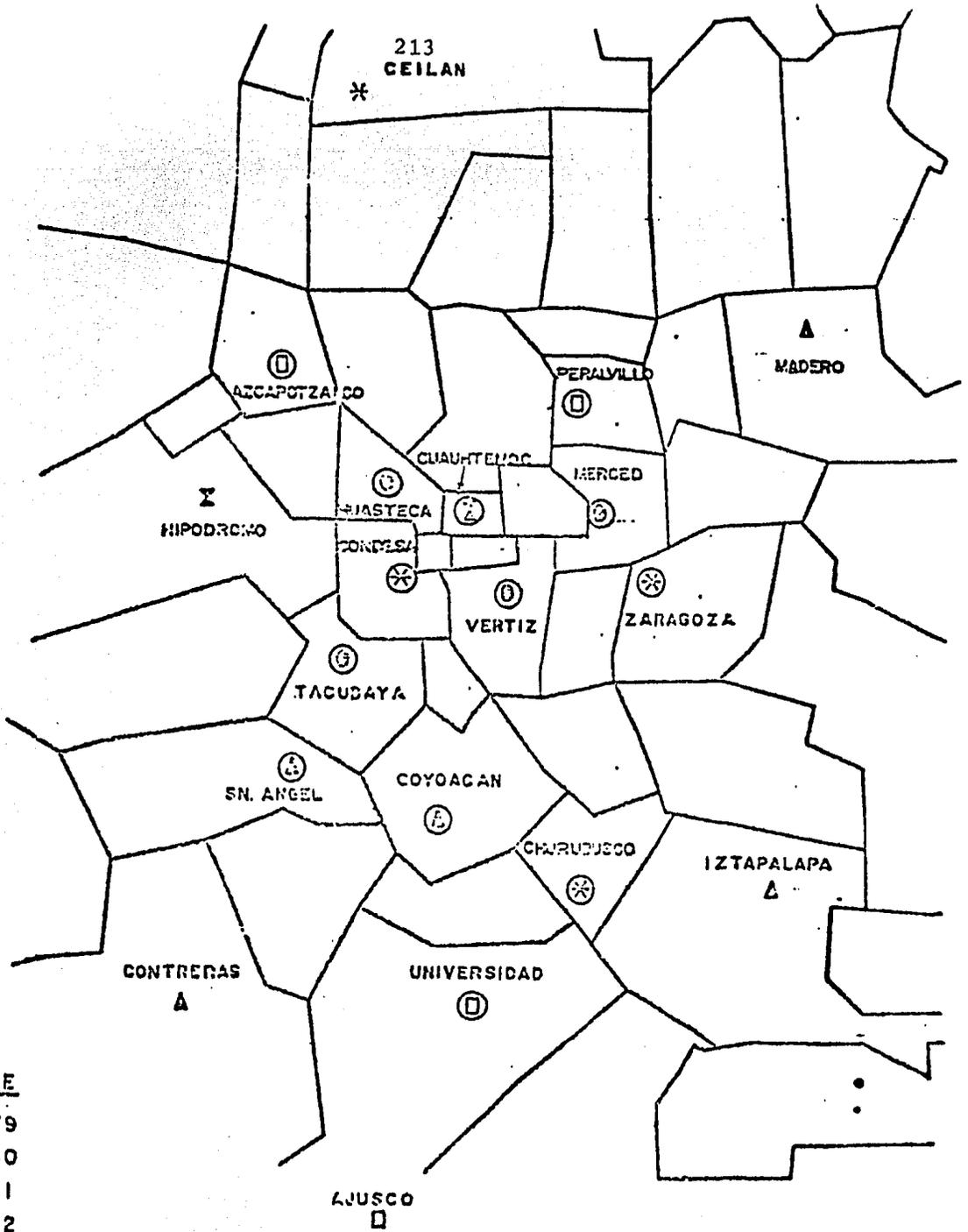


## TABLA V

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
 COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.

PROGRAMA DE INSTALACIONES  
 PERIODO 1979-1983

DESCRIPCION	AÑOS				
	1979	1980	1981	1982	1983
<u>SUBESTACIONES NUEVAS</u> CAPACIDAD POR INSTALARSE (MVA).	330	420	810	390	100
<u>SUBESTACIONES EXISTENTES</u> AUMENTO DE CAPACIDAD (MVA).	330	196	105	150	—
TOTAL	660	616	915	540	100



**CLAVE**

- ▲ 1979
- ⊙ 1980
- 1981
- ✕ 1982
- \* 1983
- SF6

PROGRAMA DE INSTALACION DE  
 SUBESTACIONES DE POTENCIA EN  
 EL VALLE DE MEXICO, 1979-1983  
 FIGURA N.º 5

**POTENCIA REAL INSTALADA EN EL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL A JUNIO, 1982.**

17,696 MW.

**CARBON**  
300 MW.  
1.70%

**COMBUSTION**  
Interna  
118 MW.  
0.67%

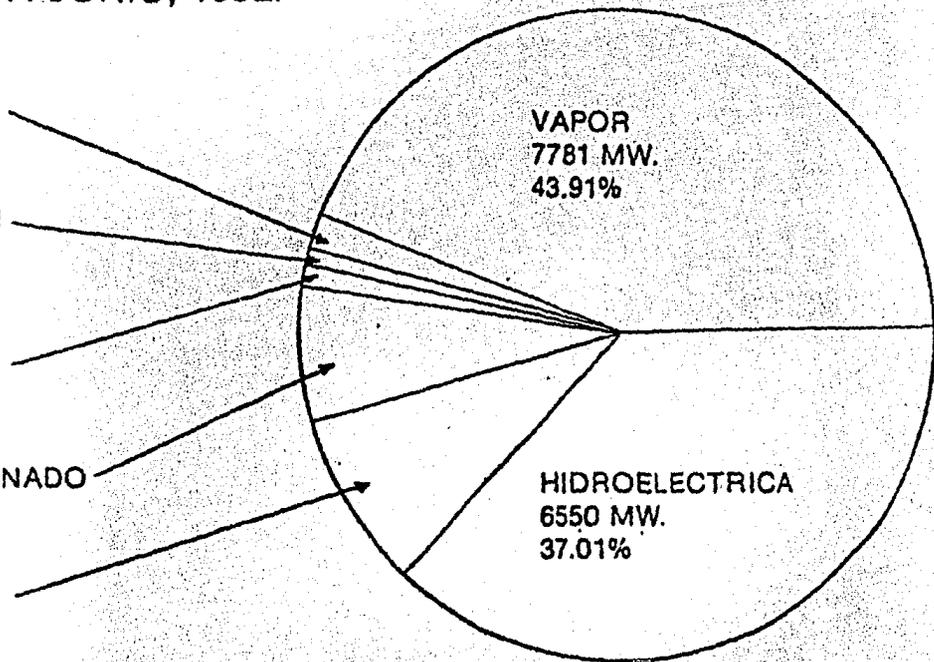
**GEOTERMICA**  
180 MW.  
1.02%

**CICLO COMBINADO**  
1223 MW.  
6.91%

**TURBO GAS**  
1539 MW.  
8.70%

**VAPOR**  
7781 MW.  
43.91%

**HIDROELECTRICA**  
6550 MW.  
37.01%



Es necesario mencionar que para que exista una buena operación se deberá contar con los elementos adecuados, tanto humanos - como materiales, ya que de la preparación que tenga un operador ciudad ó un operador sistema, muchas veces dependerá que el sistema sea más eficiente. Por otro lado, si se cuenta - con un excelente elemento humano y no se cuenta con los recursos materiales necesarios y en buen estado, como son: edificios, teléfonos, radios, computadoras, etc., no se podrá - llegar a los objetivos planeados. Otra de las tareas dentro de la operación de la red de distribución es la de mantener actualizado el sistema, ya que muchas veces se puede estar - trabajando sobre datos que ya son obsoletos.

Además se deberá intentar el continuar con las buenas relaciones obrero patronales, ya que en caso de no existir éstas puede dar lugar a varios casos de problemas de comunicación, como pueden ser los accidentes y las interrupciones en el -- servicio, que en última instancia, se trata de dar precisamente éso: una continuidad y confiabilidad en el servicio.

Con respecto a la demanda del sistema y su posible abastecimiento, el cual depende de la capacidad instalada, no existe problema, ya que desde que se realizó la interconexión de la red nacional de distribución de energía eléctrica, existe - una gran versatilidad en la operación, además de la gran --

flexibilidad que da éste, ya que en un momento dado se puede estar dando mantenimiento a una planta generadora mientras - las demás suministran la energía que se supone debía de haber entregado ésta planta, Con excepción del apagón de Enero de 1980, el funcionamiento de la red nacional, dependiente del Centro Nacional de Control de Energía, el cual a su vez depende de la Comisión Federal de Electricidad ha sido satisfactorio.

## C A P I T U L O V

### MANTENIMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCION.

- V.-1 Introducción.
- V.-2 Mantenimiento a las redes de distribución aérea.
- V.-3 Mantenimiento preventivo a redes eléctricas de distribución subterránea en el D.F.
- V.-4 Fallas de redes subterráneas de distribución eléctrica y su localización.
- V.-5 Sistema de mantenimiento preventivo actual.
- V.-6 Método de trabajo de equipo energizado y desenergizado.
- V.-7 Medidas de seguridad en cables subterráneos.

V.-1 I N T R O D U C C I O N

Atendiendo a las características propias de las redes de Distribución, así como a la localización y envejecimiento de las mismas, se desprende la necesidad de contar con un programa de mantenimiento de las redes de Distribución., con el objeto de minimizar las interrupciones a los usuarios, pues éstas no solo perjudican a los anteriores sino también a la propia Compañía Suministradora, ya que dichas interrupciones representan un costo elevado derivado del mantenimiento correctivo y el deterioro del equipo instalado en la red, así como el dejar de vender la energía eléctrica que sería consumida durante el tiempo que dura la interrupción.

"PROGRAMA DE MANTENIMIENTO"

El primer objetivo de un Programa de Mantenimiento es el de proveer un servicio bueno y permanente de mantenimiento, tomando en consideración 5 puntos:

- 1) Calendario Adecuado
- 2) Trabajo máximo de mantenimiento.
- 3) Elevada calidad del mantenimiento.
- 4) Mantenimiento de un inventario.
- 5) Análisis de los Registros del Mantenimiento.

- Calendario de Mantenimiento. Este se procede a elaborar en

función de la vida útil de cada uno de los elementos sensibles de la Red Secundaria y a partir de la fecha de instalación de la red. Como no se dispone de este último dato, del análisis del Relatorio de Disturbios se procede a establecer regiones por alimentador primario, para así ver el índice de frecuencia de disturbios ocasionados por fallas en la Red Secundaria.

V.-2 " MANTENIMIENTO A LAS REDES DE  
DISTRIBUCION AEREA "

1.- TIPOS Y CAUSAS DE DISTURBIOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION  
 AEREAS.

Se dice que un circuito eléctrico está en disturbio cuando - sus condiciones de operación se encuentran en operación anor- mal, lo cual trae' como consecuencia variaciones notables en - la frecuencia, voltaje y corriente del circuito.

La exposición de grandes longitudes de línea en los sistemas de distribución aéreas a descargas atmosféricas, ramas de ár- bol, choques, contaminación ambiental, objetos sobre la línea, viento, etc., afectan en forma directa su grado de confiabi- lidad dado que cualesquiera de éstos elementos pueden provo- car la suspensión del servicio.

Además, cualquier red eléctrica está sujeta a fallas debidas a su propia naturaleza así como por el efecto que en ella pro- duce la propagación de fallas en redes contiguas o interconec- tadas.

Las causas más comunes en las que puede fallar un alimentador aéreo son las siguientes:

- a) Climatológicas  
 Descargas atmosféricas  
 lluvia  
 viento

tormenta

neblina

b) Medio Ambiente

Objetos extraños en la línea

ramas de árbol

polvo

efecto galvánico

corrosión

contaminación industrial

incendio

explosión

c) Terceros

Piquete mecánico

pedrada o balazo

trolazo

choque o golpe

propagación provocada por falla de equipo cercano.

rozamiento, contacto accidental.

cruzamiento con otra línea.

robo de material y equipo.

d) Del Area de distribución

Mano de obra defectuosa

operación o maniobra errónea.

montaje de equipo inadecuado  
 sobrecarga  
 carga desequilibrada  
 variaciones del voltaje  
 baja frecuencia  
 disturbios en sistemas interconectados.  
 falso contacto  
 corto circuito  
 flamazo  
 falla de aislamiento  
 desajuste en el equipo  
 funcionamiento incorrecto  
 cristalización  
 cruzamiento por líneas colgadas

e) Por manufactura

diseño incorrecto  
 fabricación defectuosa  
 equipo ó material incompleto ó inadecuado.

f) Otras

ignorada

Todo este tipo de causas y/o fallas inciden sobre el alimentador provocando un disturbio básicamente en dos efectos importantes a saber: corto circuito y sobrecargas.

Disturbio por corto Circuito.- Son originados principalmente por objetos extraños en la línea, choque ó impacto en los postes, defectos en la fabricación e instalación del equipo ; así como de los materiales utilizados, etc.

Disturbio por sobrecarga.- Obedece a una operación inadecuada de las líneas ó a situaciones de emergencia. En ambos casos el disturbio causa la salida del sistema de alimentación, y para su restablecimiento se necesita conocer la naturaleza de la causa de la falla con el fin de tomar las medidas necesarias para corregirla.

De acuerdo a la naturaleza del disturbio, existen cuatro posibilidades de extinción ó aislante de la falla, siendo estas:

a) Extinción espontánea

En este caso , la causa del sistema es una descarga atmosférica cerca de la línea, la cual produce alteraciones en el voltaje y la frecuencia de la misma. La onda de tensión es conducida a tierra por medio de los pararrayos, los cuales, como se indicó, protegen a la red contra éste tipo de agentes.

La derivación de la onda de tensión a tierra trae como consecuencia un ligero parpadeo de la luz apenas perceptible;- y en algunos casos produce interrupción del servicio por unos cuantos segundos, la cual cesa al desaparecer la onda perturbadora.

Se dice que éste tipo de falla se extingue por sí sola.

b) Extinción después de una reconexión rápida

Ocurre cuando el agente perturbador pudiera ser un alambre - delgado arrojado sobre los conductores de una línea. En este caso, el alambre se funde por la corriente tan grande de corto circuito desarrollada provocando la suspensión del servicio al operar en la subestación las protecciones correspondientes. Entonces, aquí mismo en la subestación, se produce automáticamente la reconexión instantánea del alimentador, y al no existir ya la causa del disturbio este queda en operación normal. A este tipo de fallas se les conoce con el - - nombre de fugitivas.

c) Extinción después de una reconexión lenta.

Para explicar este medio de posibilidad de extinción de la - falla, consideraremos que la causa de la misma es una rama - de árbol, la cual por su humedad propia, causa el corto circuito en la red. Por lo general, al término de los tres recierres automáticos del interruptor en la subestación, la rama que originó el disturbio se quema, quedando en esta forma - eliminada la falla.

Este tipo de falla se conoce como semipermanente. Es conveniente aclarar que si aún al término de los tres recierres automáticos del interruptor en la subestación, persista la - rama sobre los conductores; ésta llega a fundirse en las siguientes reconexiones manuales, ordenadas por un operador

de redes, con el fin de encontrar la falla y la causa de la misma.

d) Falla permanente

Cuando las condiciones de operación del circuito eléctrico se ven afectadas totalmente es decir, cuando las tres condiciones anteriores de restablecimiento del servicio no se cumplieron satisfactoriamente, el alimentador queda fuera definitivamente, conociéndose éste tipo de falla como permanente. En este caso la restauración del servicio se hará previa reparación del daño.

Las interrupciones momentáneas, las cuales duran apenas unos segundos, no causan tantos problemas debido a que son muy raros; los usuarios de la energía eléctrica que son sensibles a este tipo de interrupciones. Sin embargo las fallas permanentes quedan fuera de control y por lo tanto deben ser atendidas lo antes posible, con el fin de evitar interrupciones demasiado prolongadas que lesionen seriamente los intereses de los usuarios.

## 2.- SECUENCIA ACTUAL DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento: Es el conjunto de actividades tales como: revisión, inspección, reposición-reemplazo, encaminadas a mantener la red en niveles óptimos de operación. Existen dos tipos de mantenimiento.

- a) Mantenimiento Correctivo. - Son las labores necesarias para restablecer el buen funcionamiento de un alimentador - cuando este falló ó está en disturbio.
- b) Mantenimiento preventivo. - Es el conjunto de actividades programadas con el propósito de que el alimentador quede fuera de servicio en el menor tiempo posible y en horas en que menos perjudiquen. El objetivo de este mantenimiento es el de anticiparse a la falla; ó si ésta sucede, que sus efectos no sean tan severos.

En las redes primarias del sistema aéreo de la Cía. de Luz, la secuencia actual del mantenimiento es la siguiente:

A. - SECUENCIA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

- a) Lugares donde se generan las órdenes de mantenimiento correctivo: El Departamento de Operación de Redes de Distribución.

En este Departamento se reciben las quejas de los usuarios, reportando la interrupción del servicio. Un encargado del Departamento solicita información correcta y precisa sobre la dirección en que éste ocurre.

- b) Quiénes ejecutan el mantenimiento correctivo.

Una vez que se tiene el reporte de interrupción del --

servicio, el Departamento, de Operación de Redes de Distribución, avisa a las cuadrillas de área y/o de quejas, para su propia atención.

Estas cuadrillas se dirigen al lugar de la queja para investigar la causa de la falla y reparar, generalmente, los efectos de la misma.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra la secuencia de Mantenimiento correctivo:

servicio, el Departamento de Operación de Redes de Distribución, avisa a las cuadrillas de área y/o de quejas, para su propia atención.

Estas cuadrillas se dirigen al lugar de la queja para investigar la causa de la falla y reparar, generalmente, los efectos de la misma.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra la secuencia de Mantenimiento correctivo:

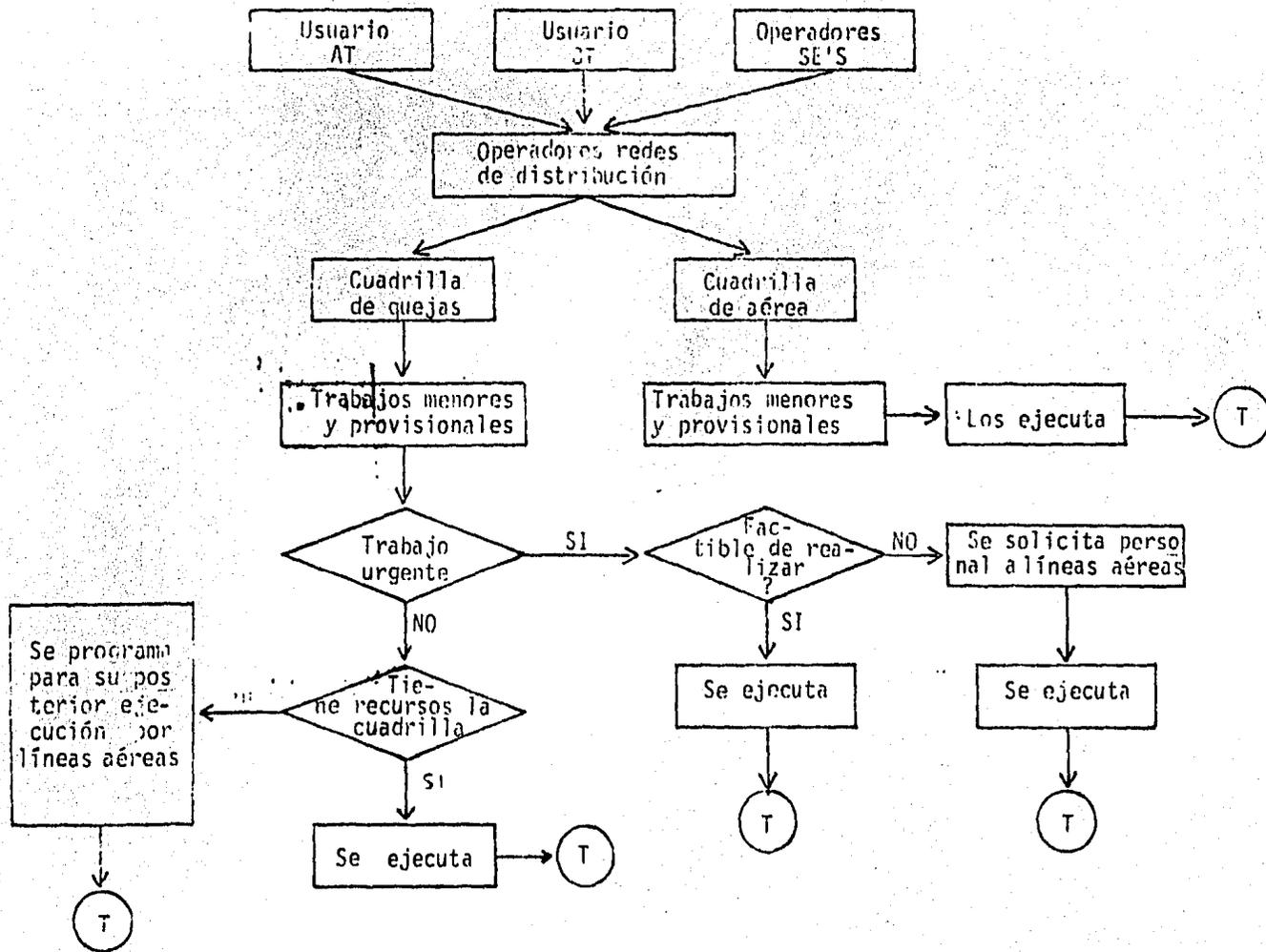


Fig. V.-1

Un aspecto importante en el mantenimiento correctivo es el tiempo y número de usuarios afectados por un disturbio. Este tiempo dependerá en gran parte de la habilidad y capacidad con que se dote a las cuadrillas de mantenimiento para desplazarse, localizar, aislar y reparar la falla.

En el caso de las redes primarias, el criterio seguido para la localización, aislamiento y reparación de la falla, es el siguiente:

En cada subestación de distribución hay una persona encargada de la operación y control del equipo instalado en la misma, la cual se entera directamente de la suspensión del servicio en los alimentadores. Inmediatamente después de que se servicio de que el alimentador ha "probado mal", da aviso al operador de redes de distribución, el cual consulta las quejas recibidas en ese momento para ver si hay alguna que coincida con la zona alimentada por la línea que se encuentra fuera. En el caso de que exista alguna queja dentro de la zona comprendida por dicho alimentador, se envía una cuadrilla a revisar el lugar citado en la queja. El Jefe de ésta cuadrilla reporta el daño sufrido por éstas instalaciones al operador, pidiéndole instrucciones para aislar ó seccionar la zona afectada. El servicio en el resto del alimentador es restableci-

do inmediatamente, y con las medidas de seguridad del caso, - se procede a la reparación de los daños: reparación que normalmente es de carácter provisional, ya que como se está afectando la continuidad del servicio, se requiere que la reparación sea hecha en el menor tiempo posible. En el supuesto caso de que al final de la línea hubiera servicios importantes, tales como Hospitales, etc., se procura alimentarlos con el ó los alimentadores adyacentes.

Quando el operador no encuentra queja alguna de anomalías ó - desperfectos dentro de la zona abarcada por un alimentador fuera por un disturbio, para localizar la falla, le ordena a la cuadrilla efectuar un recorrido para inspeccionar y seccionar la línea, empezando generalmente a la salida del alimentador en la subestación. En este punto se abren las cuchillas de - salida del alimentador, poniéndosele potencial al mismo desde la subestación, para confirmar el estado de la troncal subterránea del mismo, así como su equipo correspondiente dentro de la subestación. Probando correctamente ésta parte inicial de la línea y con el interruptor de la misma abierto en la - subestación, se procede a cerrar las cuchillas que se abrieron en la misma maniobra, enviando a la cuadrilla a seccionar al alimentador aproximadamente en el punto medio, para repetir la maniobra de meterle potencial desde la subestación y

. . .

así sucesivamente, hasta localizar la falla.

Estos disturbios se registran y clasifican para su tratamiento estadístico, el cual es resumido en un informe mensual de disturbios. Este informe clasifica las fallas por alimentador, las causas de la falla, los materiales afectados y el tiempo de interrupción del servicio.

Aunque actualmente se está procurando limitar la carga, tanto en líneas primarias como secundarias (industrial y residencial respectivamente), se carece de reserva para absorber un disturbio y sólo en caso de afectación a servicios demasiado importantes, se arriesga la operación con sobrecarga de los alimentadores adyacentes.

Los relatorios de disturbios contienen la siguiente información:

- 1) Fecha de disturbio ó falla
- 2) Nombre del alimentador en disturbio.
- 3) Clave del alimentador.
- 4) Material, equipo y accesorios afectados.
- 5) Tipo de falla y desperfectos ocasionados.
- 6) Causa de la falla
- 7) Tiempo de la falla en minutos y duración.

#### B.- SECUENCIA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO O PREVENTIVO

##### OBJETIVOS

- a) Reducir al mínimo las posibilidades de falla.
- . . .

b) En caso de que ocurriese una falla, ésta sería de con  
secuencias mínimas.

Para éste caso, se elabora un programa minucioso para cada -  
alimentador en especial, auxiliándose en gran parte del infor  
me de disturbios.

Actualmente éste tipo de mantenimiento se efectúa en gran es-  
cala y normalmente en alimentadores primarios, ya que así se  
asegura de paso, una operación más eficiente de la red secun  
daria.

La incidencia y duración de las interrupciones sufridas por -  
un alimentador influye preponderantemente para prepararle un  
mantenimiento. Como toda labor de mantenimiento representa  
una serie de trabajos que se tienen que efectuar en líneas -  
que están en servicio y que, por no contar con sistema algu-  
no que evite la interrupción se realiza bajo la condición de  
una serie de interrupciones a los consumidores, interrupcio-  
nes que abarcan una zona de dimensiones variables, de acuer-  
do con la clase y cantidad de labor por ejecutar. Este tipo  
de interrupciones se conoce con el nombre de licencia.

La licencia no es más que una autorización especial, la cual  
se concede a una persona para que conjuntamente con personal

a sus órdenes ejecuten un trabajo de instalación, modificación ó reparación en algunas de las instalaciones.

Como se citó anteriormente, la magnitud de los trabajos de mantenimiento es variable; y en base a ésta y a la organización -- del personal del departamento de líneas aéreas se hacen las consideraciones siguientes:

Cuando la magnitud de los trabajos de mantenimiento es considerable, éstos trabajos se programan para ejecutarse dentro del turno diurno en días sábado o domingo de la semana; ya que en estos días la casi totalidad de servicios industriales y comerciales -- suspenden sus labores, generalmente. Además, en el turno diurno se cuenta con el mayor número de cuadrillas, siendo la duración de éste mayor que la de los demás turnos. Cuando la labor de mantenimiento se concentra en un solo concepto, tal como el reemplazo de postes chocados, de cuchillas quemadas, etc., se elige programarla preferentemente en el turno nocturno; ya que es el turno en que se cuenta únicamente con dos cuadrillas de instalación, y por ser menor el trabajo, aunque la zona librada sea muy grande la afectación a servicios será mínima.

En ambos casos, los servicios involucrados en la interrupción son consultados por personal del Departamento de Operación para solicitar la licencia respectiva.

Es necesario mencionar que hasta hace algunos años, se realizaba cierta labor de mantenimiento que se supone tendría ciertos re-

sultados satisfactorios; pero que en realidad, vendrían a ser cierto complemento de la labor de construcción correspondiente a las ampliaciones del sistema. Como es lógico suponer, - ésta situación creó un gran desequilibrio entre la cantidad de equipo instalado en dichas ampliaciones y el mantenimiento realizado, acumulando una serie de desperfectos debidos al deterioro normal por el uso y tiempo.

Como ya se dijo anteriormente, el mantenimiento preventivo se basa generalmente en la estadística obtenida del informe de - disturbios, del cual se obtiene la información necesaria y de urgencia para la elaboración de un programa.

Una vez elegido el alimentador con mayor incidencia de disturbios, se realiza un recorrido rápido por la zona abarcada por el mismo, para darse una idea de las partes más urgidas de -- mantenimiento, así como de la magnitud de la zona deteriorada.

En base a las observaciones realizadas se programan los trabajos previos al mantenimiento, los cuales comprenden:

- 1) Derrame total de la zona verde: se aplica en base a un recorrido total del alimentador con el fin de limpiar de follaje y ramas las líneas de alta y baja tensión. Este desrame se hace en forma adecuada, sin perjudicar ni al árbol ni la estética del mismo, la cual siempre - deberá cuidarse en una gran Ciudad.

- 2) Auxiliándose de un diagrama unifilar de la línea en cuestión, un sobrestante de líneas, recorre el alimentador - palmo a palmo, prestando mayor atención a las partes reportadas en el informe de disturbios, anotando la cantidad y tipo de trabajo a realizarse, elaborando croquis extra de los puntos más delicados. Para la consecución de una buena labor de mantenimiento en base a la inspección ocular realizada se elabora una lista de materiales que serán empleados en la labor en cuestión, con los cuales se procura contar en la fecha escogida para ejecutar el trabajo.

Con los datos anteriores se procede a la elaboración de los memorándums respectivos, solicitando al Departamento de Operación Redes de Distribución, la licencia en la zona correspondiente. Esta solicitud de licencia se hace con el siguiente contenido:

- 1) Fecha en que se va a ejecutar el trabajo.
- 2) Tiempo de duración del mismo.
- 3) Nombre del alimentador en cuestión.
- 4) Especificar, cuando sea posible, el nombre del sobrestante ó personas encargadas del trabajo.
- 5) Indicar, a grandes rasgos, el trabajo a realizarse

El Departamento de Operación se engarga de dar aviso a los usuarios de la energía eléctrica, de la interrupción, ya sea

por avisos telefónicos (usuarios conectados en A.T.) ó por -  
 aviso de los periódicos (usuarios en B.T.\*), posteriormente  
 elabora un memorándum en el cual se indica la concesión de-  
 la licencia en los términos siguientes:

- 1) Fecha en que se concede.
- 2) Tiempo de duración de la misma.
- 3) Nombre y tensión de operación de la línea.
- 4) Extensión de línea concedida en licencia entre jue-  
 gos de cuchillas, indicando los puntos de apertura.
- 5). Descripción del trabajo a realizarse

El Día señalado y con el memorándum en mano, se "toma la li-  
 cencia", abriendo las cuchillas citadas en el mismo; cercio-  
 rándose después de ésta operación de que no hay potencial en  
 los conductores, se procede a la instalación de las tierras  
 de protección en los puntos señalados con anterioridad. Ba-  
 jo estas condiciones puede decidirse que estamos en posibili-  
 dades de proporcionar el mantenimiento programado, labor que  
 esencialmente consiste en:

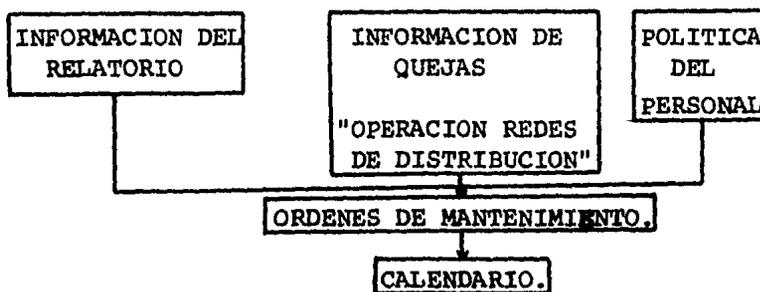
- Reemplazo de aisladores rotos o flameados.
- Reemplazo de postes chocados.
- Enderezado de postes ladeados (por impacto o falla del  
 terreno).
- Dar tensión a las líneas colgadas. Se recalibran lí-  
 neas colgadas por sobrecarga.

- Reemplazo de herraje defectuoso.
- Reparar empalmado correctamente, conductores dañados.
- Revisión de puentes (conexiones de líneas a líneas y de línea a equipo, reemplazando los que se encuentran quemados.
- Revisión y ajuste de cuchillas e interruptores en aire.
- Reemplazo de conductores mecánicos ó de tornillo por -- conductores del tipo de compresión
- Reposición de pararrayos volados.
- Reemplazo de portafusibles defectuosos.
- Enderezar crucetas.
- Etc. , etc.

En resumidas cuentas, dentro del mantenimiento preventivo, unas de las actividades de más importancia son:

- I) Elaboración de las ordenes de mantenimiento.
- II) Establecimiento del calendario.

A continuación se muestra el diagrama sobre las fuentes de información, las cuales sirvan en la obtención de las órdenes de mantenimiento preventivo.



Nota: Cuando se ejecutan trabajos normales, se inspeccionan para mantenimiento posterior las instalaciones próximas o adyacentes.

V.-3 "MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REDES ELECTRICAS DE DISTRI-  
BUCION SUBTERRANEA EN EL D.F."

---

INTRODUCCION

El desarrollo de instalaciones eléctricas subterráneas, ha sido tan notable en los últimos años, que se prevee que para las próximas décadas éste tipo de instalaciones se irá incrementando de igual forma; éste incremento no queda solamente limitado a aquéllas zonas en las que sus condiciones obligaban al empleo de instalaciones subterráneas, tales como las que cuentan con densidad de carga superiores a un valor pre-fijado, ó en obras que aunque su densidad esté por debajo de dicho límite, su situación es tal, que hacen imposible y poco prácticas las instalaciones aéreas.

Esta condición también es aplicable a aquéllas instalaciones que resultan peligrosas y antieconómicas.

El uso de instalaciones subterráneas se presta también cada día con mayor frecuencia en otras zonas de tipo urbano y sub urbano que sin presentar las características antes mencionadas, se desea obtener mayor confiabilidad y estética, resultados que definitivamente se obtienen con éste tipo de instalaciones.

De lo anterior se deduce que la distribución de energía eléc-

trica subterránea presenta una dinámica constante, debido a - que tienden a incrementarse las redes para hacer posible una mayor utilización de los incrementos de la generación requerida para suministrar a los actuales consumidores, el aumento de energía que se requiere, así como suministrar a los nuevos servicios que demanda el desarrollo del país, utilizando las nuevas técnicas y materiales.

Cables subterráneos es el Departamento que dentro de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S. A. (en liquidación), Empresa de servicio público, tiene por objeto proporcionar un servicio de energía eléctrica confiable y eficiente a zonas residenciales, proletarias, fraccionamientos y unidades habitacionales, así como a hospitales, Escuelas, Centros Comerciales e Industrias, garantizando al máximo posible la continuidad del servicio, tratando de evitar las interrupciones por falla, ya que además de las molestias que causa la suspensión del servicio, la interrupción en la industria ocasionaría cuantiosas pérdidas.

El Departamento de cables subterráneos está integrado por tres sectores: Sector Norte, Sector Bolivar, Sector Sur, con el área de servicio correspondiente, como se puede observar en la Fig. No.V-2

La zonas en las que podemos dividir el sistema atendido por el Departamento de Cables Subterráneos son:

TITITLÁN

# CABLES SUBTERRANEOS NORTE

COACALCO

TIOTZINGO

241

STA. CLARA

ECATEPEC

TIALNEPANTLA  
ATIZAPAN

NAUCALPAN

AZCAPOTZALCO

G.A. MADERO

CUAUHTEMOC  
CARRANZA

M. HIDALGO

TEXCOCO

CD. NETZAHUALCOYOTL

LA PAZ

CHIMALHUACAN

CUAJIMALPA  
DE MORELOS

A. OBREGON

B. JUAREZ

IZTACALCO

IZTAPALAPA

COYOACAN

TLAHUAC

CHALCO

CABLES  
SUBTERRANEOS  
SUR

LA M. CONTRERAS

TLALPAN

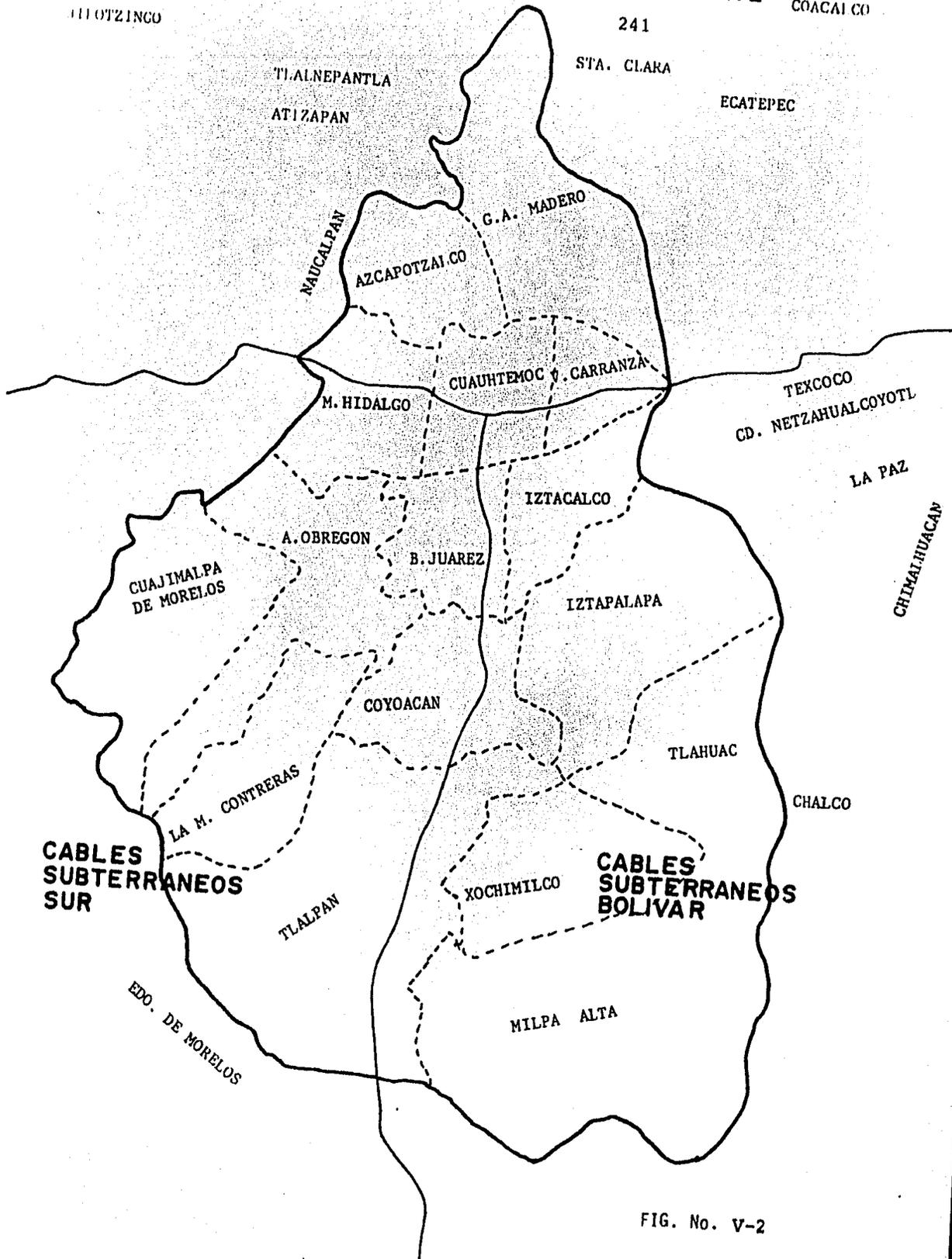
XOCHIMILCO

CABLES  
SUBTERRANEOS  
BOLIVAR

EDO. DE MORELOS

MILPA ALTA

FIG. No. V-2



1a.- Formada por el primer cuadro del D.F., con los límites siguientes:

Al Norte .- Calle Mina y Belisario Domínguez

Al Sur .- Calle República del Salvador y Calle Roma

Al Oriente.- Calle Correo Mayor

Al Poniente.- Avenida Insurgentes

Esta es la mayor concentración de carga entre 60 y 80% de los servicios más importantes como: Palacio Nacional, Procuraduría General de la República, Secretaría del Patrimonio Nacional, Teléfonos de México, Grandes Centros Comerciales, Transporte Colectivo del Metro, Etc, etc.

El suministro de energía eléctrica se proporciona por la red automática.

2a.- En la zona que rodea el primer cuadro del Distrito Federal cuyos límites son:

Al Norte .- Calles de Carpio, Degollado, Ecuador y Costa Rica.

Al Sur.- Fray Servando T. de Mier, Dr. Río de la Loza, Av. Chapultepec.

Al Oriente.- Av. Circunvalación.

Al Poniente.- Calles Lieja, Paseo de la Reforma, Rosas Moreno, y Naranjo.

Tiene una densidad de carga de 20 a 40 MVA/Km<sup>2</sup>. El tipo de servicio es en gran parte doméstico y en menor cantidad es comercial, el suministro de energía se proporciona por el sistema de la red de distribución radial, como se puede observar en la Fig. 46.

3a.- Consta del resto del Distrito Federal donde se localizan cargas concentradas en conjuntos habitacionales, Unidades médicas, como el Centro Médico y la Raza.

Esta zona comprende también los Fraccionamientos y Unidades Habitacionales del Estado de México, Hidalgo, Morelos; donde la densidad de carga oscila entre los 6 y 10 MVA/Km<sup>2</sup>., donde se proporciona un servicio del tipo radial cuya instalación es relativamente económica y bastante confiable.

4a.- Es la zona mixta, formada por líneas aéreas y subterráneas, comprende parte del Distrito Federal, Del Estado de México, Hidalgo, Morelos y demás Estados donde proporciona servicio la Compañía de Luz.

V.-4 "FALLAS DE REDES SUBTERRANEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA  
EN EL D.F. Y SU LOCALIZACION"

---

Las redes de distribución subterráneas pueden sufrir fallas que traen como consecuencia que queden fuera de servicio. En la mayoría de los casos éstas fallas no pueden localizarse rápidamente, al contrario de lo que sucede con las líneas aéreas.

Por lo tanto es sumamente importante investigar el motivo o causa que provocó ésta falla lo más rápidamente posible, con el fin de efectuar los trabajos necesarios para ejecutar la correspondiente puesta en servicio.

A continuación se da una lista de las causas más frecuentes que pueden motivar fallas en las instalaciones con cables subterráneos.

a) PIQUETE MECANICO

Al efectuarse obras de urbanización o efectuar excavaciones es muy común que algún trabajador por confusión o descuido dañe algún cable, produciéndose después la falla.

b) CORROSION QUIMICA

La presencia de determinados compuestos químicos como ácidos, ó alcalinos de sustancias que combinadas dan lugar a que éstos, puedan atacar violentamente las cubiertas de ais-

lamiento y perjudicarlos en un momento dado.

c).- CORROSION ELECTROLITICA.

La presencia de instalaciones de corriente eléctrica directa propicia en muchas ocasiones, que dicha corriente - deje sus conductores para fluir libremente por las cubiertas de plomo, pero en el lugar donde éstas dejan el cable para regresar a sus conductores allí se produce en el forro del plomo una corrosión tan violenta, que perfora dichas cubiertas en lapsos muy cortos.

d).- CRISTALIZACION

El continuo movimiento del cable dentro del ducto debido a las dilataciones y contracciones de éste a consecuencia de su régimen de carga, terminan por orientar las moléculas del forro de plomo, agrietándose en longitudes considerables.

e).- ROZAMIENTOS O RAYADURAS

La falta de cuidado en el tiraje, la suciedad en los ductos o la falta de precaución en lugares donde existen objetos filosos, dan por resultado incisiones o cortaduras en las cubiertas de plomo.

f).- ASENTAMIENTOS DEL SUBSUELO

Esto es muy frecuente en la Ciudad de México, debido al terreno tan poco compacto donde está edificada, así como el desarrollo cada día más constante, dando por resultado restiramientos en las cubiertas de plomo, que llegan a reventarse, produciéndose así degolladuras.

g) TIERRAZOS:

Los fenómenos transitorios debidos a cortos circuitos, fallas a tierra, aperturas bruscas, etc., producen corrientes residuales que fluyen por las cubiertas de plomo, elevándose en ocasiones el potencial de una cubierta con respecto a la otra; de allí que en lugares donde una cubierta con potencial toca o pasa cerca de otra ó de una estructura que propicie una diferencia de potencial adecuada a la descarga; ésta se produce formando el vulgarmente llamado tierraizo, - que perfora las cubiertas de plomo dejando ahí un hueco considerable.

h) INTRODUCCION DE AGUA O HUMEDAD

Todos los fenómenos anteriores dan lugar a la introducción de agua ó humedad dentro del cable que trae por resultado siempre la falla inmediata ó posterior del cable.

Otra forma de permitir la introducción de agua ó humedad dentro del cable, es el hacer descuidadamente el trabajo de una unión o derivación, que repercute invariablemente en la falla del cable en ése lugar.

i) SOBRECARGA

Un cable que trabaja todo el tiempo sobrecargado, llega a quemar su aislamiento, perdiendo por tal motivo sus cualidades dieléctricas, provocándose su falla.

j) FALSAS MANIOBRAS

Una falsa maniobra en la operación puede dar lugar a producir un corto circuito que, repuesto por completo los aislamientos del cable producen su falla.

k) ELIMINACION DE ACEITE EN LA POSICION VERTICAL:

En un cable dispuesto verticalmente, es forzoso que el aceite por gravedad emigra a las partes inferiores del mismo, dejando en la parte superior un vacío que favorece notablemente la ionización del cable y por consiguiente, su falla.

l) VEJEZ

Con el tiempo, el resecamiento de los aisladores de un cable, da lugar sin duda a la formación del fenómeno de ionización, que aumenta sus pérdidas y por consiguiente trae posteriormente su falla.

m) DEFECTO DE FABRICACION:

El defecto en el encintado ó en la aplicación de la cubierta de plomo, puede dar lugar a ionizaciones ó vías de humedad que posteriormente hagan fallar el cable.

n) DEFECTOS DE MANIPULACION:

Manos sucias o sudorosas, reventado de aislamientos al forzarlos en curvaturas ó pocas precauciones al confeccionar una unión o terminal, trae consigo irremisiblemente la falla.

n) MORDEDURA DE RATA:

La rata no come el plomo del cable, pero le gusta afilar se los dientes en él, de ahí que resulten a veces incisiones bastante considerables a consecuencia de ésto y por ende posteriormente su falla.

o) INCENDIOS:

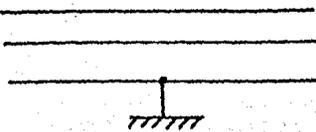
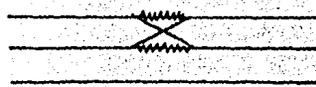
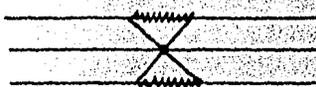
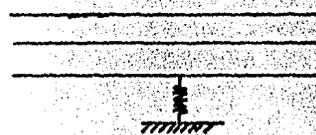
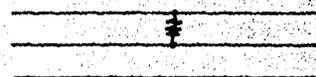
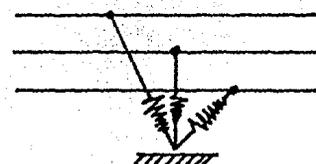
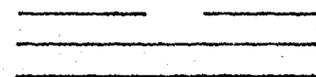
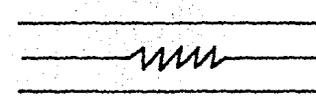
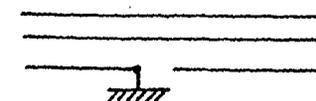
En siniestros exteriores se eleva tanto la temperatura que algunas veces llega a fundirse el plomo del cable y por supuesto sus aislamientos.

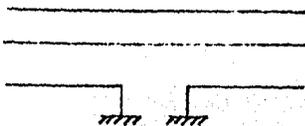
Ahora bien; es importante mencionar que los puntos más vulnerables en cualquier instalación subterránea, según lo expuesto anteriormente son las uniones, derivaciones, terminales, pozos de visita, lugares salitrosos, obras públicas en construcción, aglomeración de cables, etc.

De los análisis de tipo de falla, éstas podrían ser clasificadas en tres grupos:

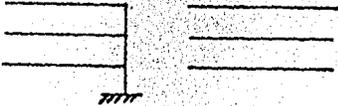
- A) FALLA A TIERRA
- B) CORTO CIRCUITO
- C) TROZADURA.

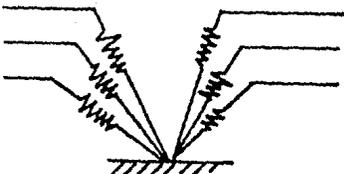
De ésta clasificación existen infinidad de subgrupos donde -  
caen todas las fallas que resultan de la combinación de éstas  
tres fallas fundamentales: a continuación se dan a conocer -  
algunos tipos de fallas comunes en alta y baja tensión. (Fig.  
No. V-3 a V-14

- I  FIG. No. V-3  
FALLA FRANCA  
FASE-TIERRA
- II  FIG. No. V-4  
CORTO CIRCUITO FRANCO  
ENTRE FASES
- III  FIG. No. V-5  
FALLA FRANCA TRES FASES  
TIERRA
- IV  FIG. No. V-6  
CORTO CIRCUITO FRANCO  
TRIPLE
- V  FIG. No. V-7  
FALLA RESISTENTE  
FASE-TIERRA
- VI  FIG. No. V-8  
CORTO CIRCUITO RESISTENTE
- VII  FIG. No. V-9  
FALLA RESISTENTE TRIPLE  
A TIERRA
- VIII  FIG. No. V-10A  
CONDUCTOR TROZADO
- IX  FIG. No. V-10 B  
CONDUCTOR TROZADO  
PERO UNIDO POR UNA  
RESISTENCIA (CARBON)
- X  FIG. No. V-10 C  
CONDUCTOR TROZADO  
Y UNA SECCION A TIERRA

XI  FIG. No. V-11  
CONDUCTOR CORTADO Y PUESTO  
A TIERRA RESISTENTE A DOS  
LADOS

XII  FIG. No. V-12  
LOS TRES CONDUCTORES  
TROZADOS

XIII  FIG. No. V-13  
LOS TRES CONDUCTORES  
TROZADOS Y PUESTOS A  
TIERRA EN UN SOLO  
EXTREMO

XIV  FIG. No. V-14  
TROZADOS LOS TRES CONDUCTORES  
Y RESISTENTES A  
TIERRA POR LOS DOS LADOS

Ahora bien, para obtener un mayor porcentaje de éxito en las localizaciones, en los cables de las redes subterráneas, debe seguirse por regla general un cierto método, el cual consiste a grandes rasgos en el desarrollo de los siguientes puntos:

) Conocimiento de las características y trazado del cable.  
Para facilitar los cálculos durante los ensayos, se precisa conocer del cable:

- A) TENSION DEL TRABAJO
- B) SECCION DEL CONDUCTOR
- C) LONGITUD DEL CABLE
- D) TIPO DE INSTALACION
- E) SITUACION TOPOGRAFICA

Suponiendo que no se cuenta con el plano de detalle o éste no ha sido puesto al día, si se trata de un cable enterrado que se busca, se utiliza rastreador Balteau a frecuencia usual.

Este equipo consta de un emisor de ondas a frecuencia musical el cual puede enviarlas a través del cable a intervalos cortos, espaciados o continuos, obteniéndose con esto que sea fácil de distinguirse de otros ruidos del subsuelo.

Así mismo cuenta también con un receptor compuesto de una bobina rastreadora, un amplificador y un juego de audífonos, - todo portátil a manera de poderse desplazar a lo largo de la ruta del cable.

En la siguiente Fig. No.V-15 se muestra la forma de conectar estos aparatos al cable para llevar a cabo dicho ensayo.

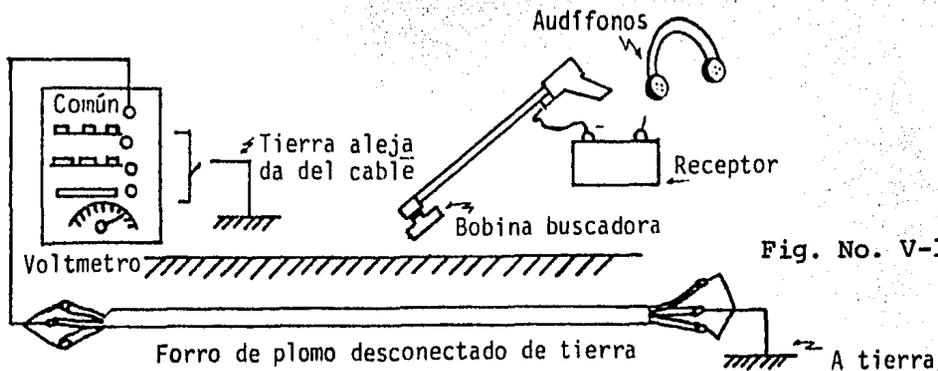


Fig. No. V-15

## II).- Análisis de la naturaleza de la falla:

Dicho análisis consiste en hacer ciertas pruebas en los extremos del cable, para saber en la forma más precisa posible, el género de la falla y así poder escoger por consiguiente el método adecuado en las pruebas de localización y dicho análisis consiste en medir:

a) La resistencia de la falla.- Esto se hace por medio de un Megger, las mediciones se hacen por los dos extremos del cable, tomando lecturas, cada una de las fases contra el plomo y entre las fases mismas.

De esta prueba podemos deducir si el cable:

- a) Se encuentra con 1, 2, ó 3 fases a tierra
- b) Dos o tres conductores corto circuitados, de acuerdo con la medición entre fases
- B) Prueba de continuidad de conductores:

Esta prueba tiene por objeto el poder saber si existe trozadura de los conductores en la falla, puede determinarse por el método simple de corto circuitos, los tres conductores en un extremo del cable y desde el otro extremo probar entre dos conductores, con una pila y un foquito como se indica en la Fig. No.V-16

Esta prueba puede hacerse también a fases separadas y utilizando el plomo como conductor de regreso, con esto se prueba al mismo tiempo la continuidad de la chaqueta de plomo.



c) PROLOCALIZACION:

Consiste en determinar en forma aproximada la distancia a la cual se encuentra la falla, desde los dos extremos del cable.

Es necesario tener en cuenta que los valores obtenidos no son siempre exactos por lo que jamás hay que darlos - por definitivos para intervenir directamente sobre el cable y sin antes verificarlos.

Para la prolocalización existen diferentes ensayos, los cuales se clasifican en:

A) .- ENSAYO MURRAY

B) .- ENSAYO SANTY

C).- ENSAYO POR PUENTE AOIP.

D).- ENSAYO POR ONDAS DE CHOQUE BALTEN.

#### V.-5 SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL

Puede decirse que la organización es la parte más importante de la vida de una Empresa Industrial Moderna. La organización es el factor decisivo de su éxito o fracaso.

Muchas cosas requieren la atención del Empresario ; pero ninguna es de tanta importancia como la organización.

Para nosotros en nuestro país, la organización es algo de importancia excepcional. Al iniciarse en la economía del país la etapa industrial, debemos conceder toda la atención debida a los problemas de organización.

Nadie duda que en la Empresa industrial son indispensables determinados elementos materiales, como por ejemplo, la materia prima, la maquinaria, los edificios, las instalaciones, etc., no se desconoce tampoco que sin capital, sin crédito, sin mercado y sin muchos otros recursos y condiciones económicas resulta imposible que la Empresa Industrial exista. Y es igualmente cierto que tan imprescindibles son los elementos industriales, más importantes por la dignidad que es propia de su condición humana, son los obreros, los empleados, los funcionarios, ejecutivos y los directores.

Sin embargo; por más necesarios e indispensables que sean los materiales, los recursos económicos y los hombres, todos ellos resultan inútiles si falta la organización.

. . .

La Empresa requiere dichos elementos, pero ellos no son la empresa misma. Lo esencial, lo que hace que la empresa viva y prospere es la organización.

Organización.-

"Organizar es coordinar las actividades de todos los individuos que forman parte de una Empresa para el mejor aprovechamiento de los elementos materiales, económicos y humanos, en la realización de los fines que la propia Empresa persigue."

Ahora bien dentro de esta organización que rige el funcionamiento de la Cía. de Luz y Fuerza del Centro ( en liquidación) se encuentra la División que se mencionó anteriormente esto es: Sector Norte, Sector Bolivar y Sector Sur, que a su vez - cada uno de éstos Sectores consta de las siguientes secciones:

- A) INSTALACION Y SERVICIOS
- B) TALLER
- C) OPERACION
- D) MANTENIMIENTO

Cada una de éstas secciones tienen funciones específicas, las cuales se mencionan a continuación:

A) INSTALACION Y SERVICIOS :

Su función es la instalación de nuevas redes de Distribución subterránea, para proporcionar el servicio solicitado

por los clientes a Industrias, Fraccionamientos y Unidades - Habitacionales, efectúan las ampliaciones necesarias en las redes subterráneas existentes, de acuerdo con los proyectos elaborados por la Gerencia, tales como: nuevos alimentadores. equipado de subestaciones y bóvedas, etc., a fin de mejorar el suministro de energía eléctrica a los consumidores, ejecutando trabajos como: excavaciones, cableado, elaboración de empalmes, terminales, arreglos de cables de alta tensión y - baja tensión, reparación de cables dañados, acometidas a - - clientes, así como la utilización de los accesorios con que cuenta el Departamento para ejecutar los trabajos menciona-- dos.

B) T A L L E R :

Es la sección encargada de fabricar, instalar y adaptar equipos, herrajes y en general todos los accesorios necesarios pa ra el sistema de Distribución subterránea, sus funciones prin cipales son: La fabricación de buses, abiertos, cubiertos, ela boración de clemas, herrajes, zapatas y conectores.

Además realiza labores de mantenimiento dentro del mismo De partamento, así como también la fabricación y arreglo de los remolques usados en la sección de instalación .

Así también realiza labores como son: la instalación en los - lugares de utilización: de transformadores, protectores de red, interruptores, buses, etc.

C) OPERACION:

Es la sección que tiene asignada la labor de operación, del - equipo instalado, efectuando maniobras de interruptores, ca- jas de cuatro vías y de seis vías, buses, etc., con el objeto de descargar cables, transformadores y transferir carga de uno a otro alimentador ó transformador, localización de fallas en cables de baja tensión, control y modificación de planos de - alta y baja tensión, atención de quejas reportadas por el -- coordinador de quejas y operador de cables Ciudad, colocación de nuevas nomenclaturas, recepción y puesta en servicio de - zonas residenciales e industrias, fraccionamientos, Unidades Habitacionales, etc., mantenimiento y operación de plantas de emergencia, limpieza, desinfección y desague de pozos de vi- sita y bóvedas, maniobras para el equipo contra incendio, etc.

D) MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La necesidad (debido al aumento del sistema subterráneo duran- te los últimos cuatro años) de una revisión a los programas de trabajo y sobre todo darle mayor importancia al mantenimiento preventivo, se creó en el Departamento de Cables Subterráneos

la sección de Mantenimiento Preventivo, formada por personal de las tres secciones anteriormente descritas.

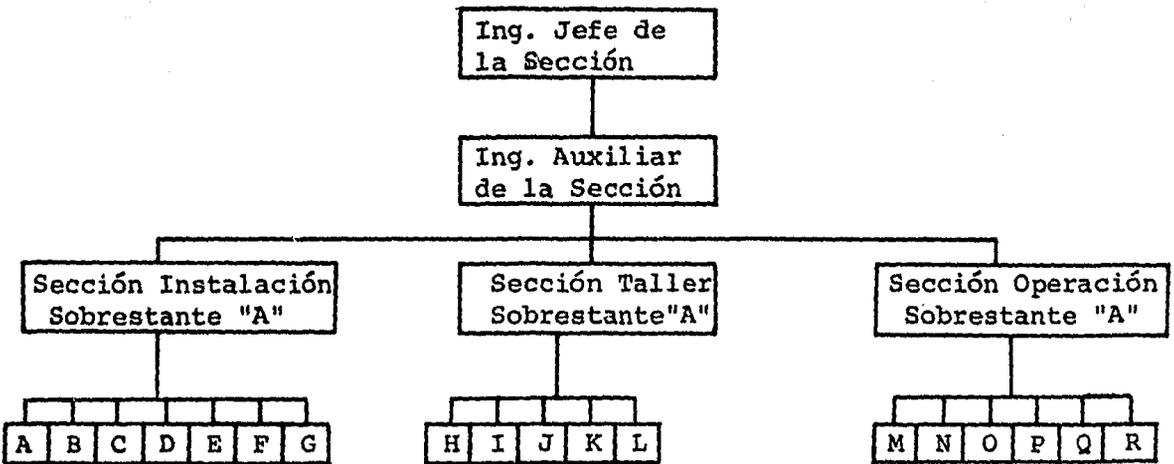
Dicho personal ejecuta los siguientes trabajos; aseo de bóvedas y Subestaciones, revisión general de equipos y elaboración de diagramas, pruebas de continuidad en los cables de baja tensión en redes automáticas, muestreo y rigidez dieléctrica, hermeticidad, cambios de 6 vías por buses CS 6-800, levantamiento y revisión general en la ruta de los cables de alta tensión en los pozos de visita de las redes automáticas, radiales y subestaciones de enlace, levantamiento y mantenimiento general a las cajas de cuatro vías CS-4-500 (x) y P 4- 400 (Z) - pintura, nomenclatura, corrección de anomalías (taller, operación e instalación).

Ahora bien, el mantenimiento preventivo comprende una gran variedad de actividades que deben ejecutarse periódicamente en el sistema de distribución subterránea, para lo cual es necesario establecer un programa, así como un estricto control, - cuya finalidad es conservar en las mejores condiciones de funcionamiento y seguridad los equipos, cables e instalaciones del mismo.

Actualmente la sección de mantenimiento preventivo está integrada por el siguiente personal, en cada uno de los Sectores:

- 1) UN INGENIERO (C-20A)
- 2) UN INGENIERO AUXILIAR (C-20B)
- 3) UN SOBRESTANTE DE INSTALACION
- 4) UN SOBRESTANTE DE TALLER
- 5) UN SOBRESTANTE DE OPERACION
- 6) SIETE CUADRILLAS DE INSTALACION
- 7) SEIS CUADRILLAS DE OPERACION.
- 8) CINCO CUADRILLAS DE TALLER

Los cuales se distribuyen según el siguiente organigrama:



A B C : Cuadrillas de levantamiento, revisión General en la ruta de los cables de alta tensión en los pozos de visita.

DEFG: Cuadrillas de cambio de cajas de 6 vías por buses CS

H I J : Cuadrillas de revisión general de equipo y arreglos -  
diversos.

K L : Cuadrillas de muestreo, rigidez dieléctrica, cambio -  
de aceite y hermeticidad.

M N O : Cuadrillas de aseo de bóvedas y subestaciones.

P : Cuadrillas de mantenimiento general a cajas de 4 vías.

Q : Cuadrillas de pintura y nomenclatura a cables y equipos.

R : Cuadrilla de pruebas de continuidad a cables de baja ten-  
sión de redes automáticas.

Ahora bien, las funciones que desempeñan cada uno de ellos son  
las siguientes:

a) INGENIERO.-Es el Jefe del Grupo, es el encargado de coor-  
dinar, planear, supervisar, desarrollar y aplicar sistemas y  
programas de trabajo, administrar y es responsable de todo  
lo que ocurra en éste grupo.

b) INGENIERO AUXILIAR.- Es el encargado de Supervisar y lle-  
var el control de las actividades y los diferentes avances -  
del programa, así mismo se encarga de cooperar en el buen de-  
sempeño de las funciones del Ingeniero Jefe del Grupo así co-  
mo de coordinarlas.

C, D, E) SOBRESTANTES. - La labor de éstas personas es la de enlace entre el ingeniero y los trabajadores de las cuadrillas: son los encargados del control y supervisión del personal, dan las ordenes del mismo y ayudan técnica y administrativamente con el Ingeniero, así mismo desarrollan en ciertos momentos decisión en ausencia del mismo y control y buen funcionamiento de las unidades asignadas al grupo, etc., etc.

F, G, H) OBROS. - La función de éstos es la de ejecutar los trabajos inherentes a cada una de las secciones, colaborando con el sobrestante dando sugerencias y haciendo observaciones para mejorar el problema de trabajo y por consecuencia obtener un índice de seguridad para el personal que tiene acceso al sistema de distribución subterránea.

Ahora bien, actualmente se tienen las cuadrillas de personal, distribuidas en tal forma que ejecutan diversos trabajos todos dentro de un programa a seguir, que resumiendo abarca los siguientes trabajos:

- CUADRILLAS DE INSTALACION:

Tres cuadrillas que se encargan del levantamiento, revisión general en la ruta de los cables de alta tensión en los pozos de visita.

El personal encargado de éstos trabajos deberá abarcar los siguientes aspectos:

A) Revisión General del pozo de visita a revisar (tapa, marco, agarraderas, filtraciones de agua, localización del pozo de visita).

B) Revisión Mecánica.- El cual abarca aspectos como son: -- Soportación correcta de los cables.

Cuatro cuadrillas que se encargan del cambio de cajas de vías por buses 056-800. Desde el punto de vista de continuidad del servicio y la necesidad de operar algunos equipos con potencial ha dado como consecuencia después de largos estudios a la creación de un dispositivo de baja tensión el cual sustituye a las cajas de distribución que anteriormente se usaban.

Este bus de distribución es el tipo sumergible y se instala en bóvedas y subestaciones obteniéndose las siguientes ventajas:

a) Mayor seguridad al operar, ya que hay buses monofásicos separados entre sí por una distancia adecuada.

b) Se elimina la posibilidad de fallas causadas por humedad, corto circuito, calentamiento por sobrecarga, etc.

c) Son objeto de menor mantenimiento, ya que no se les hace prueba de hermeticidad, son más sencillos en su construcción.

d) El costo de instalación se reduce aproximadamente en un 40%

De acuerdo a estas consideraciones se determinó retirar las -  
cajas de 6 vías reemplazándolas por éstos buses.

-CUADRILLAS DE TALLER-

Tres cuadrillas de revisión general del equipo y arreglos diversos. Los trabajos inherentes a éste personal se resumen al -  
efectuar una revisión minuciosa de los locales donde se encuentran las instalaciones subterráneas y de las partes que la integran.

Reportar las anomalías y condiciones inseguras, para que el -  
personal de la sección correspondiente efectúe las correcciones necesarias previa programación y finalmente la elaboración de diagramas físicos de bóvedas, subestaciones y pozos de visita.

Dos cuadrillas encargadas del muestreo, rigidez dieléctrica, cambio de aceite y hermeticidad.

Dicho personal se encarga de vigilar y probar el aceite periódicamente, debido a que éste absorbe fácilmente la humedad del medio ambiente, la cual lo contamina, y hace bajar su resistencia dieléctrica, volviéndolo peligroso para la operación del equipo. Mediante una muestra de aceite y haciéndole la prueba en caso de dar un valor pequeño se programa un cambio de aceite en los equipos que lo necesiten, ya sean transformadores, interruptores, porta-fusibles, cajas 23-3-500 y 23-4,500.

La hermeticidad en los equipos subterráneos ( interruptores, transformadores, etc.) es un aspecto de gran importancia, --pués éstos equipos están expuestos a trabajar sumergidos en agua y por lo tanto es necesario violarla periódicamente, ya que cuando existe una fuga, el aceite se contamina con el agua disminuyendo su rigidez dieléctrica, creandose peligrosas condiciones al operarse estos equipos).

El personal encargado de hacer estas pruebas deberá colocar una etiqueta en el equipo, conteniendo nombre, firma y fecha de la prueba.

#### - CUADRILLAS DE OPERACION-

Tres cuadrillas que se encargan del aseo de las bóvedas y subestaciones. Dicho trabajo consiste en limpieza y aseo total

de éstas, lubricación de candados, rejillas, birlas, tuer--  
cas, tapones de purga. Observación de rejillas, escalera, sig  
tema de tierras, cables, interruptores, transformadores, ca-  
jas 6 vías, correderas, ménsulas, porcelanas y nomenclaturas.

Una cuadrilla encargada del mantenimiento general de las ca-  
jas de 4 vías.

Las cajas de 4 vías denominadas también tipo esquina (x) y -  
tipo pedestal (z) deben revisarse periódicamente y darles un  
mantenimiento general que consiste en limpieza y revisión in-  
terior, correcciones, nomenclatura, etc.

Una cuadrilla para pintado y de nomenclatura de cables y equi  
po.

Con esto se logra evitar la corrosión al mismo tiempo que se  
tiene una mejor presentación.

La función principal es en cuanto a identificación al efec--  
tuar las órdenes indicadas en la ejecución de maniobras, como  
para su localización, interpretación y diferenciación.

Una cuadrilla para pruebas de continuidad a cables de baja -  
tensión a redes automáticas.

Dicho personal tiene asignado hacer dichas pruebas , con el fin de localizar los cables trozados por falla, debido a coto circuito, así como efectuar su reparación para evitar fallas mayores en las instalaciones de las redes automáticas e interrupciones en los servicios, así como la localización de amarres por colocación equivocada de nomenclatura.

#### 4) MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO

El mantenimiento preventivo debe cumplir como principal función la de conservar viva la operación ininterrumpida del equipo, de que éste trabaje lo más cerca posible de las condiciones originales de eficiencia y seguridad.

El mantenimiento preventivo propuesto debe contar con una considerable cantidad de información básica, la cual debe de estar a la mano y constantemente al día, con el fin de que constituya una guía de acción dada la complejidad del equipo de uso.

Con el fin de obtener dicha información, es necesario archivar toda clase de datos con respecto al equipo instalado, sus especificaciones y dibujos, por las mismas razones.

- a) - COMO ANTECEDENTES.
- b) - CON FINES DE CONTROL.
- c) - PARA ANALIZAR EFICAZMENTE LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION DEL EQUIPO.
- d) - CON EL FIN DE QUE PROPORCIONEN PATRONES Y GUIAS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE CORRECCION DE FALLAS
- e) - PARA SABER SI EXISTE O NO INFORMACION PREVENTIVA

Ahora bien, toda ésta información debe llevarse por medio de dos categorías básicas de trabajo.

- a) - POR MEDIO DE TARJETAS
- b) - POR ORDENES DE TRABAJO.

La función de las tarjetas es la de establecer las necesidades de mantenimiento del equipo y se muestra en dónde son necesarias las mejoras para evitar los daños de las faltas periódicas.

La función de las tarjetas es la atención al equipo, que indican las necesidades de mantenimiento del mismo, las antecedentes relativas a reparaciones anteriores.

Las órdenes de trabajo de mantenimiento cumplen la función - que una vez realizadas habrán de proporcionar información, la cual será pasada a las tarjetas.

Todo esto es el principio para aplicar el mantenimiento que se propone, implica una gran cantidad de oficina, pero sin embargo es de suma importancia ya que sin éste sería imposible que los trabajadores pudieran ser utilizados eficientemente al igual que el equipo y que éste mantuviera una vida prolongada y por lo tanto se frustran los efectos de las fallas - antes que se hicieran necesarias las reparaciones costosas.

Con la ayuda de éstas tarjetas, se podrá tener a la mano información sobre ciertas fallas que se repiten por la misma causa y con el tiempo conducirán a revisiones y mejoras - -

en la práctica de éste mantenimiento.

Sin embargo se puede afirmar, que la aplicación de éste mantenimiento debe de basarse sobre:

a) LA INVESTIGACION DE LAS FALLAS:

Se refiere en cuanto a saber si sufrió fallas con anterioridad tal o cual equipo, su frecuencia, la gravedad de la misma y las pérdidas ocasionadas.

b) ANALISIS DE LAS CAUSAS:

Es decir las condiciones por lo que se presentó la falla, como pueden ser mala hermeticidad, mala rigidez dieléctrica, - contaminación, corrosión, trabajo defectuoso, falta de limpieza, mala supervisión, falta de calidad, negligencia, etc.

c) CONDICIONES ADVERSAS:

Trata sobre las dificultades que se presentan tanto de trabajo como del medio relacionado con la falla.

d) CONDICIONES DE OPERACION DEL EQUIPO

Ya sea en condiciones normales ó anormales.

e) TIEMPO DE SERVICIO (Antigüedad del equipo)

f) LAS SUPOSICIONES PRUDENTES

Cimentadas en lo anterior acerca de los problemas que pueden ocurrir si no se toma la sección adecuada para corregirlas.

Una vez visto lo anterior, se deduce que, el procedimiento - por el cual habremos de auxiliarnos es la elaboración del programa de mantenimiento preventivo es el de elaboración de -- tarjetas y órdenes de trabajo al personal.

Este tipo de procedimiento es muy sencillo pues como se dijo antes es un proceso administrativo de recopilaciones, planeación, programación y control, así como de ejecución por medio de personal asignado especialmente para éstos trabajos.

Para la realización de éste programa de mantenimiento preventivo se tendrán tres etapas.

- I) RECOPIACION
- II) PLANEACION
- III) EJECUCION Y CONTROL

Ahora bien, la primera etapa está constituida por los siguientes pasos:

- A) DETERMINACION Y CLASIFICACION DE INSTALACIONES EXISTENTES.
- B) ARCHIVO DE DATOS.

Para la segunda etapa se tendrá:

- A) ACTIVIDADES A REALIZAR
- B) SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES
- C) REALIZACION DEL PROGRAMA.

Y finalmente en la tercera etapa se tendrá:

- A) ORDENES DE TRABAJO

B) DISTRIBUCION DE ORDENES

C) REPORTE Y ANALISIS DE AVANCES.

D) HOJAS DE CONTROL.

V.-6 " METODO DE TRABAJO DE EQUIPO  
ENERGIZADO Y DESENERGIZADO"

METODOS EN EQUIPO ENERGIZADO O TRABAJO DE LINEA VIVA

En la búsqueda de efectuar labores de mantenimiento ó ampliación de los sistemas de distribución, sin interrumpir el servicio de energía eléctrica a los usuarios, se ha tratado de encontrar un número mayor de técnicas para el trabajo con equipo energizado.

Actualmente se utilizan las siguientes técnicas de trabajo en los sistemas de distribución de alta tensión:

- A) Técnica de bastones
- B) Técnica de la mano enguantada

A) TECNICA DE BASTONES

Esta técnica se encuentra caracterizada por el uso de bastones de material aislante, en cuyos extremos se adaptan diversas herramientas para efectuar casi todo tipo de trabajos en línea viva; el liniero opera las herramientas desde un extremo del bastón mientras él se conserva alejado de los elementos energizados, manteniéndose a una distancia segura, de acuerdo al voltaje de la línea.

La técnica, además de juegos completos de bastones para cada tipo de trabajo, requiere de aditamentos especiales de sujeción, de apoyo y de guía, para efectuar los movimientos

axiales y giratorios, así como de cubiertas aislantes de protección, que se colocan con bastones con el fin de limitar los movimientos durante la maniobra, haciéndola más segura al evitar, que por error o por accidente se pongan en contacto directo los elementos con diferente potencial; también se requieren diversas herramientas auxiliares complementarias como plataformas ó trampolines, escaleras, garruchas, cuerdas, etc. , para proveer la colocación del liniero y la fuerza necesaria para las maniobras que lo requieren.

A pesar de ser una técnica efectiva y segura tiene el inconveniente de ser muy laboriosa y tardada por la gran diversidad de bastones, aditamentos y herramientas necesarias para cada maniobra.

Existen dos métodos prácticos para poder efectuar la sustitución de aisladores, crucetas, alfileres, puentes, etc., instalados en el extremo superior de los postes. Estos métodos son los siguientes:

1) METODO POR LEVANTAMIENTO

Este método necesita una cruceta auxiliar en forma de T ayuda da por bastones elevadores que en conjunto levantarán las tres líneas de una vez hasta una altura suficiente para dar al liniero un espacio seguro para trabajar.

## 2) METODO LATERAL

Este método consiste esencialmente en transferir dos de los conductores a una cruceta, que ha sido previamente instalada, a un lado del poste y llevar el tercer conductor hasta el lado opuesto por medio de bastones.

Este método se recomienda cuando la tensión de la línea o el espacio vertical disponible hace impracticable el método anteriormente señalado.

Después de haber alejado al conductor por cualquiera de los dos métodos descritos, es solo cuestión de rutina, cambiar hasta el poste si fuera necesario.

### B) Técnica de la mano enquantada

En éste método se necesita un vehículo tipo elevador con un brazo aislado en cuyo extremo lleva suspendidas una o dos canastillas aislantes para que los linieros se acomoden, rueden, trabajen y protejan; el brazo aislado es accionado hidráulicamente para transportar al personal hasta el área de trabajo - en donde se mantiene aislado del potencial a tierra. Para que el liniero pueda manejar directamente los elementos energizados siempre que estén al mismo potencial del voltaje nominal del equipo de trabajo, se le proporcionará unos guantes ais-

. . .

lantes de alta tensión, así como mangas aislantes para alta tensión y cubiertas aislantes también de protección para limitar los movimientos durante la maniobra haciéndolas más seguras, evitándose así el peligro de tocar dos fases simultáneamente.

## 2) MÉTODOS EN EQUIPO DESENERGIZADO

El trabajar en equipo desenergizado requiere de una completa programación, con el objeto de evitar interrupciones prolongadas de energía eléctrica a los usuarios. Para lograr ésto se recomienda tomar la carga de la zona afectada, mediante otros alimentadores y transformadores; en caso de no ser posible, se interrumpirá el servicio al menor número de usuarios por corto tiempo y con previo aviso. La dotación de plantas de emergencia se hace, cuando la interrupción a un servicio importante, no se ha podido evitar. (Ejemplo: Hospitales, Oficinas - Gubernamentales, Bancos, etc.)

Este tipo de trabajo intenta aumentar el grado de seguridad del personal, cuando se trabaja en condiciones anormales, tales como; lluvia, obscuridad, etc., requiriendo para su ejecución una serie de operaciones de seguridad, que evitan al máximo, que por error o negligencia sean energizados mientras se encuentre personal trabajando en ellos.

Las condiciones para trabajar en equipo sin potencial se resumen en:

- a) Maniobras de descarga del equipo, que se dará licencia en alta y baja tensión.
- b) Libramiento del equipo.
- c) Aceptación o entrega de licencia.
- d) Verificación de ausencia de potencial.
- e) Conexión de tierras.
- f) Limitación del área de trabajo.

A continuación mostraremos una secuencia de mantenimiento para un tramo de línea o poste de alta tensión, así como la secuencia de mantenimiento que se sigue en los sistemas subterráneos.

A) Mantenimiento a un tramo de línea o poste de alta tensión (Fig. ) .

Suponiendo que tuvieramos una falla en el punto B de la figura para poderle dar un mantenimiento seguiríamos la siguiente secuencia:

- 1) Tramitar la licencia con el operador del sistema.

2) Tomar cargas de la línea no afectada por la licencia, con el objeto de no interrumpir el servicio a los usuarios, mediante el uso de líneas emergentes o secundarias, abriendo o cerrando interruptores.

3) Abrir el interruptor aéreo del poste "a" asegurándose de que los útiles estén en buen estado, de no tocar con las manos desnudas ninguna parte metálica del poste, y de verificar visualmente la apertura efectiva de las tres cuchillas. El interruptor se bloqueará poniéndole candado debiendo colocarse el letrero de "Prohibido operar" en el mismo.

Los guantes aislantes, la escalera, el tapete o taburete, el casco, el cinturón y la bandola de seguridad serán los útiles de seguridad que se necesitarán para ésta operación.

4) Abrir el interruptor aéreo del poste c, tomando en cuenta el mismo procedimiento llevado en la operación tres.

5) Verificar la ausencia de tensión en el poste o del lado del poste B, verificando antes y después del uso del detector que la lámpara del mismo se --

ilumine. Además deberá verificarse que ninguna falla aparezca en el aspecto exterior de la pértiga (bastón) y que no esté ni húmeda ni sucia. En el curso de ésta operación, no deberá tocarse ningún conductor con alguna parte del cuerpo, y se deberá verificar la ausencia de tensión en las tres fases. Se deberán de utilizar como útiles de seguridad; el detector, la escalera, los guantes, el casco, el cinturón y la bandola de seguridad.

6) Poner a tierra y en corto circuito la línea del lado poste "b" en el poste "c". Para ésto, deberá uno asegurarse que todas las piezas de contacto -- así como los conductores del dispositivo de puesta a tierra, esten en buen estado. Las tierras se -- pondrán lo más cerca posible del lugar de trabajo y a cada lado del mismo. La barra de tierra deberá clavarse en el suelo y se le deberá conectar el cable del dispositivo. En el caso de que el poste tenga su tierra propia; se podrá conectar a la misma. Se deberán fijar las pinzas sobre cada conductor de línea, utilizando la pertiga, los guantes y el casco, empezando por el conductor que se encuentra más cerca del trabajador no debiendo éste tocar los conductores de los dispositivos de tierra.

. . .

Las tierras deben permanecer hasta que el trabajo se haya terminado. El dispositivo de puesta a tierra, los guantes, el casco, el cinturón y la bandola de seguridad son los útiles de seguridad usados en esta operación.

7) Verificar la ausencia de tensión en el poste "A" lado poste "b", operando y tomando las precauciones en la misma manera que se hizo en la operación cinco, con los mismos útiles de seguridad.

8) Poner tierra y en corto circuito, línea lado poste "b" en el poste "a", ejecutando la operación y tomando las precauciones tal como se hizo en la operación seis, utilizando los mismos útiles de seguridad.

9) Señalar la zona de trabajo, colocando banderolas o letreros de manera visible, reforzándolos en caso de ser necesario con barrera o pantallas, que tendrán como fin, hacer materialmente imposible el acercamiento a instalaciones vecinas que están bajo tensión, quedando la zona de trabajo perfectamente aislada y protegida.

. . .

10) Proceder a la ejecución de la orden de trabajo en el poste "b".

11) Verificar que ninguna persona o herramienta se quede en el lugar de trabajo. Quitar el dispositivo de puesta a tierra y en corto circuito del poste "a" y "c", tomando las mismas precauciones que al poner los dispositivos de seguridad. Quitar los letreros y barreras que limitan la zona de trabajo. Cerrar los interruptores aéreos, postes "a" y "c", con libramiento de la línea alimentadora. Redistribuir la carga en alta y baja tensión.

#### B) Mantenimiento en sistemas subterráneos.

En los sistemas subterráneos se realizan operaciones de libranza en troncales, derivaciones, equipo ó en la baja tensión de la manera siguiente:

a) Maniobras en una troncal de un alimentador de un sistema de red.

- Desconectar el interruptor "A" en la subestación.

- Abrir las cuchillas de salida del interruptor "A" comprobando

do en caso de tratarse de un sistema automático, que no tenga potencial de regreso al alimentador. Esto último se hará verificando que todos los protectores de la red correspondientes al alimentador abrieron. En caso de que ésto no suceda - se localizarán y abrirán a mano.

- Abrir el interruptor "B", conectándolo a tierra y colocando tierra de seguridad en ambos lados del lugar de trabajo, con lo cual, a pesar de una mala operación, no habrá peligro para el personal que trabaje sobre el troncal. Esta operación la realizará el personal de campo.

- Proceder a ejecutar la orden de trabajo.

- Una vez terminado el trabajo, se procederá a desconectar las tierras, a cerrar el interruptor "B", así como el interruptor "A" con sus respectivas cuchillas y protecciones en caso de existir.

b) Maniobra en un ramal o derivación:

- Abrir los interruptores "C" y "D", conectándolos a tierra e instalando tierras de seguridad.

- Ejecutar la orden de trabajo

- Proceder a desconectar las tierras, cerrar los interruptores "C" y "D"

## c) Maniobras en transformadores

## c.1) Para sistemas de red automática:

- Abrir protector por baja tensión, y retirar fusibles del lado del mismo.

- Abrir el desconectador de alta tensión en caso de existir; si no existe se libra el ramal al que está conectado el transformador.

- Proceder a ejecutar la orden de trabajo.

- Cerrar el desconectador de alta tensión y conectar el ramal, antes librado, al transformador. Colocar los fusibles y el protector de baja tensión.

## c.2) Para sistemas radiales:

- Descargar el transformador por baja tensión, mediante maniobras en las cajas de distribución.

- Abrir los fusibles de baja tensión del transformador.

- Desconectar los porta-fusibles del lado de alta tensión del transformador.

- Librar el ramal al que está conectado el transformador e instalar tierras de seguridad.

- Proceder a ejecutar la orden de trabajo.

- Quitar las tierras y conectar el ramal de nuevo al transformador. Conectar los porta-fusibles en alta tensión y cerrar los fusibles de baja tensión del transformador.

d) Maniobras de baja tensión:

d.1) Para sistemas de red automática:

La licencia para trabajar sin potencial en este tipo de sistemas solo se dá en casos excepcionales, siendo normal, que se trabaje con potencial, debido a la importancia de los servicios que alimenta.

d.2) Para sistemas radiales:

En estos sistemas los servicios a los que generalmente se alimenta tienen menor importancia, siendo lo único necesario para darse licencia a un cable de baja tensión radial el quitar los fusibles en los buses, y en su caso abrir las conexiones respectivas en las cajas de distribución.

3) MEDIDAS DE SEGURIDAD EN TRABAJOS DE LINEA VIVA

- 1.- Estas reglas de seguridad para trabajar en línea viva, - deben ser perfectamente conocidas, comprendidas y observadas por el personal respectivo.
- 2.- Los trabajos de línea viva deberán ejecutarse únicamente por el personal debidamente calificado y capacitado.

- 3.- Se debe planear y organizar las maniobras cuidadosamente; paso a paso.
- 4.- Se debe limpiar e inspeccionar el equipo que se vaya a usar, comprobando que esté en buen estado, así como los útiles y herramientas de línea viva, y de verificar su reparación y prueba.
- 5.- Únicamente personas especializadas y debidamente autorizadas, deberán efectuar la reparación y prueba del equipo, útiles y herramientas de línea viva.
- 6.- No modificar, ni permitir que se modifiquen los equipos, útiles y herramientas de línea viva.
- 7.- No usar, ni permitir que otros usen los equipos útiles y herramientas de línea viva para trabajos diferentes a los que están destinados, ni permitir el uso de herramientas improvisadas.
- 8.- Efectuar la prueba de inflado y revisión de los guantes y revisar las mangas comprobando de que esten en buen estado.
- 9.- Delimitar el área de trabajo y poner las señales de protección que se requieran.

- 10.- Identificar el equipo en que se va a trabajar y pedir la licencia correspondiente al encargado del sistema.
  - 11.- Conectar a tierra el vehículo de su equipo de canastillas.
  - 12.- Guiarse por las instrucciones de operación de las palancas y baje y apoye los gatos estabilizadores en piso firme antes de elevar el brazo de las canastillas.
  - 13.-Efectuar la prueba de corriente del brazo del aislador o del vehículo a tierra, según el tipo de canastillas de que se trate y verificar que la corriente medida no exceda de los límites de seguridad establecidos en cada caso.
  - 14.- Durante la ejecución del trabajo, ningún liniero deberá cambiar de posición, ni de maniobra, ni hacer conexiones si no está de acuerdo con el otro liniero.
  - 15.- Deberá usarse los protectores necesarios para evitar acercamientos o contactos accidentales, no debiendo confiarse del aislamiento de éstos por ningún motivo.
  - 16.- Las maniobras deberán efectuarse despacio, con precaución y gradualmente, evitando movimientos bruscos y hablándose entre los linieros continuamente manteniendo la comunicación de avance del trabajo.
- . . .

- 17.- No deberán ejecutarse trabajos si existen condiciones que no den seguridad al liniero, tales como, lluvia, neblina, tolvaneras, vientos fuertes y poca visibilidad.
- 18.- No abrir ni cerrar puentes o líneas energizadas hasta confirmar que éstas no conducen corriente.
- 19.- El encargado de la cuadrilla deberá concretarse a dirigir, controlar y vigilar los trabajos para que se desarrollen en forma segura.
- 20.- Si el integrante de una cuadrilla muestra señales evidentes de enfermedad irritación o nerviosismo, no deberá ser asignado para trabajar en línea viva.
- 21.- En caso de emergencia, como arqueo, flameo, etc., el liniero deberá estar preparado para actuar con serenidad.
- 22.- No deberán sobrecargarse las canastillas, ni usar parte de ellas como punto de apoyo para palanquear o elevar cargas.
- 23.- No permitir que se juegue, ni que se distraiga o haga bromas ningún elemento del personal, durante las actividades en trabajos con circuitos energizados.
- 24.- No permitir el trabajo sin guantes aislantes de A.T. en el método de la mano enguantada en sistemas de 23 y 6 KV.

- 25.- No permitir el uso de sogas de mano desde las canastillas, ni permitir que las sogas especiales descansen sobre los conductores.
- 26.- El liniero deberá asegurar su bandola en la argolla especial del brazo y conservará ambos pies siempre en el fondo de la canastilla.
- 27.- No deberá usarse el cuerpo como puente. No deberá tocarse directamente con las manos enguantadas más de una sola fase a la vez. No deberá tocarse ningún herraje, poste, retenida, ni objetos cercanos ( árboles, anuncios, etc.) mientras se esté trabajando en un conductor energizado.
- 28.- El liniero deberá limitarse a trabajar únicamente a un solo lado de cualquier conexión ó puente a otros conductores, aisladores, cuchillas, portafusibles, interruptores, seccionadores, pararrayos y otros equipos o elementos de la línea.

## 5) FABRICACION Y CUIDADO DE LAS HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LINEAS VIVAS

---

### I.- GENERALIDADES:

La necesidad de realizar trabajos de mantenimiento usando herramientas para líneas vivas, ha ido aumentando constantemente debido a la natural expansión de las líneas de transmisión, al aumento de voltaje en las de distribución, que no permiten trabajarlas con equipos comunes de protección y a la necesidad cada vez más imperiosa de mantener la continuidad del servicio eléctrico.

Con esto también ha aumentado la demanda de las herramientas adecuadas. Tres requisitos a cual más importantes deberán ser satisfechos, y de hecho lo son en la práctica por los fabricantes de herramientas de alta calidad para estos trabajos, estos son: excelentes cualidades aislantes, resistencia mecánica máxima y peso mínimo.

A causa de la misma naturaleza de los trabajos en líneas vivas, las herramientas son fabricadas bajo las condiciones más severas y probadas individualmente para determinar sus valores muy especialmente los tres que quedaron señalados en el párrafo anterior.

Así mismo las herramientas deben ser adecuadamente cuidadas y conservadas para garantizar un máximo de seguridad, tanto bajo el punto de vista de resistencia mecánica, como de aislamiento eléctrico.

La selección y tratamiento de los materiales usados en la manufactura de estas herramientas, son considerablemente mucho más cuidadosos que los usados en la fabricación de las herramientas de mano ordinarias, usadas comunmente por los linieros.

En la fabricación de estas herramientas la precisión y el acabado son de importancia secundaria.

Los requisitos primordiales que indican la calidad de las mencionadas herramientas son: 1) Resistencia mecánica, 2) Aislamiento, 3) Facilidad para manipularlas, y 4) adaptabilidad a los distintos tipos de construcción de líneas. La calidad se concentra en la clase de materiales usados.

#### B) PARTES METALICAS

En la fabricación de las partes metálicas de estas herramientas, se presta atención considerable al control de calidad, - con objeto de preservar al máximo las propiedades físicas del material básico usado.

. . .

También un control muy estricto es mantenido sobre las temperaturas que se emplean en los Departamentos de Fundición y forjado, las partes metálicas de las herramientas y bastones rara vez son terminados a máquina por el solo objeto de mejorar su apariencia.

Algunas aleaciones a base de aluminio, usadas extensamente durante la segunda guerra mundial en la construcción de aereo planos han probado ser ideales para emplearse en la manufactura de herramientas para trabajar líneas vivas a causa de su poco peso y resistencia adecuada, aunque el uso de estas aleaciones requieren construir las piezas ligeramente más voluminosas, éstas son siempre considerablemente más ligeras.

Las piezas más importantes, una vez salidas de la fundición, son sometidas a una inspección muy completa con la ayuda de los rayos X,

Ningún nuevo tipo de herramientas es lanzado al mercado ó -- puesto en uso sin antes haber pasado por un período de pruebas, efectuado por especialistas.

En las plataformas, silletas y plumas aisladas para instalar transformadores, se efectuan pruebas mecánicas con cien por ciento de sus cargas de trabajo.

## II.- CUIDADO Y CONSERVACION DE ESTAS HERRAMIENTAS

No obstante lo cuidadoso del procedimiento empleado en la fabricación de las herramientas para trabajos de líneas vivas, debe tenerse mucho cuidado en la protección de éstas, con objeto de mantenerlas siempre en condiciones de ser usadas en todo momento. El cuidado que se tenga con estas herramientas produce mayor seguridad y confianza en los linieros que las emplean.

Uno de los cuidados más importantes es mantener secas las herramientas, que nunca deben ponerse sobre el suelo; pueden apoyarse sobre una cerca ó camión, dentro del remolque en que se transportan ó si es necesario apoyarlas en el suelo, esto se hará sobre una zona seca ( véanse Figs. )

Las herramientas deben ser conservadas en lugar especial, cerrado, y sometido a ligera temperatura que las preserve de la humedad; también deben ser mantenidas libres de contaminación con el polvo. Durante el trabajo, antes de ser entregado un bastón a un liniero, debe ser limpiado con un paño para quitarle el polvo u otras impurezas que pudieran tener y tan pronto un bastón sufra el más leve deterioro, arañazo, etc., deberá ser retirado del servicio y restaurado convenientemente.

En los casos en que los bastones tengan que ser tratados por -

completo con nuevas aplicaciones de barniz, deben ser usados antes con un papel de lija muy fino (6/0) y después ser sometidos al procedimiento de secado antes de ser barnizados, pues las capas de barniz lo mismo pueden servir para que la humedad no penetre en la madera que para impedir que ésta salga de la misma.

Cuando se transportan las herramientas de un lugar a otro, deben protegerse con fundas de lona para evitar daños a la superficie de los bastones, o deben ir montados en perchas, en camiones o remolques.

Estas perchas deben estar bien acolchadas. Los remolques que se usan para el transporte de estas herramientas deben estar equipados con alguna fuente de calor controlado; que permita usarlos como secadores cuando las herramientas se guarden entre dos trabajos.

Se recomienda revisar cada herramienta para comprobar si ha sido sometida a algún esfuerzo excesivo; ésta clase de daños se manifiestan por partes dobladas o rajadas, remaches y tornillos doblados, señales de que los casquillos han sido removidos de sus posiciones originales y por partes o miembros de madera claramente dañados, también revisar las partes metáli-

. . .

cas de las herramientas para verificar que no haya exceso de uso u otro daño visible.

Por lo tanto si hubiera alguna duda con respecto a las condiciones de una herramienta o cualquier parte de ella, ésta debe ser minuciosamente probada antes de usarse.

Nunca debe usarse ni permitirse que se use una herramienta - que esté claramente dañada. Es posible reparar un bastón roto, pero el procedimiento es muy preciso y requiere una habilidad considerable para restaurarlo. Por eso en casi todos los casos, es más seguro y económico comprar una nueva herramienta .

#### II-a.- REPARACION DE PARTES METALICAS ROTAS

Soldar partes metálicas rotas no es recomendable ya que el metal adyacente a la soldadura es afectado o bién el proceso original de fabricación se destruye. Tal herramienta resultaría peligrosa usarla y debe o bien ser desechada ó reacondicionada por partes metálicas nuevas.

#### II-b.- LIMITACIONES EN EL USO DE LAS HERRAMIENTAS

Muchas herramientas se rompen debido a uso inadecuado. Es importante, por tanto, que los linieros usen cada herramienta - según la manera aprobada y solamente para ejecutar el trabajo

para el cual fueron diseñadas especialmente. Todo equipo debe ser perfectamente comprendido antes de ser puesto en servicio. Esto se refiere tanto a las cargas mecánicas como al método adecuado de usarlo.

Los linieros deben conocer el peso aproximado del conductor y las tensiones de la línea en la cual están trabajando.

Debe ejercerse con mucho cuidado cuando se "carga" una herramienta hasta el punto en que se dobla apreciablemente. Es fácil doblar la herramienta un poco más cada vez que se usa, hasta que de repente, sin aviso, se parte. Por consiguiente; el dobléz ó curvatura, debe mantenerse a un mínimo.

Cuando se tenga duda sobre la carga que se puede aplicar con seguridad sobre una herramienta, se usará una mayor ó dos iguales a aquella que ofrece la duda.

Las abrazaderas simples o con anillos giratorios que se colocan en los bastones con el propósito de instalarles las garruchas, deben colocarse tan al extremo de los bastones como sea seguro y práctico. La distancia máxima en todos los casos es de 75 a 90 cm. (30" a 36") al extremo; mientras más corta sea esta distancia, mayor es la resistencia y menor la posibilidad de que se rompan los bastones. Para cargas exepcio-

nalmente pesadas se instalará en el conductor una pértiga de enlace con garrucha, con el fin de ayudar a cargar a los otros bastones que se están empleando.

No sería práctico ni seguro intentar ejecutar todo el trabajo de mantenimiento con líneas de transmisión ó líneas de distribución de alto voltaje con herramientas para líneas vivas.

### III.- HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Herramientas para trabajos en líneas vivas

- 1) BASTONES DE SOPORTES (.WIRE TONGS)
- 2) SILLETAS (BURROS)
- 3) PERTIGAS PARA AMARRES
  - a) TIJERAS LARGAS PARA CORTAR AMARRES.
  - b) TIJERAS CORTAS PARA CORTAR AMARRES.
  - c) PERTIGA CON HOJA GIRATORIA
  - d) PERTIGA CON TRES GANCHOS FIJOS.
  - e) PERTIGA CON DOS GANCHOS FIJOS.
  - f) PERTIGA CON HOJA FIJA.
  - g) PERTIGA CON GANCHO GIRATORIO.
  - h) COMBINACION DE HOJA FIJA Y GANCHO GIRATORIO.
  - i) COMBINACION DE HOJA Y GANCHO GIRATORIOS
  - j) COMBINACION DE DOS GANCHOS Y HOJA FIJA.

- 4) PERTIGAS DE ENLACE (LINK STICKS)
  - a) PERTIGA DE ENLACE TIPO TENSION.
  - b) PERTIGA DE ENLACE CON RODILLO.
  - c) PERTIGA DE ENLACE TIPO SUSPENSION.
- 5) CRUCETAS AUXILIARES.
- 6) SILLETAS ELEVADORAS (CABALLO) (LEVER LIFTS)
- 7) SOPORTES CORREDIZOS (SLIDE SUPPORT)
- 8) TENSORES PARA CONDUCTORES (CUM-A-LONG CLAMPS)
- 9) GRUAS PARA POSTE O PLUMAS (GIN POLES)
  - a) PLUMA AISLADA (INSULATED GIN POLE)
  - b) PLUMA PARA TRANSFORMADORES (TRANSFORMER GIN)
  - c) PLUMA GIRATORIA (ROTATING GIN)
  - d) PLUMA PARA EXTREMO DE POSTE (POLE TOP GIN)
- 10) TENSOR AISLADO (RURAL STRAIN CARRIER)
- 11) TENSOR DE BASTIDOR DE DOS POSTES ( TWO-POLE STRAIN CARRIER).
  - a) GRAPA DE REMATE TIPO COMPRESION
  - b) GRAPA DE REMATE DE AJUSTE POR TORNILLOS  
(BOLTED TYPE).
  - c) GRAPA DE REMATE TIPO CARACOL (SNUBBING TYPE)
- 12) TENSORES DE REMATE PARA CADENA DOBLE DE AISLADORES.
- 13) TENSOR PARA CADENA TRIPLE DE AISLADORES.

- 14) GRAPAS PARA AISLADORES DE ALFILER
- 15) CHAVETAS
- 16) TIJERAS AISLADAS
- 17) EMPALME DE CONDUCTORES
- 18) PERTIGAS DE ENGANCHE (PISTOLAS)
- 19) TENAZAS PARA COMPRIMIR EL CONDUCTOR.
- 20) PUENTE (JUMPER)
- 21) HERRAMIENTAS PARA APLICAR BLINDAJES
- 22) YUGO O SOPORTE DE ALUMINIO
- 23) PERTIGAS DE ENGANCHE (PISTOLAS)
- 24) PERTIGAS CON GANCHO
- 25) PERTIGAS DESCONECTADORAS
- 26) SOPORTE PARA TORNILLOS
- 27) PERTIGA UNIVERSAL

IV.- TRABAJOS ESPECIALES DE LINEA VIVA

1) EQUIPO USADO PARA CAMBIOS DE POSTES Y AISLADORES EN LINEAS MONOFASICAS.

- a) BASTONES ELEVADORES.
- b) BASTONES LATERALES.
- c) SILLETAS (BURROS) PARA LOS BASTONES.
- d) TIJERAS AISLADAS.
- e) ALGUNA OTRA PEQUEÑA HERRAMIENTA TIPO UNIVERSAL.
- f) PROTECTOR DE POSTE (SI ESTE SE CAMBIA)
- g) BASTON GRAPA.

MANIOBRAS POSIBLES:

- 1.a ) CAMBIO DE AISLADORES POR EL METODO DE LEVANTAMIENTO
- 1.aa) REMOCION DEL CONDUCTOR NEUTRO.
- 1.aaa) ASEGURESE UNA SOGA DE MANO (HAND LINE) AL POSTE POR ENCIMA Y A CORTA DISTANCIA DEL SOPORTE DEL NEUTRO Y AMARRE UN EXTREMO DE LA SOGA A ESTE CONDUCTOR.
- 1.aab) RETIRE EL CONDUCTOR NEUTRO DE SU SOPORTE, SUJETANDO EL OTRO EXTREMO DE LA SOGA DESDE TIERRA.
- 1.aac) EL CONDUCTOR NEUTRO PUEDE SER, SEGUN CONVenga, RETIRADO HACIA UN LADO O BAJADO DEL POSTE Y AMARRADO - CON UNA SOGA. EN TODO MOMENTO EL NEUTRO DEBE SER MANTENIDO FUERA DEL ALCANCE DEL PERSONAL TRABAJAN-

DO Y DEL EQUIPO EN OPERACION O CUBIERTO CON PROTECTORES ADECUADOS.

- 1.ab) INSTALACION DE LAS SILLETAS
- 1.aba) INSTALE EN EL POSTE UNA SILLETA.
- 1.abb) INSTALE EN EL POSTE UNA SEGUNDA SILLETA CON ABRAZADERA.
- 1.abc) RETIRE Y VAYA CORTANDO EL AMARRE POR SU LADO DE TRABAJO.
- 1.a c) INSTALACION DEL BASTON ELEVADOR:
- 1.aca) SELECCIONE UN BASTON ELEVADOR DE 6.35 cm. (2 1/2") DE DIAMETRO.
- 1.acb) COLOCAR UNA GARRUCHA ENTRE LA ARGOLLA DE LA PARTE INFERIOR DEL BASTON Y LA ESQUINA DE LA SILLETA INFERIOR (Veáse fig. )
- 1.ad) DESAMARRANDO EL CONDUCTOR:
- 1.ae) ELEVAR EL CONDUCTOR
- 1.af) CAMBIO DEL AISLADOR O ALFILER
- 1.ag) FIJAR EL CONDUCTOR
- 1.b) CAMBIO DEL AISLADOR POR EL METODO LATERAL:
- 1.ba) RETIRO DEL CONDUCTOR NEUTRO.
- 1.bb) INSTALACION DE LAS SILLETAS.
- 1.bc) INSTALACION DEL BASTON LATERAL.
- 1.bd) DESAMARRAR EL CONDUCTOR.
- 1.be) MOVER EL CONDUCTOR.

- 1.bf) CAMBIO DEL AISLADOR O ALFILER
- 1.bg) FIJAR EL CONDUCTOR
- 1.c) CAMBIO DE POSTES
- 1.ca) COMIENZE POR ABRIR HOYO ADECUADO JUNTO AL POSTE QUE SE DESEA SUSTITUIR.
- 1.cb) INSTALE UN PROTECTOR EN EL NUEVO POSTE PARA EVITAR QUE HAGA CONTACTO CON LA LINEA.
- 1.cc) COLOQUE EL POSTE DENTRO DEL HOYO Y CALCELO CONVENIENTEMENTE.
- 1.cd) RETIRE EL PROTECTOR DEL POSTE.
- 1.ce) INSTALE LOS BASTONES ELEVADOR Y LATERAL Y LAS SILLETAS EN EL NUEVO POSTE Y MUEVA EL CONDUCTOR PARA DISPONER DE MAYOR ESPACIO DE TRABAJO.
- 1.cf) RETIRE EL POSTE DAÑADO QUE HA QUEDADO LIBRE DE CONDUCTORES ( Fig. )
- 1.cg) INSTALE EL NUEVO ALFILER Y AISLADOR CON LOS AMARRES PUESTOS EN EL AISLADOR.
- 1.ch) TRANSFIERA EL CONDUCTOR AL AISLADOR DEL NUEVO POSTE.
- 1.ci) LLEVE EL NEUTRO A SU LUGAR EN EL POSTE Y RETIRE TODAS LAS HERRAMIENTAS QUE QUEDEN EN EL POSTE.

2) EQUIPO USADO PARA CAMBIO DE AISLADORES, CRUCETAS O POSTES EN LINEAS TRIFASICAS.

**EQUIPO USADO:**

- a) Bastones elevadores.
- b) Bastones Laterales
- c) Silletas (burros)
- d) Tijeras aisladas
- e) Alguna otra pequeña herramienta tipo universal.

**MANIOBRAS POSIBLES:**

Existen dos sistemas para el cambio de aisladores ó crucetas - en líneas trifásicas. Uno es el conocido por el "Método de levantamiento" y el otro como "Método lateral", este último método consiste esencialmente en transferir dos de los conductores a una cruceta auxiliar que ha sido previamente instalada a un lado del poste y llevar el tercer conductor hacia el lado opuesto por medio de los bastones. Cuando el "método por levantamiento" es empleado, se usa la cruceta auxiliar en forma "T" ayudada por bastones elevadores. Con este sistema, las tres líneas son elevadas de una vez hasta disponer de mayor espacio - para trabajar. Este método es el preferido cuando se trata - del tipo de instalación que se ilustra en las Figs.

También puede emplearse con buenos resultados, cuando - los tres aisladores de una línea están instalados en la misma cruceta.

**3) CAMBIO DE POSTES, CRUCETAS Y AISLADORES O ANGULOS**

CONSTRUCCION "B" LINEAS TRIFASICAS HASTA 69 KV

EQUIPO USADO

- a) Bastones elevadores
- b) Bastones laterales
- c) Silletas (burros ó caballos)
- d) Pértigas para amarres
- e) Garruchas
- f) Sogas de mano
- g) Herramientas misceláneas del tipo universal.

MANIOBRAS POSIBLES

- 3.a) Remoción del conductor neutro.
- 3.b) Instalación de bastones elevadores.
- 3.c) Instalación de bastones laterales y pértigas de enlace.
- 3.d) Mover el conductor anterior.
- 3.e) Mover el conductor del centro.
- 3.f) Mover el conductor de la parte exterior del ángulo.
- 3.g) Reemplazar aisladores o crucetas.
- 3.h) Cambio de Postes.
- 3.i) Fijación de los conductores.

### I) CANASTILLAS O JIRAFAS

Las canastillas son vehículos que se han acondicionado para -- efectuar trabajos de línea viva.

Para poder abordar este equipo, el Liniero deberá hacerlo cuando ambos se encuentren al potencial de tierra y en el momento en el que se pueda transportar al liniero con sus herramientas, desde ésta posición al área de trabajo en donde lo mantendrá debidamente aislado de potencial de tierra ó de otro elemento que esté a diferente potencial. El vehículo deberá estar conectado a tierra, con el objeto de evitar que el personal de piso reciba descargas eléctricas al tocar el cuerpo del vehículo. Esta medida de seguridad es con el objeto de conducir las corrientes de carga y de fuga del equipo hacia tierra. Se debe tomar en consideración de que con estas medidas no se protege contra algún contacto accidental - entre el brazo metálico y los conductores energizados por lo que deberán colocarse barreras adecuadas para protección del personal de piso y del equipo de instalaciones. Si el brazo se encuentra en movimiento, el personal no deberá tocar al vehículo, - así como tampoco subir ni bajar de él, hasta que se inmovilice y se encuentre alejado una distancia adecuada de los conductores.

. . .

C O N S T R U C C I O N

Las canastillas son fabricadas con un material llamado epoxiolas, reforzado con fibra de vidrio utilizando una técnica especial, que permite obtener brazos aisladores tubulares, libres de burbujas de aire. Estos brazos son sometidos a pruebas en las que se les aplica un gradiente de 328 Kv/m (100Kv /pie) por largos períodos sin que se llegue a presentar alguna falla en sus propiedades eléctricas.

En este material se ha fijado en 66 Kv/m(20KV/pie) la capacidad nominal KV y en 200 Kv/m (60 Kv/ft ) para elevaciones de corriente momentáneos. Establece la norma de prueba -- 230 Kv/m (70 Kv/pie) durante 1 min. en el que no debe presentar se flameo o daño.

## II) GUANTES Y MANGAS DE PROTECCION

El liniero podrá ser capaz de manejar con sus manos enguantadas cualquier conductor energizado, y protegerá sus manos -- cuando éstas queden cerca o toquen por accidente; 2 elementos a diferente potencial; con las mangas de protección, el liniero quedará protegido en la zona comprendida entre los codos y los hombros obteniendo una mayor libertad de movimientos.

- El almacenamiento de este equipo deberá hacerse en lugares frescos y secos, evitando la luz directa de sol, rayos ultravioleta y la presencia de arena, así como la humedad y los lugares calientes.
- Al colocarse el equipo deberá cuidarse ante cualquier posible deformación o doblamiento, y se deberán evitar rozamientos, así como la colocación de otros objetos sobre el mismo.
- Se deberá transportar en bolsas especiales de lona, con el objeto de preservarlos de cualquier daño originado por alguna causa externa, protegiéndolos de otros objetos contra golpes, cortaduras, pinchazos y rozaduras.

### PRUEBAS PARA CONTROLAR UN BUEN ESTADO

#### 1.- Prueba de Inflamamiento en el campo

Esta prueba consiste en inflar los guantes con la finalidad de extender el material para hacer más visibles los

defectos, facilitando la detección de cortaduras, perforaciones y rozaduras. Para esto se unen los bordes de la bocamanga del guante y luego se enrollan con la ayuda de ambas manos sin permitir que se escape el aire interior hasta que tenga la compresión suficiente para que pueda efectuarse la revisión.

## 2.- Prueba de inflamamiento con aire a presión.

En esta prueba se inflan los guantes con una máquina especial que utiliza aire comprimido a la presión de 0.7 a 10.5 Kg/cm.<sup>2</sup>

## 3.- Prueba de voltaje

Los guantes que se usan para trabajos con el metal de laminado en general son de la clase 3 cuyo voltaje de prueba = 10,000 V aplicados durante 3 minutos, debiendo resistir además 30,000 V sin sufrir ninguna perforación. Esta prueba debe comenzar aplicándose desde un valor bajo, elevándose gradualmente a razón de 1000 V/seg. de manera uniforme hasta alcanzar el voltaje especificado o hasta que llegara a ocurrir una falla. El tiempo de prueba de 3 minutos se empezará a contar desde el momento en el que se queda aplicado el voltaje especificado. Al terminar el período de pruebas se reduce el voltaje por lo menos a la mitad de su valor antes de abrir el circuito.

#### 4.- Prueba de Corriente de Fuga

Esta prueba se realiza conectando en serie un miliamperímetro adecuado en el circuito de cada guante, no debiendo exceder la corriente de fuga de los valores especificados en las normas.

### III.- PROTECTORES AISLANTES

Estos protectores se usan con la finalidad de aislar las partes energizadas de las instalaciones excepto en el punto de trabajo, construyéndose una especie de barrera para no permitir el peligro de que se acercaran o llegaran a juntar dos elementos con diferente potencial y así evitar - arcos o descargas, corto circuito ó accidentes.

El material que se utiliza frecuentemente en los protectores es el polietileno.

#### IV.- BASTONES DE LÍNEA VIVA O PERTIGAS

Estos bastones no son más que varillas o varas aislantes de madera o plástico que poseen en sus extremos las herramientas usadas para trabajar a distancia sobre los conductores ó elementos energizados de la líneas de alta tensión ya sean de distribución o de transmisión. Su uso se recomienda en aquéllos casos en los que resulta expuesto trabajar directamente con la mano enguantada tanto por la proximidad de otros elementos a diferente potencial como por la dificultad de efectuarlo manualmente.

Su construcción está hecha con epoxiglas y deberá resistir - sin experimentar daños 230 KV/m durante un minuto.

Además deberán resistir un voltaje nominal=66 KV/m en forma permanente y de una manera indefinida sin sufrir flameos o deterioros.

Este tipo de bastones es invulnerable a la humedad pudiendo llover sobre ellos, bastando unicamente con limpiarlos y aplicarles silicones líquidos para quedar en condiciones de trabajo normal. Sin embargo para mayor seguridad es preferible guardar y transportar las herramientas en lugares secos.

Los bastones nunca deberán presentar torceduras, pandeos o -

hinchamientos y deberán ser imputrecibles.

Estos bastones deberán resistir la acción de los contaminantes químicos presentes en la atmósfera, sin dañarle y nunca; deberán poseer burbujas de aire que reduzcan su resistencia mecánica o provoquen fallas eléctricas.

Con el fin de reducir el esfuerzo del liniero, los bastones deberán ser ligeros, de color naranja con el objeto de aumentar la visibilidad.

Este equipo deberá también protegerse contra rozamientos o golpes con otras herramientas u objetos en general, colocandolos firmemente asegurados en soportes acolchonados.

Debe tenerse en cuenta que los bastones unicamente deberán - utilizarse para el trabajo que fueron diseñados y una vez después de ser usados, deben limpiarse nuevamente y si existe humedad, secarse y almacenarse verticalmente y en lugares secos, preferentemente tibios.

Las pequeñas rupturas deberán repararse quitando las fibras dañadas, limpiando el área con acetona, después de lo cual deberá aplicarse cemento de epoxiglas y ya cuando el parche ha endurecido, se puede aplicar el abrillantador de epoxiglas. Si los daños son mayores deberá evitarse que los bastones se encuentren deformados,

. . .

rotos, doblados o con pernos flojos y el aislamiento no deberá tener aisladuras profundas, roturas o ampolladuras ni huellas de flameo o manchas persistentes.

Si se encuentran en el área de trabajo, los bastones no deberán colocarse sobre el piso, sino que esto deberá hacerse sobre lonas secas o sobre perchas protegidas con hule o material blando acolchonado.

#### V.-7 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN CABLES SUBTERRANEOS

a) Resguardo de pozos, bóvedas y otras áreas de trabajo.

1.- Antes de quitar las tapas o rejillas de los pozos, o antes de iniciar cualquier otro trabajo, deberán instalarse barreras, barricadas, barandales, dispositivos de prevención, colocándolos de manera de proteger al público y a los trabajadores. Estos dispositivos deberán ser retirados hasta que las tapas o rejillas se reinstalen.

2.- Si es necesario, deberá permanecer un trabajador en la superficie y cerca de la entrada del pozo.

3.- Nunca se deberá dejar una bóveda abierta o pozo de visitas sin el resguardo adecuado.

4.- Si es posible, se colocarán los camiones y equipo, entre el área de trabajo y el lado que se prevenga el tránsito,

de tal forma que se presente la mínima interferencia al mismo, y que proporcionen una defensa al personal en el área del trabajo.

- 5.- Las excavaciones se deben ademar si la condición de la tierra es tal que haya algún riesgo de que se hundan los taludes.
- 6.- Los ademes o travesaños no se usarán para salir o entrar, mientras se lleven a cabo labores de excavación en trincheras, zanjas o túneles, debiendo usarse para esto las escaleras.
- 7.- La tierra que se remueva de las instalaciones deberá apilarse cuando menos a 60 cm. de la orilla de la excavación y preferentemente del lado en que venga el tránsito.
- 8.- Entrada a pozos de visita ó bóvedas.
  - 8.1 Para levantar o reinstalar las tapas de los pozos de visita o de las bóvedas, se usarán ganchos, garruchas u otros dispositivos mecánicos adecuados, nunca las manos solas.
  - 8.2 Ningún trabajador deberá entrar en un pozo ó bóveda sin efectuar antes una verificación adecuada.

- 8.3 Si se tiene la duda de que en un pozo de visita existan líquidos, gases o sustancias inflamables, deberá hacerse una prueba adecuada antes de que entre alguien en él.
- 8.4 Donde hay evidencia de gases inflamables o venenosos, el pozo de visita o bóveda deberá purgarse antes de que entre el personal, forzando una corriente de aire fresco en él. Conforme avance el trabajo se harán pruebas periódicas para saber si se está acumulando gas. Si se acumula, la ventilación debe ser continua. La toma del equipo de ventilación, debe colocarse de manera que no recoja y recircule los gases venenosos o inflamables al propio pozo o bóveda.
- 8.5 Los trabajadores que permanezcan en el pozo de visita -- deberán comprobar frecuentemente que el trabajador que está dentro se encuentra bien. Deberán estar atentos a otros riesgos exteriores que se aproximen tales como, - camiones de bomberos, ambulancias, etc.
- 8.6 Los sopladores o equipo de ventilación deberán asegurarse antes de arrancar el motor.
- 8.7 Si en una emergencia resulta necesario que entre un trabajador en un pozo o bóveda, donde haya presencia de gas, deberá usarse el equipo de respiración que sea necesario. Si hay insuficiencia de oxígeno deberá usarse un dispositivo con suministro de aire. En todo caso se usará un -

cinturón de seguridad al que debe fijarse una línea o so  
ga, salvavidas, y ésta línea deberá ser atendida por otro  
trabajador situado cerca de la abertura del pozo o bóveda.

8.8 Se usará una escalera portatil o fija para entrar o salir  
del pozo o bóveda. Los trabajadores no usarán los cables  
o bastidores como escalones, para salir o entrar de los  
pozos o bóvedas.

8.9 Antes de entrar a trabajar en un pozo o bóveda deberá --  
hacerse una inspección cuidadosa en búsqueda de condicio-  
nes inseguras, tales como grietas, u otros defectos visi  
bles en el techo, piso, ductos, paredes y cárcamos, y --  
evidencias de grietas en las cubiertas de los cables o  
de fuga en éstos o en las juntas. Deben respetarse tam  
bién las etiquetas o señales de previsión. Cualquier -  
condición insegura encontrada deberá reportarse a la au  
toridad competente.

8.10 Límpiense las bóvedas o los pozos de visita de todas las  
obstrucciones antes de comenzar a bajar los transforma-  
dores u otro equipo. No se permitirá que el personal  
trabaje bajo cargas suspendidas

8.11 Antes de que bajen o saquen material o herramientas en  
o cerca de un pozo o bóveda, debe notificarsele a la -

persona que se encuentra adentro.

8.12 Los cables no deben someterse a esfuerzos externos de ninguna naturaleza, ni tampoco deberán sentarse o caminar sobre los cables.

8.13 Si se usa un martillo de aire para romper concreto o cualquier otro material de un ducto en el que haya conductores, deberá usarse una cubierta metálica alrededor del cable que actúe como dispositivo de protección.

#### 9.- Identificación de cables.

9.1 No debe iniciarse ningún trabajo en ningún cable, hasta que se haya identificado. Si existe alguna duda respecto a ello, no deberá iniciarse el trabajo hasta tener la seguridad de que se confirme.

9.2 Después de hacer la identificación del cable, sin potencial, debe conectarse sólidamente en ambos lados del lugar del trabajo al punto de tierra más cercano de que se disponga.

#### b) Trabajos en cables energizados

10.1 Los cables y aparatos que llevan corrientes a voltajes superiores de 500 volts, deben desenergizarse antes de

iniciar el trabajo en el conductor o antes de cortar los cables o de empalmarlos.

10.2 Antes de hacer un trabajo en un cable energizado, todos los otros cables y el equipo conectado a tierra con el que se puede establecer contacto, deberán cubrirse con mantas de hule o con cubiertas aislantes adecuadas mientras dure el trabajo. Los cables que cuenten con pantallas no metálicas y los que tengan una cubierta aislante sobre la pantalla metálica, no necesitan cubrirse.

10.3 Debido a las características propias de los sistemas de redes de baja tensión, los trabajadores deberán tomar precauciones extraordinarias en el uso del equipo de protección observando los espaciamientos adecuados y usando la herramienta adecuada para prevenir los circuitos cortos.

10.4 Antes de cortar y retirar las cubiertas o mangas, y mientras se pruebe algún cable energizado, el personal deberá calzarse los guantes de hule con protectores de cuero y pararse sobre tapetes de hule o plataformas aisladas.

10.5 Después de remover una sección de la cubierta de plomo o manga en un cable energizado, el plomo a cada lado deberá cubrirse con cinta u otro dispositivo aislante a

una distancia suficiente para proteger al trabajador del potencial a tierra.

10.6 Cuando se corte un cable energizado con conductores - - múltiples, se colocará una pieza de madera o de fibra - entre el conductor que se esté cortando y los conductores y el corte se hará directamente sobre la cubierta.

10.7 Inmediatamente después de que cada conductor de un cable múltiple energizado se corte, sus extremos se aislarán antes de proceder a cortar otro conductor. Durante el curso del trabajo solamente un conductor no aislado se expondrá al mismo tiempo.

c) Trabajos en cables no energizados.

11.1 Cuando los cables y aparatos no se pongan fuera de servicio con objeto de trabajar en ellos, deberá seguirse - el procedimiento indicado en la parte relativa a las "licencias".

11.2 Antes de abrir o de remover una parte de la cubierta o manga de un cable, éste deberá ponerse a tierra en el - punto de tierra más cercano disponible a cada lado del lugar de trabajo.

- 11.3 Cuando se tenga que cortar un cable de Alta Tensión, se debe remover completamente una sección corta del aislante alrededor del cable y hacer pruebas con dos estaticoscopios u otros dispositivos de prueba, con objeto de determinar si el cable está energizado o no. Si el cable no está energizado el trabajador proseguirá con el trabajo.
- 11.4 Cuando se abra una junta o empalme, en un cable de alta tensión, la manga de la junta se cortará alrededor completamente y cerca de las costuras soldadas y, después se cortará a lo largo para remover la junta. No debe intentarse cortar o retirar el compuesto. El trabajador probará enseguida sobre cada conductor con dos estaticoscopios u otros dispositivos de prueba. Si no se tienen las indicaciones de que el cable está vivo, puede retirarse el compuesto. En caso de que se encuentre la cinta de la pantalla, ésta deberá retirarse y hacerse otra prueba sobre cada conductor con dos estaticoscopios u otros dispositivos de prueba. Si no se tuvieran indicaciones de cable vivo, se cortará a través de la junta hasta que la cegueta toque uno de los conductores. Antes de aserrar más adelante deberá hacerse una prueba de estaticoscopia sobre la hoja de la cegueta.
- 11.5 Cuando se haga un corte o se abran las juntas de un cable de baja tensión, deberá seguirse el mismo procedimiento

to delineado en el párrafo anterior, excepto en la prueba. Para determinar si el conductor está energizado, el aislamiento deberá cortarse y retirarse del conductor y hacer la prueba con el detector adecuado. En los cables de conductores múltiples, deberá cortarse únicamente un conductor a la vez y las pruebas se harán cuando menos sobre dos conductores antes de proseguir con el trabajo.

d) Jalar cables

12.1 El personal no deberá manejar cables o líneas para jalar en la cercanía de bloques, rodetes, tambores de los malacates o carretes de cable.

12.2 No deberán empujarse a través de los ductos los alambres que se vayan a usar para jalar las líneas de acero para jalar los bastones metálicos cuando esté presente equipo energizado a menos de que un trabajador se encuentre al otro extremo de la corrida.

12.3 Cuando las operaciones de jalar representen grandes esfuerzos, no deberá permanecer el personal en un pozó o bóveda, a menos que pueda situarse en posición suficientemente alejada del jalón de la línea.

e) Mover cables energizados.

13.1 No deberán moverse bajo ninguna circunstancia los cables

que operen arriba de 15,000 Volts.

13.2 Los cables hasta de 15,000 volts, podrán moverse a discreción siempre que no se doblen, o que los dobleces - existentes no se modifiquen, siempre en presencia de una persona calificada.

13.3 Los cables que no tengan cubierta de plomo y que operen a menos de 500 volts, pueden moverse lo que sea necesario, después de que se haya determinado con una inspec--ción cuidadosa que la cubierta protectora está en buenas condiciones y que no se dañará con el movimiento .

13.4 Todos los cables energizados arriba de 500 volts, deberán manejarse con guantes de hule.

f) Estufas y sopletes.

14.1 No se permitirá que se llenen las estufas o sopletes de gasolina o de propano cerca de un pozo que se encuentra abierto. Los vapores pueden acumularse en ellos y dar - origen a condiciones explosivas o de incendio.

14.2 Las estufas o sopletes no deberán llenarse cerca de flamas expuestas.

14.3 No se permitirá fumar cerca de una estufa o soplete que

se esté llenando de combustible.

14.4 No deberá soltarse el aire a presión de una estufa o soplete hasta que la flama se hubiere apagado y que se enfríen las partes calientes lo suficiente para que no se origine un incendio.

14.5 Deberá soltarse el aire de las estufas o sopletes antes de que se guarden en camiones, remolques o edificios.

14.6 No deberán encenderse estufas o sopletes en el interior de tiendas, camiones, pozos de visita o bóvedas.

14.7 Las estufas encendidas deberán protegerse mediante pantallas contra el viento y no colocarse en el interior de los camiones.

14.8 Donde sea posible, las estufas deberán colocarse en el lado de la entrada al pozo o bóveda, que queda expuesto al lado donde procede el tránsito.

14.9 No deben dejarse encendidas y sin atención las estufas o sopletes.

14.10 No deberán usarse estufas o sopletes encendidos en el interior de pozos o bóvedas a menos de que se esté seguro que el área está libre de líquidos inflamables o de gases explosivos.

14.11 Si es necesario colocar las estufas en un terreno inclinado, deberán situarse en el lado bajo de la entrada al pozo o bóveda.

g) Soldaduras y compuestos.

15.1 La soldadura y los cucharones deberán secarse y calentarse con todo cuidado antes de meterlos en los crisoles en los que haya soldadura fundida.

15.2 Las mangas y las cintas metálicas deberán secarse y calentarse con todo cuidado antes de que se les aplique la soldadura o el compuesto.

15.3 Deberán calentarse los lados de las ollas o recipientes con el fin de no ocasionar una explosión.

15.4 No se bajará o subirá soldadura o compuesto caliente, - hasta que se haya prevenida a todos los trabajadores que están en el pozo o bóveda, y que el trabajador que esté arriba, reciba instrucciones de abajo de que se puede proceder.

15.5 La soldadura deberá siempre bajarse al pozo o bóveda - mediante el asa del crisol. Nunca se bajará la soldadura caliente en un cucharón.

15.6 Los crisoles de soldadura o compuesto caliente que no se encuentren en uso, deberán colocarse sobre dispositivos - protectores.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- APLICACION DE SUBESTACIONES EN SF6 EN EL AREA METROPOLITANA EN LA CIUDAD DE MEXICO.  
Cia. de Luz y Fuerza del Centro, S.A.  
ING. Joaquín Del Castillo Padilla  
IEEE SECCION MEXICO.  
MEXICON, 1980.
- 2.- BOLETIN DE INFORMACION ESTADISTICA.  
Comisión Federal de Electricidad.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. 1981.
- 3.-BOLETIN INFORMATIVO DEL IEE.  
Mayo - Junio de 1982. Vol. 6.
- 4.- CABLES SUBTERRANEOS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.  
Alberto Sosa Díaz. Tesis Profesional. UNAM. 1970.
- 5.- CALCULO DE CAPACITORES.  
Comisión Federal de Electricidad. Depto. de Ingeniería y Distribución.
- 6.- CAPACITORES DE POTENCIA.  
BALMEC, S.A. Naucalpan de Juarez, Edo. de México.

7.- CONTROL DE FACTOR DE POTENCIA.

Balmec, S.A. Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

8.- DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE CAPACIDAD REACTIVA  
EN EL SISTEMA.

Cía. de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Noviembre de 1966.

9.- DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING: PAST AND PRESENT.

Turangonen y C. Thomson. University of Oklahoma.

Norman, Oklahoma.

Sección México del IEEE. MEXICON, 1979.

10.- ENTREVISTAS CON PERSONAL DE C.F.E. Y CIA. DE LUZ Y FUERZA  
DEL CENTRO, S.A.

11.- ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION.

ZOPETTI. Ed. Gustavo Gilly.

12.- ESTUDIO DE SOBRETENSIONES TRANSITORIAS EN SISTEMAS  
ELECTRICOS Y COORDINACION DE AISLAMIENTO..

Zopetti. Vol II.

13.- FUNDAMENTOS DE PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS POR  
RELEVADORES.

Ing. Gilberto Enríquez Harper. Ed. Limusa. México. 1981.

14.- INDICES DE DISPONIBILIDAD DE GENERACION DEL SISTEMA CENTRAL  
OBTENIDOS PARA 1980.

Salvador Frausto Reyna, Raymundo González G., Jorge Chapa de la T.  
Efraín Cabrera V.

Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Gerencia de  
Producción, Oficina de Estadística.

IEEE Sección México. MEXICON. 1981.

15.-INSTALACION DE CAPACITORES EN SUBESTACIONES.

Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Ing. Jorge León A.

16.- LINEAS DE TRANSMISION Y REDES DE DISTRIBUCION DE POTENCIA  
ELECTRICA.

Ing. Gilberto Enríquez Harper. Ed. Limusa. Vol. I y II.

17.- LOCALIZACION OPTIMA DE CAPACITORES EN DERIVACION.

Cía. de Luz y Fuerza del Centro, S.A.

Ing. J. V. Schnill.

18.- LOCALIZACION Y REPARACION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS  
DE 6 y 23 kv. EN EL SISTEMA CENTRAL DE Cía. de Luz.

Tesis Profesional de Mario Arturo Rico Tavera. I.P.N. 1980.

- 19.- MANTENIMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISION.  
Ing. Heriberto Hernández Salgado. Tesis Profesional. I.P.N. 1979.
- 20.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS REDES DE DISTRIBUCION  
SUBTERRANEA EN EL SISTEMA CENTRAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.  
Ing. Arturo Morales Olvera, Ing. Jorge Castillo Alcalá.
- 21.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LAS REDES ELECTRICAS DEL SISTEMA  
DE DISTRIBUCION SUBTERRANEA DEL D.F.  
Tesis Profesional. Maximiliano A. Morales. 1979.
- 22.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN CABLES SUBTERRANEOS.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.  
Ing. Jorge Castillo Alcalá. 1979.
- 23.- MANUAL DE DISEÑO DE SUBESTACIONES.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Gerencia de Planeación  
e Ingeniería. Tomos I y II. México. 1975.
- 24.- MANUALES DE LINEA VIVA.  
A. B. Chance Corporation.
- 25.- NORMAS DE CABLES SUBTERRANEOS.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.  
Ing. L. Dalmon.

- 26.- PRODUCCION DE POTENCIA REACTIVA EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Noviembre de 1966.
- 27.- PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES Y SOBREVOLTAJES EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCION.  
Jorge E. García. Tesis Profesional UNAM. 1963.
- 28.- PUBLICACION SEMANAL DE C.F.E.  
30 de Julio de 1982. No. 53.
- 29.- REDES ELECTRICAS EN REGIMEN PERMANENTE EQUILIBRADO.  
Ing. Jacinto Viqueira Landa. Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería. 1a. Parte. México. 1973.
- 30.- SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.  
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.  
Departamento de Relaciones Industriales. México. 1973.
- 31.- SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE MEXICO.  
Diego Rodríguez Francisco Javier. Tesis Profesional. UNAM. 1978.