

71
2 Gen



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

**Diseño de un Tablero de Pruebas
de un Sistema de Distribución**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n

Hernández Nava Valentín

López Duarte José Rafael

Paredes Montaña Celso

Rivera Rosado José Alberto

Robles Trujillo Benjamín Ramiro

Valdez Dantes Oscar Miguel

Valdez Rosas Efraín

Director Ing. Juan Vicente Le-Duc Rubio

México D. F.

1985



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 está 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.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I BREVE HISTORIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION EN LA CIUDAD DE MEXICO	4
CAPITULO II GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	
II.1 DEFINICION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	13
II.2 TOPOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION	16
II.3 SISTEMA DE DISTRIBUCION SUBTERRANEO RADIAL	24
II.4 SISTEMA MONOPASICO	31
II.5 SISTEMA TRIPASICO	32
II.6 ANALISIS ECONOMICO	33
CAPITULO III OPERACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	
III.1 DEFINICION	38
III.2 CLASIFICACION DE REDES DE DISTRIBUCION	40
III.3 REDES PRIMARIAS	52
III.4 REDES SECUNDARIAS	57
III.5 RED AUTOMATICA	60
III.6 REGULACION DE VOLTAJE EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION.	65
III.7 CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA	72

	Pág.
CAPITULO IV DISEÑO DEL TABLERO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	85
CAPITULO V PRUEBAS A EFECTUARSE EN EL TABLERO SIMULADOR	92
V.1 SECUENCIA DE FASE Y PRUEBAS EN PARALELO	96
V.2 CURVA DE DEMANDA	104
V.3 CAIDA DE VOLTAJE EN UNA LINEA DE DISTRIBUCION Y REGULACION DE VOLTAJE	113
V.4 FACTOR DE POTENCIA	125
V.5 SECCIONAMIENTO DE ZONAS PARA LOCALIZACION DE FALLAS	135
V.6 BALANCEO DE FASES	139
V.7 INTERCONEXION DE SISTEMAS Y DISTRIBUCION DE CARGA	148
V.8 SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA	154
V.9 FALLAS Y SU LOCALIZACION	166
COMENTARIOS	179
LISTA DE MATERIALES	181
DIAGRAMA TRIFILAR	183
CONCLUSIONES	184
BIBLIOGRAFIA	186

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

Los conocimientos prácticos acerca del diseño de Sistemas Eléctricos requieren de una serie de actividades de aprendizaje realizados dentro de las instalaciones adecuadas de un laboratorio, de ahí la importancia que el laboratorio tiene en la formación profesional.

En esta Carrera es necesario hoy en día que los Ingenieros que egresen de ésta Universidad tengan conocimientos teóricos y prácticos acordes con los requerimientos que les exigirá el ejercicio de su profesión.

En este tipo de instalaciones es donde se llevan a la práctica los conocimientos teóricos y técnicos asimilados durante los años de estudio.

Otro punto muy importante de los laboratorios es la familiarización de los equipos y aparatos de medición mediante la práctica, también se nos irá desarrollando nuestra capacidad para tener criterio propio de todas las acciones en las que tengamos que tomar decisiones en aquellos fenómenos que no cumplan estrictamente con lo ya establecido. Visto de otra manera los desarrollos prácticos son muchas veces diferentes a lo aprendido en la teoría.

Debido al constante crecimiento de los países en vías de desarrollo y el de los industrializados, es necesario contar con un sistema de distribución que permita satisfacer la demanda de energía eléctrica en forma tal que se garantice la continuidad en el suministro de ésta vital energía. Todos los -

sistemas de distribución de energía eléctrica están sujetos a fallas que pueden ser ocasionadas por el hombre ó por factores ajenos a él; las cuales para poder ejercer un control sobre ellas es importante conocer los tipos de fallas que se pueden presentar y sus posibles soluciones. Para ello el estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica debe contar con los conocimientos adecuados para poder hacer frente a los imprevistos a que se pueda ver involucrado.

Con el propósito de que el alumno cuente con un laboratorio para reforzar los conocimientos teóricos, presentamos este trabajo el cual pretende ser una guía práctica para la operación de un Sistema de Distribución y experimente con las pruebas del laboratorio ciertos tipos de problemas que se presentan en el ejercicio de la profesión. Esto permitirá conocer las fallas y como se pueden evitar y solucionar cuando se presenten.

Este manual de Sistemas de Distribución de Potencia Eléctrica hace notar por medio de experimentos adecuados la importancia en la comprensión del funcionamiento de los Sistemas de Distribución y los cambios de las cargas en las líneas de Distribución, las pruebas que deben realizarse, los tipos de Sistemas y sus posibles anomalías.

Para poder realizar las pruebas que se mencionan en este manual, es necesario diseñar un tablero simulador de pruebas que permitan llevar a cabo los experimentos que se indican.

En el diseño del tablero se emplean conductores, protecciones, aparatos de medición (voltmetros y ampérmetros), cuchillas y puentes.

A pesar del tamaño de este tablero, se puede simular cualquier sistema de distribución ya sea *para una casa* residencial, industrial ó comercial.

Este trabajo ha sido desarrollado en base al programa de sistemas eléctricos de potencia, se incluyen temas para hacer que su contenido esté acorde con el equipo que actualmente se dispone en el laboratorio; como lo es alimentación de 440/220 VOLTS.

Estamos conscientes de que este documento siempre será susceptible de mejorarse a través de las opiniones de los maestros y de los mismos alumnos que lleguen a utilizarlo, por lo tanto se agradecerán todas las opiniones que al respecto se nos transmitan, tanto para corregir los errores encontrados como para enriquecer su contenido.

Reiteramos nuestro agradecimiento al Ingeniero Juan Vicente Le-Duc Rubio por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo.

CAPITULO I

BREVE HISTORIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION

EN LA CIUDAD DE MEXICO.

La generación de Energía Eléctrica influye determinadamente en la vida económica y social de los pueblos a partir de las dos últimas décadas del siglo XIX.

En 1902 la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica, S.A., construyó en San Lázaro una planta de vapor con una capacidad de 3,000 KW. y esto marcó el inicio para la electrificación del país, así entonces para el año de 1924 Nc-caxa era la principal fuente de energía del país y por ende de la Ciudad de México, a la cual servía; siendo Nonoalco la subestación más importante de distribución. De aquí la energía salía hacia las subestaciones de Indianilla, Verónica, S. Lázaro, Churubusco, Mixcoac, La Nana y Xochimilco y se reducía la tensión de 20,000 V. y 40,000 V. a 3,000 V. para su distribución primaria.

El sistema de distribución aéreo fue el de mayor utilización aunque se tiene informes de que en el año de 1904 se electrificaron las colonias San Rafael y Santa María por medio de dos cables subterráneos. Hasta el año de 1926 se proporcionó servicio eléctrico por medio de alimentadores radiales cuya tensión era de 3 KV. y a partir de esa fecha se hicieron cambios de voltaje debido al crecimiento que en ese año alcanzó el Distrito Federal, siendo el nuevo valor de tensión 6 KV.

Entre 1927 y 1928 se pusieron en servicio dos alimentadores de 6 KV para la zona comercial de la Ciudad procedentes de la subestación Nonoalco, con nuevas bóvedas de transformadores y con otras existentes, que fueron recons--

truidas las cuales se desconectaron a su vez del sistema de 3 KV. En el año de 1928 quedó operando la red automática, con tercer cable de 6 KV. y con todas las subestaciones del antiguo sistema de 3 KV.

La red automática descrita, alimentaba el primer cuadro de la Ciudad y abarcaba un área de 0.8 Km. cuadrados con una capacidad total instalada de transformadores de 5,150 KVA. Otras características de esta red eran: cables primarios tres fases de 6,000 V. con una sección transversal de 120 mm cuadrados.

Dado que la Ciudad iba adquiriendo mayores dimensiones y requiriendo mayores servicios, se amplió la capacidad de la red instalando nuevos pozos subterráneos y aumentando el número de cables primarios de 3 a 4, alcanzando en 1937 una capacidad conectada de transformadores de 10,400 KVA. con una demanda en el pico de carga de 10,000 KVA. en un área aproximadamente igual a la original.

En el año de 1954 los sistemas que alimentaban a la Ciudad de México (Miguel Alemán, Necaxa y Plantas pequeñas) transmitían a 85 KV. y alimentaban a un anillo distribuidor que rodeaba a la Ciudad y tenía una longitud de 58 Km. estando constituido por dos circuitos de cobre que corrían sobre torres de acero ó sobre cuadros formados por postes de concreto y viguetas de acero. Cada circuito tenía una capacidad de 45,000 KVA.; la parte del anillo comprendida entre las subestaciones de Monoalco y Jamaica (aún en servicio) es sub

terránea y está constituido por tres conductores monofásicos.

En el año de 1955 se instalaron 10 nuevos alimentadores de 6 KV. dando un total de 127 alimentadores entre líneas de 6 KV. y 3 KV. (que aún existen) con un total de 592 Km. de alambre de cobre y 1,097 Km. de líneas de baja tensión, se instalaron 671 transformadores con una capacidad total de 49,700 KVA. y en algunas zonas se iniciaba el cambio de voltaje a 20 KV. Por lo que respecta a cables subterráneos se tendieron 70 Km. de conductores, siendo 5 Km. de conductores energizados y 20 Km. entre las subestaciones de Nonoalco e Indianilla.

En la década de 1955 la capacidad instalada se incrementó a más del doble llegando a 6'000,000 KW. en todo el país y durante este último año en el sistema de la Cía. de Luz se distribuyeron alrededor de 5,000 Millones de -- KW/H entre casi un Millón de Consumidores de los cuales el 90% correspondió -- al Distrito Federal y zonas circunvecinas y el resto a las Ciudades de Cuernavaca, Pachuca, Toluca y algunas zonas rurales. Las tensiones empleadas en -- esta época para los fines de distribución eran de 6 KV. y 20 KV. para tensión primaria y de 127 V. y 220 V. para tensión secundaria, estando aún todos los circuitos trifásicos operando a 50 Hz. utilizando red aérea y subterránea.

En años anteriores se instalaron conductores de cobre, los cuales han -- dejado de emplearse debido al alto costo de este material y se han reemplazado por aluminio.

En el año de 1972 se inició el cambio de frecuencia en el Distrito Federal y zonas aledañas; este proceso logró transferir cerca de 2,000 MEGAWATTS de 50 a 60 Hz. en un lapso de cuatro años siendo este un tiempo record, ya -- que se había programado llevar a cabo la operación en un total de 7 años en -- este proceso se atendieron 2.5 Millones de usuarios del servicio eléctrico y tuvo un costo total de 2,025 Millones de Pesos, cuya amortización se estimó -- alcanzar en menos de 7 años.

CAMBIO DE VOLTAJE

En la Ciudad de México se ha estado realizando el cambio de voltaje desde hace muchos años, faltando aún mucho equipo de cambiar a 23 KV. Este cambio de voltaje permite contar con mayor capacidad de conducción en las líneas, por ejemplo para prestar un servicio que requiere aproximadamente 75 KVA. en un alimentador de 6 KV. al ser instalado el transformador de 75 KVA. necesita ría:

$$I_p = \frac{75,000}{3 \times 6,000} \frac{VA}{V} = 7.21 \text{ AMP.}$$

Mientras que en un alimentador de 23 KV. tendríamos que suministrar al -- transformador:

$$I_p = \frac{75,000}{3 \times 23,000} \frac{VA}{V} = 1.88 \text{ AMP.}$$

Lo que nos muestra que podemos proporcionar más servicio con el mismo -- alimentador.

PRESENTE DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Es la distribución de la energía eléctrica una función costosa que consume aproximadamente el 40% de los recursos de inversión y gasto necesario para prestar un servicio eléctrico integral.

La conformación actual del sistema de distribución en la Ciudad de México es similar a la de cualquier otro y cuenta con los elementos siguientes:

Subestaciones de distribución, redes primarias, transformadores de distribución, redes secundarias, acometidas y medición del servicio proporcionado al usuario. Existe una normalización en todo el equipo empleado, la cual se respeta ampliamente pero en ocasiones se modifica ligeramente debido a las exigencias específicas de un trabajo determinado.

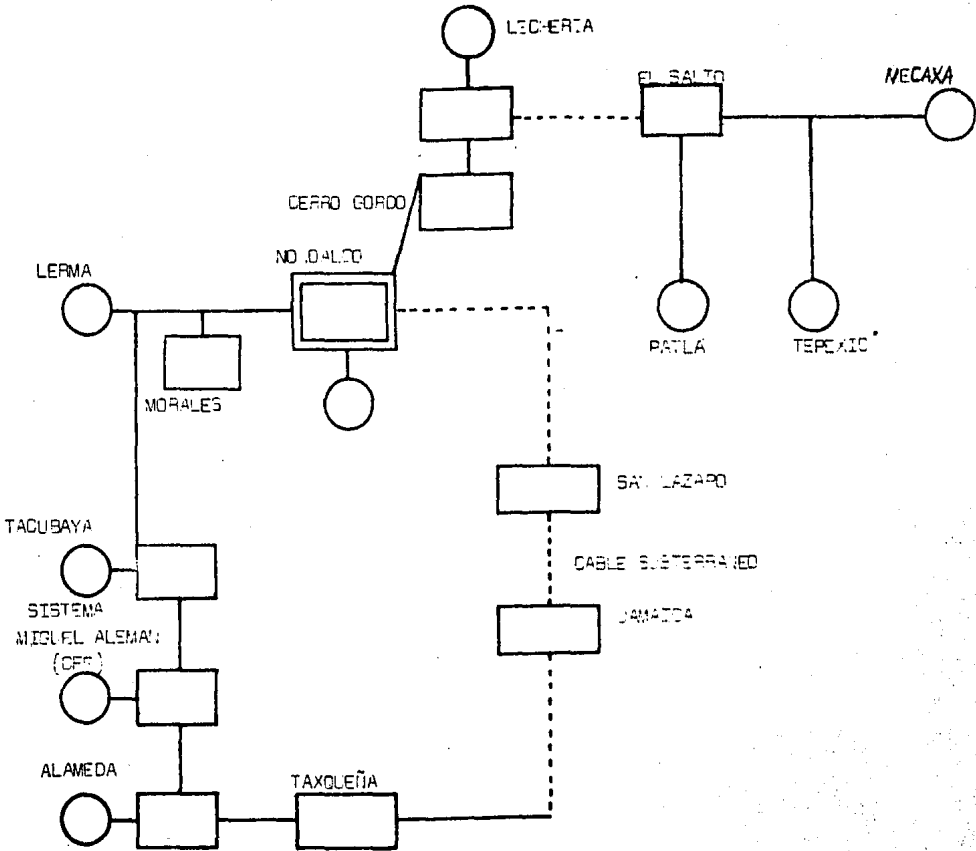
La distribución de la energía eléctrica es de diversa magnitud y va de acuerdo con la zona que alimenta.

Así en el primer cuadro de la Ciudad, se necesita un sistema que garantice la continuidad en el servicio a la vez que sea altamente seguro, condiciones que satisfacen las redes de distribución subterráneas; estas redes cuentan con dispositivos automáticos de control que permiten la seguridad y continuidad antes mencionada.

Los sistemas de distribución hoy en día, necesitan una infinidad de elementos técnicos y humanos sin los cuales sería imposible lograr su finalidad.

Implica cambiar una gran cantidad de equipo, cada una de las cuales puede repercutir sin falla en el servicio a los usuarios.

FIGURA 1.1 ANILLO DISTRIBUIDOR DE 85 KV.



- PLANTA GENERADORA
- ▭ (double border) SUBESTACION principal
- ▭ SUBESTACION
- LINEA AEREA
- - - SUBTERRANEA

CAPITULO II

GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

II.1.- Definición de un sistema de distribución

II.2.- Topología de los sistemas de distribución.

II.3.- Sistema de distribución subterráneo radial.

II.4.- Sistema monofásico.

II.5.- Sistema trifásico.

II.6.- Análisis económico.

II.1 DEFINICION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

Un sistema eléctrico de distribución es el conjunto de elementos que forman parte del sistema eléctrico de potencia entre la fuente de alimentación y los interruptores de los servicios.

Estas fuentes se encuentran localizadas generalmente muy cerca o aún dentro del área de carga y pueden ser una planta generadora o una subestación de potencia alimentada por líneas de transmisión.

El sistema de distribución puede ser dividido en los siguientes componentes, procediendo desde la fuente de generación hasta la carga:

- Subtransmisión
- Subestación de Distribución
- Alimentadores Primarios
- Transformadores de Distribución
- Alimentadores Secundarios
- Servicios

Estos componentes se muestran en el diagrama de la fig. II.1, el sistema de distribución ocupa un lugar preponderante dentro de los sistemas eléctricos ya que su función es la de tomar la energía de la fuente de potencia y entregarla a los consumidores. Una medida de la eficacia de este sistema se

expresa en términos de la regulación de voltaje, continuidad del servicio, - flexibilidad, eficiencia y costo.

Dentro de un sistema eléctrico de potencia, el cual tiene como fin llevar la energía eléctrica hacia los centros de consumo, el organismo de distribución se encarga de diseñar, construir, operar y mantener el sistema que alimentará el servicio eléctrico adecuado al área de carga en consideración tanto en el presente como en el futuro al mínimo costo posible.

El sistema debe proporcionar un servicio con un mínimo en la variación de voltaje y un mínimo de interrupciones, dado que existen cierto número de interrupciones, deberán ser de mínima duración y que afecten al menor número de usuarios.

En cuanto a la economía deberá perseguirse el mínimo costo posible, incluyendo la construcción, operación y mantenimiento de forma tal que el servicio sea de la calidad requerida por el área en cuestión.

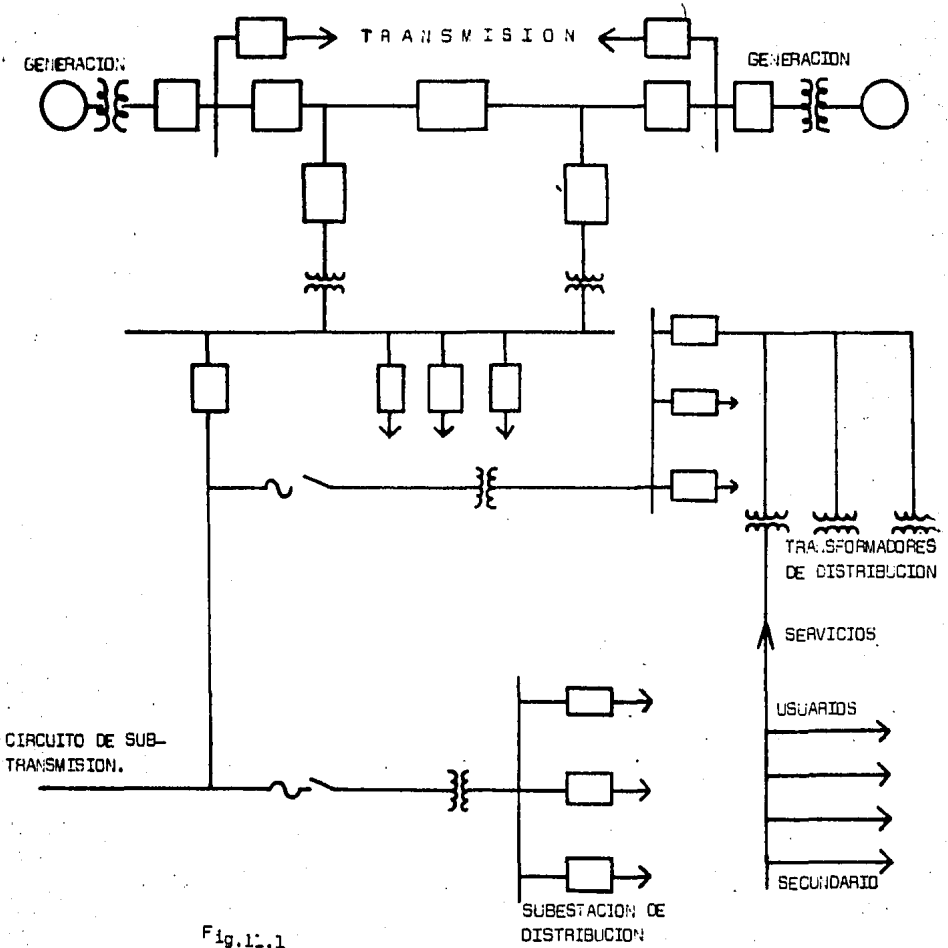


Fig.1.1.1

II.2 TOPOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Los sistemas de distribución pueden adoptar diversas disposiciones, ya sea que la distribución se haga con líneas aéreas ó subterráneas y diversos arreglos de la topología del sistema, esto depende en gran parte de la densidad de carga en un área determinada y del tipo de carga. Hay que hacer notar que tanto para carga industrial como para residencial, los sistemas de distribución deben operar de forma óptima y en todo caso la calidad del suministro de la energía eléctrica debe ser adecuada de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen de manera continua.

La calidad del suministro queda definida por los siguientes tres factores: Continuidad del servicio, Regulación de voltaje y Control de la frecuencia. Continuidad del servicio.

La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que una interrupción de su suministro causa trastornos y pérdidas económicas incalculables. Para asegurar la continuidad del suministro deben tomarse las medidas necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema.

A continuación se mencionan las principales medidas:

- a).- Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio ó indisponibilidad de cierta capacidad de generación.

- b).- Disponer de un sistema de protección automática que permita eliminar con la rapidez necesaria cualquier elemento de sistema que ha sufrido una avería.
- c).- Diseñar el sistema de manera tal que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- d).- Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- e).- Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones cuando éstas no han podido ser evitadas.

En la fig. II.2 se puede ver un sistema de distribución radial aérea — (diagrama unifilar).

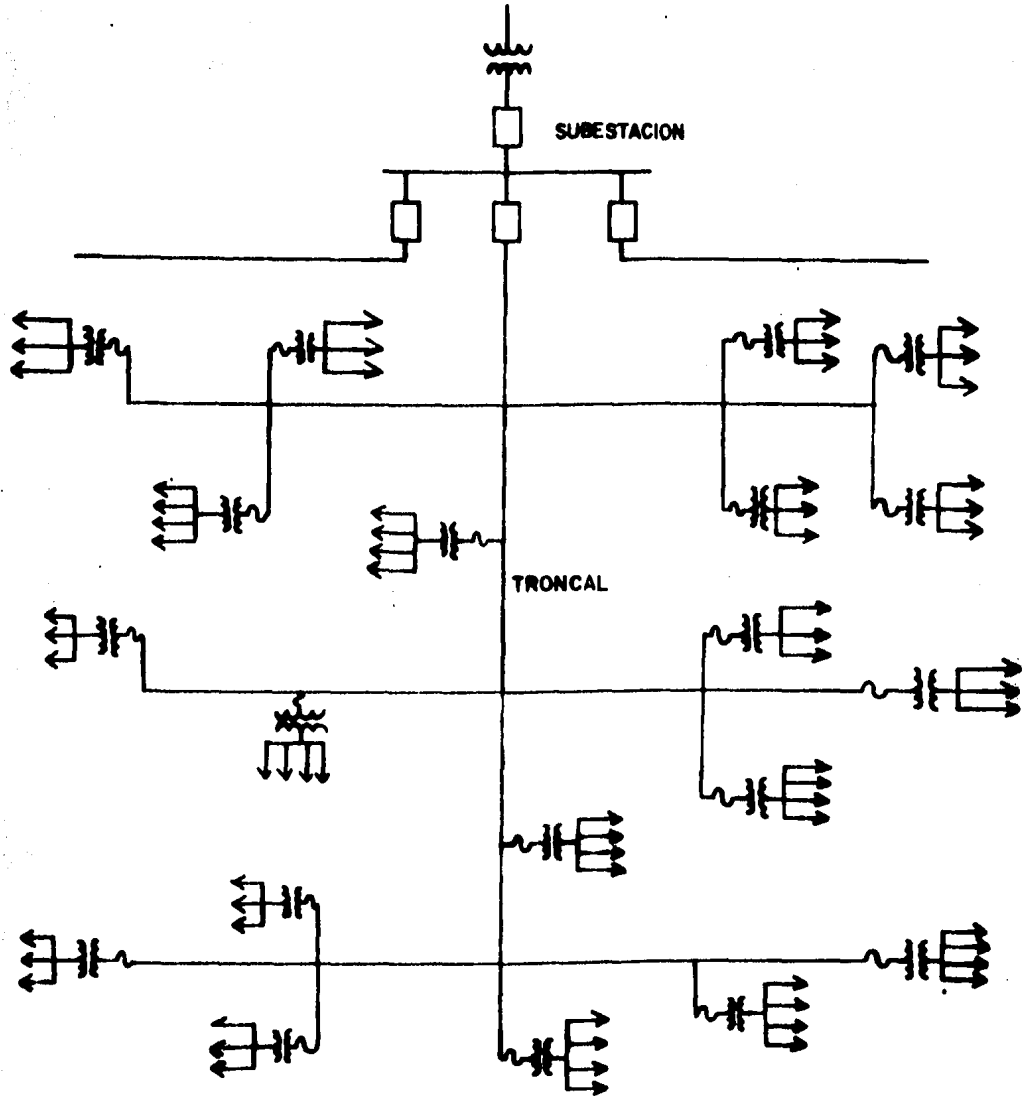


Fig. II.2 Sistema de distribución radial aéreo (diagrama unifilar)

Con una red fig. II.3.c. se aumenta el número de interconexiones y consiguientemente la seguridad del servicio.

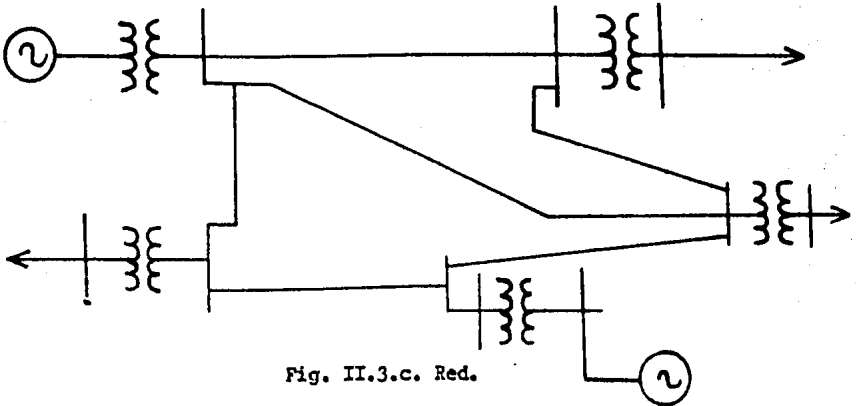


Fig. II.3.c. Red.

En el esquema de conexión con un solo juego de barras colectoras que es el que requiere el mínimo de equipo, una falla en las barras colectoras, eliminada por una protección adecuada que haga abrir los interruptores correspondientes causa la interrupción de todas las líneas; también a la reparación de uno de los interruptores causa la desconexión de la línea ó el transformador correspondiente. fig. II.4.a.

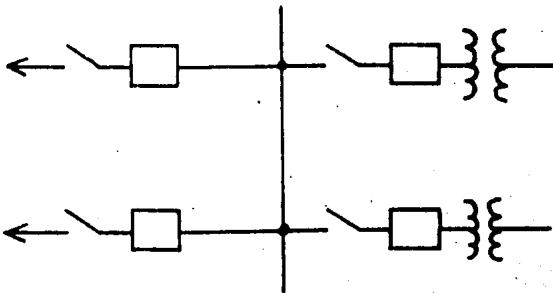


Fig. II.4.a. Un solo juego de barras colectoras.

Con doble juego de barras colectoras y una protección automática para cada juego de barras, una falla en las barras causa la desconexión de la mitad de las líneas y transformadores. La revisión de un interruptor causa también la interrupción de la línea ó el transformador correspondiente. (si el interruptor no tiene cuchillas bricadoras) fig. II.4.b.

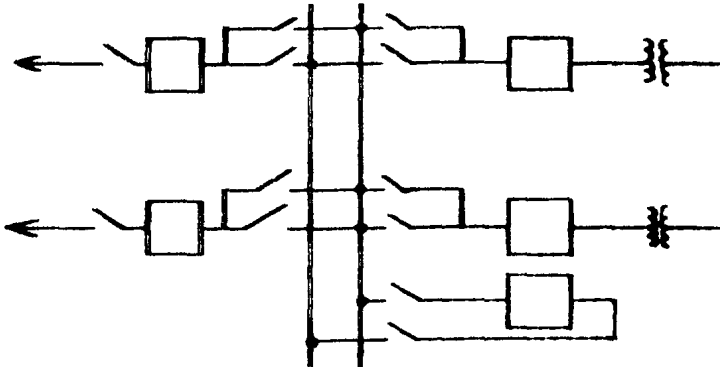
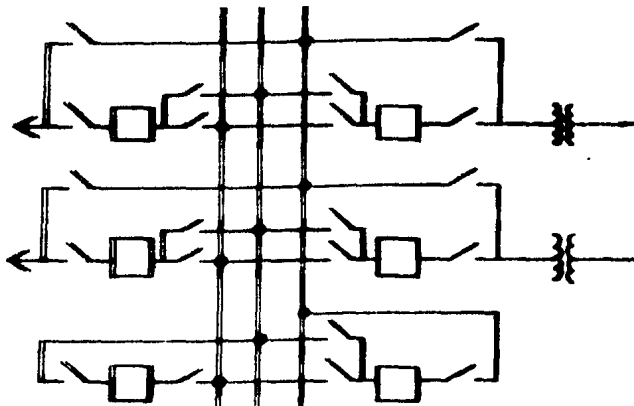


Fig. II.4.b. Doble juego de barras colectoras

El sistema de doble juego de barras colectoras principales y un juego de barras auxiliares es similar al caso anterior por lo que respecta a su comportamiento en funcionamiento normal, pero la existencia del tercer juego de barras y de un interruptor adicional permite utilizar este para substituir a cualquiera de los otros interruptores en caso de que necesiten desconectarse sin interrumpir ninguna línea ni ningún transformador. Fig. II.4.c.



El arreglo en anillo, con la disposición física que se muestra en la fig. II.4.d. se requiere el mismo número de interruptores que con el arreglo con un solo juego de barras colectoras, pero una falla en las barras no causa más que la desconexión del transformador conectado a esas barras. Además puede desconectarse cualquiera de los interruptores sin causar la interrupción de ningún circuito. La limitación del arreglo en anillo es que no se presta fácilmente a una ampliación; con la disposición física mostrada, la adición de una línea y un transformador requiere la instalación de un tercer juego de barras colectoras.

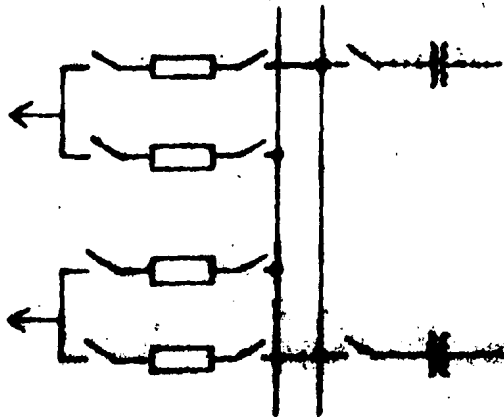


Fig. II.4.d. Arreglo del anillo.

En el arreglo llamado de interruptor^y medio (fig. II.4.e.), una falla en las barras colectoras provistas de la protección automática adecuada, causa - la desconexión del juego de barras afectado por la falla sin desconectar ningún transformador. Además como en el arreglo en anillo puede desconectarse - cualquiera de los interruptores sin causar la interrupción de ningún circuito. El arreglo de interruptor y medio requiere más equipo que el de anillo, pero para el caso mostrado en la fig. II.4.e. con dos líneas y dos transformadores, requiere el mismo número de interruptores que el arreglo de la fig. II.4.c. y un número menor de seccionadores, ofreciendo en cambio una continuidad de servicio y una flexibilidad de operación considerablemente mayor que la de ese - arreglo. Por otra parte el arreglo de interruptor y medio se presta facil- mente a ampliaciones posteriores. fig. II.4.e.

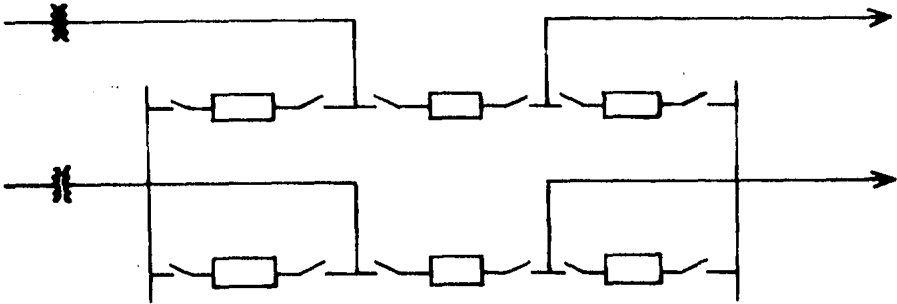


Fig. II.4.e. Arreglo de interruptor y medio.

II.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCION SUBTERRANEA RADIAL

Los sistemas de distribución radial subterráneas 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 tirado, etc.) y su reparación se efectúa en menos tiempo.

Por ésta razón para evitar interrupciones prolongadas y proporcionarles 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. II.5.

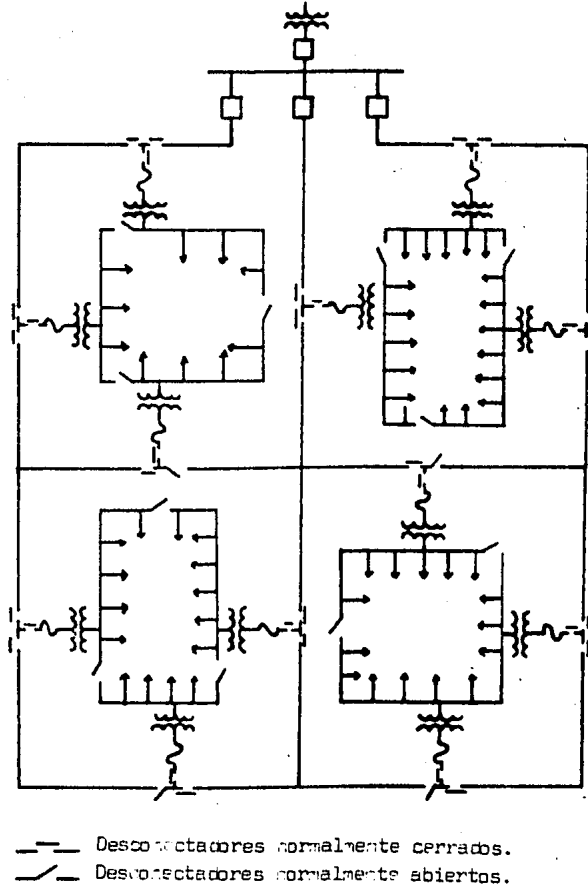


Fig. II.5. SISTEMA DE DISTRIBUCION RADIAL SUBTERRANEO (DIAGRAMA UNIFILAR).

En un sistema radial el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente de carga.

Sistemas de distribución subterránea en anillo, actualmente existe la tendencia a realizar la distribución en zonas residenciales y suburbanas mediante instalaciones subterráneas. Generalmente los alimentadores primarios consisten en los cables subterráneos dispuestos formando un anillo que funciona normalmente abierto, conectados a un alimentador aéreo próximo. En la fig. II.6. se muestra un diagrama unifilar de una instalación de este tipo.

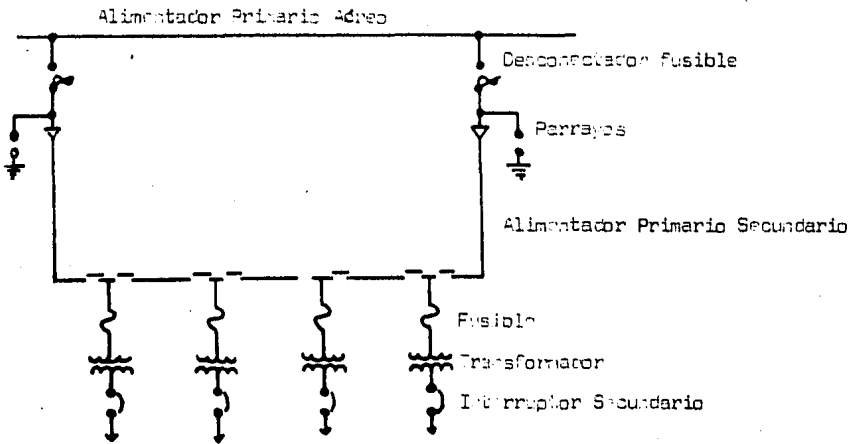


Fig. II.6.

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 ha eliminado 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 ó servir como protección de respaldo para fallas en el transformador ó 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 y dichos 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. Deben hacerse pruebas de continuidad a la red para localizar -

los puntos donde se han presentado fallas y proceder a repararlas. (por ejemplo una vez al año).

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. (por ejemplo el primer cuadro de la Ciudad de México).

La red secundaria está constituida por alimentadores secundarios, trifásicos de cuatro hilos, interconectados formando una malla, siguiendo el trazo de las calles de la zona urbana o 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 desconectoras y a la red secundaria por un protector de red, que es un interruptor de aire operado automáticamente por un relevador principal direccional y un relevador auxiliar de fase que tienen como función abrir el protector de red cuando la potencia eléc-

trica fluye de la red secundaria hacia el alimentador primario y cerrar el protector cuando el voltaje en las terminales secundarias del transformador es mayor que el de la red secundaria y ambos están aproximadamente en fase de tal manera que al cerrar el protector la potencia eléctrica circulará del ali mentador primario a la red secundaria. fig. II.7.

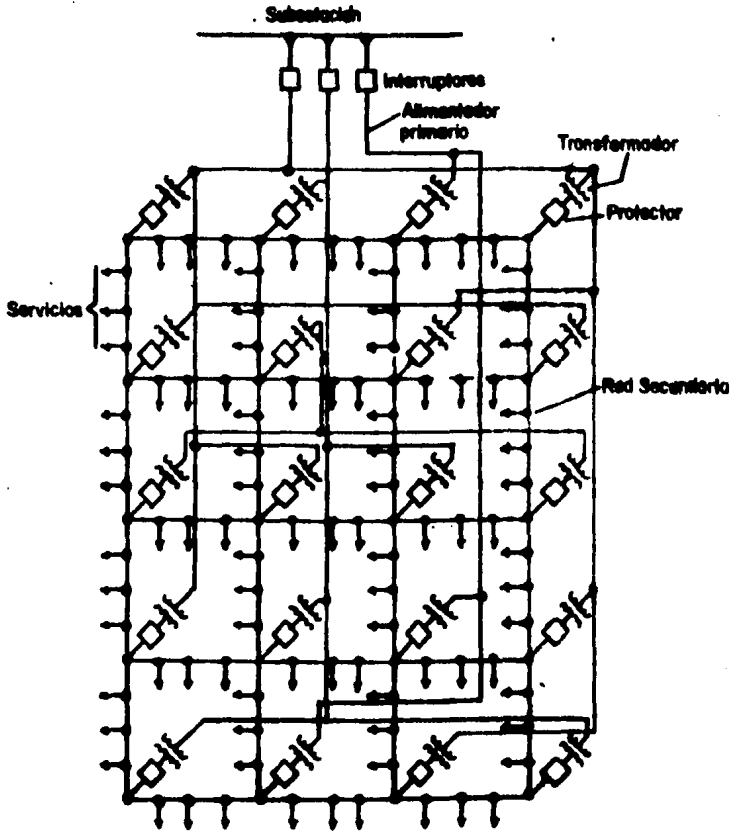


Fig. II.7 Sistema de distribución de red primaria secundaria (Diagrama unifilar)

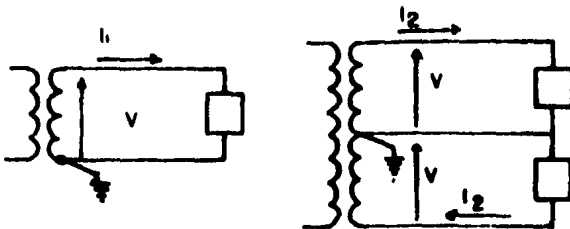
En redes automáticas secundarias con voltajes más altos que los mencionados anteriormente el procedimiento de automatización en la extinción de fallas es siempre seguro.

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 sobre-corriente de suficiente magnitud se funde antes que se dañe el cable.

II.4 SISTEMA MONOFASICO

Hacia 1884 Gaulard realizó la primera transmisión en CA monofásica a una distancia de 40 Km., en Italia; dos años después en Estados Unidos se pone en servicio otro sistema monofásico, utilizando transformadores de 500 VOLTS en el primario y 100 VOLTS en el secundario y así siguieron otros países como - Suiza 1887 e Inglaterra 1888.

Los sistemas monofásicos utilizados son los de dos hilos y de tres hilos fig. II.8.



a) Monofásico de dos hilos

b) Monofásico de tres hilos

Fig. II.8. Sistemas Monofásicos de 2 y 3 Hilos.

Para los sistemas monofásicos se utilizan alternadores monofásicos y se transmite la energía por dos hilos ó bien con alternadores monofásicos pero con tres hilos, lo que permite doblar el voltaje transmitido. El tercer hilo va intermedio al arrollamiento del generador o al punto medio de la bobina del transformador y sin dispositivo alguno.

II.5 SISTEMA TRIFASICO

Para 1883 Tesla inventó la corriente polifásica y con esto en 1887 en Estados Unidos patentó un sistema de transmisión trifásico, aunque fué en Alemania en 1891 donde se implantó la primera línea trifásica a lo largo de 180 Km., a una tensión de 12 KV.

Actualmente es más utilizado el sistema trifásico ya que presenta la ventaja de que la potencia total suministrada es constante, cuando el sistema está equilibrado, además de que el equipo del sistema es más pequeño.

Los sistemas trifásicos pueden ser de tres hilos y de cuatro hilos. fig. II.9.

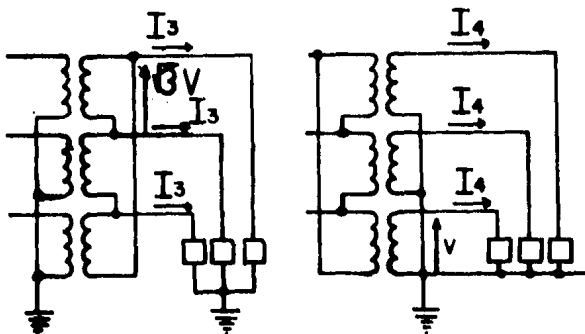


Fig. II.9 Sistema Trifásico de 3 y 4 hilos.

Los arreglos trifásicos pueden ser en delta o en estrella, los sistemas trifásicos de 3 hilos se utilizan cuando el desequilibrio entre las potencias es pequeño. En los sistemas de distribución se usa frecuentemente el cuarto hilo especialmente en los circuitos de baja tensión.

II.6 ANALISIS ECONOMICOS

Se compara a continuación, desde el punto de vista del costo de los conductores, un sistema monofásico de dos hilos (fig. 10.a) con un sistema trifásico de tres hilos (fig. 11.a) y un sistema monofásico de tres hilos (fig. 10.b) con un sistema trifásico de cuatro hilos (fig. 11.b), suponiendo que se transmite la misma potencia, con las mismas pérdidas, a la misma distancia y con la misma tensión a tierra; esta última condición determina el aislamiento en las líneas aéreas y en los cables monofásicos.

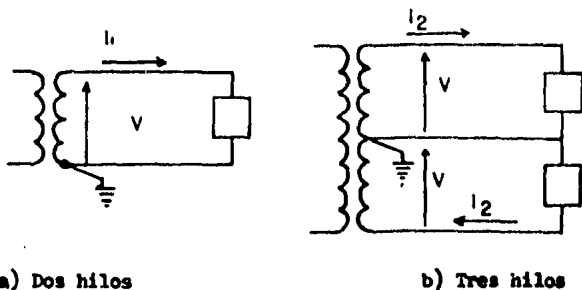


Fig. 10 Sistemas monofásicos de dos y tres hilos.

Llamamos:

P = potencia real transmitida

P = 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.

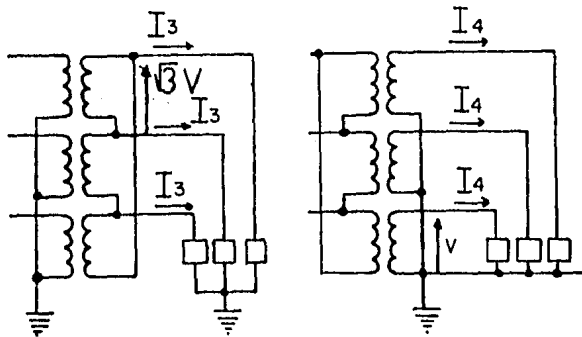
R_1 = resistencia de cada conductor, sistema de una fase, dos hilos.

R_2 = resistencia de cada conductor, sistema de una fase, tres hilos:

R_3 = resistencia de cada conductor, sistema de tres fases, tres hilos.

R_4 = resistencia de cada conductor, sistema de tres fases, cuatro hilos.

Se supone que la carga conectada está equilibrada y que el factor de potencia de las cargas es el mismo en todos los casos.



a) Tres hilos

b) Cuatro hilos

Fig. 11 Sistemas trifásicos de tres y cuatro hilos

Para el caso del sistema monofásico de dos hilos:

$$P = VI_1 \cos \beta \quad I_1 = \frac{P}{V \cos \beta}$$

$$P = 2R_1 I_1^2 = \frac{2R_1 P^2}{V^2 \cos^2 \beta}$$

Para el caso del sistema trifásico de tres hilos

$$P = 3VI_3 \cos \beta \quad I_3 = \frac{P}{3V \cos \beta}$$

$$P = 3R_3 I_3^2 = \frac{3R_3 P^2}{9V^2 \cos^2 \beta}$$

Igualando las pérdidas en los dos casos anteriores

$$\frac{2R_1 P^2}{V^2 \cos^2 \beta} = \frac{3R_3 P^2}{9V^2 \cos^2 \beta}$$

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

Para la misma longitud y la misma resistividad, el área de la sección -
recta de los conductores es inversamente proporcional a la resistencia y el -
peso y por lo tanto el costo de los conductores es directamente proporcional
al área.

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 de tres hilos:

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

y como en el primer caso hay dos conductores y en el segundo tres:

$$\frac{3C_3}{2C_1} = \frac{3}{2 \times 6} = \frac{1}{4}$$

o sea el peso total de los conductores del sistema trifásico es la cuarta parte del peso de los conductores del sistema monofásico.

Se comparará ahora el costo de los conductores de un sistema monofásico de tres hilos con un sistema trifásico de cuatro hilos. Las secciones del tercer hilo del sistema monofásico y del cuarto hilo del sistema trifásico son, respectivamente, la mitad de la sección de los conductores de fase correspondientes.

Si las cargas están equilibradas no circulará ninguna corriente por los neutros.

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

$$P = 2VI_2 \cos \phi$$

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

$$P = 2R_2 I_2^2$$

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

Para el caso del sistema trifásico de cuatro hilos, si no circula corriente por el neutro se tendrá la misma expresión para las pérdidas que la hallada para el sistema trifásico de tres hilos

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

Igualando las pérdidas en los dos casos y simplificando

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

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

$$\frac{\text{peso conductores } 3 \varnothing, 4 \text{ hilos}}{\text{peso conductores } 1 \varnothing, 3 \text{ hilos}} = \frac{2 \times 3.5}{3 \times 2.5} = \frac{7}{7.5}$$

o sea, el sistema trifásico de cuatro hilos resulta algo más económico desde el punto de vista de los conductores.

La tendencia en México es la del uso de Sistemas trifásicos de 3 hilos ya que es más económico en conductores y sobre todo en sus accesorios de montaje.

CAPITULO III

OPERACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

III.1.- DEFINICION

III.2.- CLASIFICACION DE REDES DE DISTRIBUCION

- a).- ESTRUCTURA RADIAL
- b).- ESTRUCTURA EN ANILLOS
- c).- ESTRUCTURA EN MALLAS
- d).- ESTRUCTURA EN DOBLE DERIVACION
- e).- ESTRUCTURA EN DERIVACION MULTIPLE

III.3.- REDES PRIMARIAS

III.4.- REDES SECUNDARIAS

III.5.- RED AUTOMATICA

III.6.- REGULACION DE VOLTAJE EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

III.7.- CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

OPERACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

III.1. 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 permita 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.

La operación también se encarga de estudiar los problemas relativos con el comportamiento del sistema como son: la regulación, confiabilidad y la continuidad en el servicio, además de saber en que momento se debe descargar un alimentador y bajo que condiciones, tratando de aliviar problemas inmediatos; tales como fallas de bancos de transformadores en la subestación, falla de una línea, etc.

Los sistemas de distribución tienen como función administrar 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 son usualmente trifásicos, 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 de - tensión de la clase 2.5 KV. a 35 KV. Las tensiones más bajas corresponden a instalaciones antiguas; la tendencia moderna es utilizar tensión de la clase 15 KV. o superior. En México las tensiones de distribución primarias recomendadas 6 KV., 13.8 KV. y 23 KV.

Los circuitos secundarios son generalmente trifásicos de cuatro hilos de 115 a 127 VOLTS entre fases y neutro (200 a 220 VOLTS entre fase) ó de 220 a 240 VOLTS entre fase y neutro (380 a 415 VOLTS entre fase); este segundo escalón de tensiones es el que se está generalizando en Europa.

III.2. Clasificación de Redes de Distribución.

En base a sus aspectos constitutivos las redes de distribución pueden ser clasificadas como sigue:

- a).- Estructura Radial
- b).- Estructura en Mallas
- c).- Estructura en anillos
- d).- Estructura en doble derivación
- e).- Estructura en derivación múltiple

a).- Estructura Radial.- Esta estructura se constituye con cables troncales que salen en forma "radiante" de la S.E. fuente y con cables transversales que ligan a las troncales. La sección de cable que se utiliza debe ser uniforme, es decir, la misma para los troncales y para los ramales.

La aplicación de este tipo de estructura es recomendable en zonas extendidas, con altas densidades de carga (15 a 20 MVA/km²) y fuertes tendencias de crecimiento.

En operación normal, cada alimentador lleva una carga P funcionando en forma radial, operando normalmente abiertos los elementos de seccionamiento, con que cuenta la estructura. En caso de emergencia, los alimentadores deberán poder soportar la carga adicional que se les asigne, de acuerdo a la capacidad del equipo y del cable. Por esta razón es que la estructura se consti-

tuye con cable de igual sección.

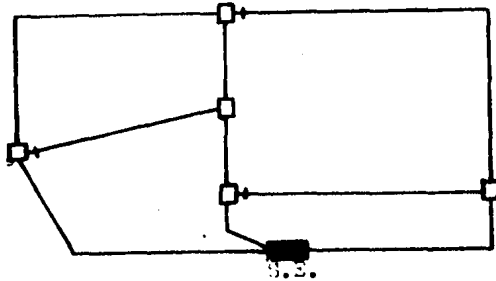


Fig. III.1 Estructura Radial

A continuación se hace una breve descripción de los sistemas de distribución más usuales.

SISTEMAS RADIALES AEREOS:

Los sistemas de distribución radiales aéreos se usan generalmente en las zonas suburbanas y en las zonas rurales.

Los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan a los transformadores de distribución, que están también montados sobre postes. En regiones rurales en las que la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro.

En regiones suburbanas con mayor densidad de carga los alimentadores primarios que parten de la misma subestación o de subestaciones diferentes, tienen puntos de interconexión. En servicio normal estos puntos de interconexión están abiertos; en condiciones de emergencia permiten pasar parte de la carga de un alimentador a otro.

Los circuitos secundarios conectan el secundario de cada transformador de distribución a los alimentados por ese transformador siguiendo también una disposición radial. Para la alimentación primaria radial se utilizan dos sistemas: Trifásico de 3 hilos y Trifásico de cuatro hilos. (Fig. III.2).

BARRAS COLECTORAS DE
LA SUBSTANCION

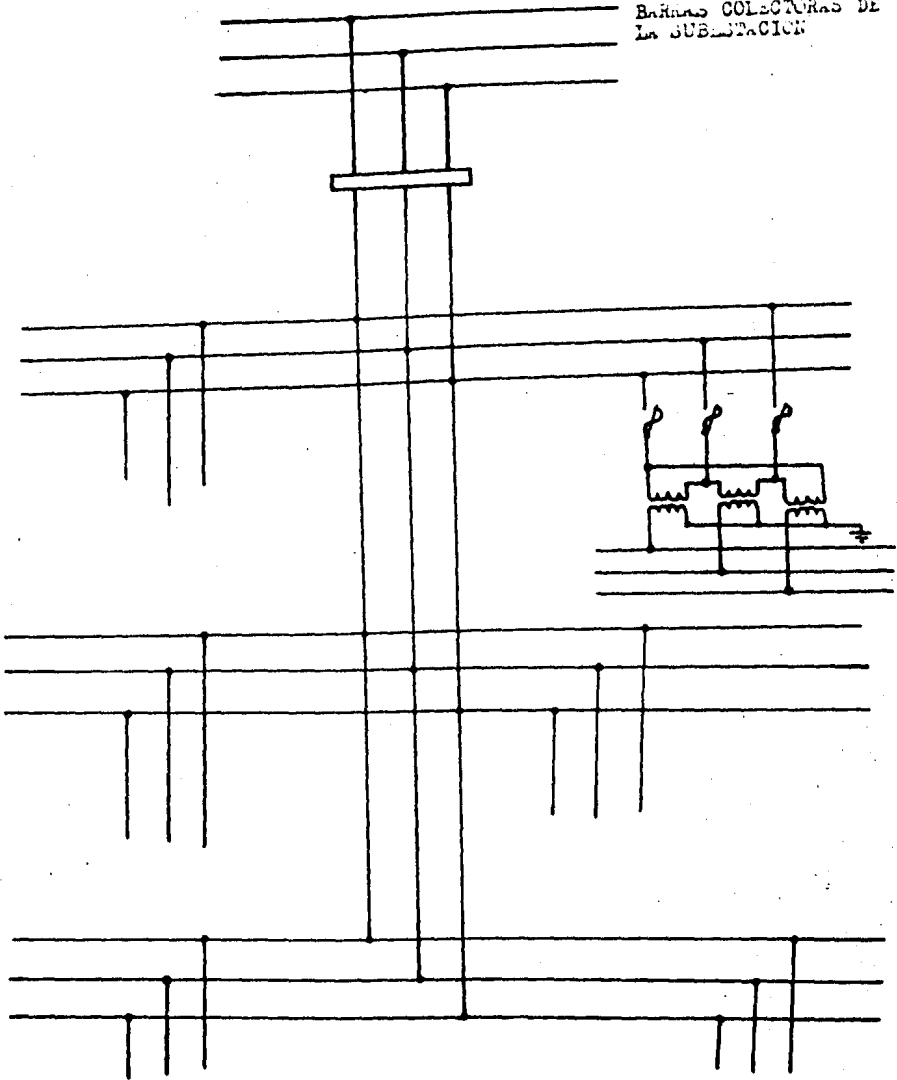


Fig. III.2 SISTEMA DE DISTRIBUCION RADIAL CON ALIMENTADORES
TRIFASICOS DE TRES HILOS (DIAGRAMA TRIFILAR).

SISTEMA PRIMARIO TRIFASICO DE CUATRO HILOS:

En este sistema, cuyo diagrama trifilar se muestra en la fig. III.3. La alimentación que sale de la subestación consiste en una alimentación trifásica formada por tres conductores de fase y un conductor neutro. Para que este sistema funcione correctamente el neutro debe quedar conectado a tierra en forma efectiva, lo que requiere hacer una conexión a tierra del neutro en el final de la sección de B.T. correspondiente. Si por algún motivo el neutro se desconectase de tierra, o la impedancia de la conexión a tierra fuese muy alto, el sistema se transformaría en estrella sin neutro a tierra, lo que podría dar lugar a elevaciones peligrosas de la tensión y a corrientes excesivas provocadas por el desplazamiento del neutro con carga desequilibrada.

En este sistema de cuatro hilos las cargas trifásicas se toman entre los tres conductores de fase y las cargas monofásicas pueden tomarse entre dos conductores de fase o entre un conductor de fase y el neutro. Sin embargo su aplicación principal ha sido como sistema de distribución monofásico para zonas rurales de densidad de carga baja (fig. III-3).

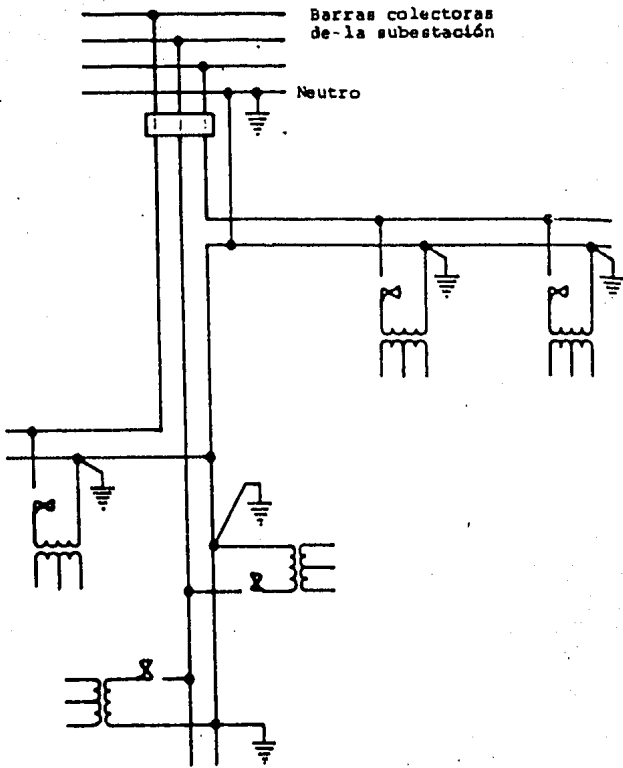


Fig.111.3 Sistema de distribución radial con alimentadores primarios trifásicos de cuatro hilos. (Diagrama trifilar)

Este arreglo puede operarse de las siguientes dos maneras: Operación con el interruptor de amarre normalmente abierto en cuyo caso los dos alimentadores funcionan como alimentadores radiales: en caso de una falla en un alimentador abre el interruptor correspondiente de la subestación y después de desconectar la zona afectada por la falla puede cerrarse el interruptor de amarre para tomar parte de la carga del alimentador afectado por la falla.

Operación con el interruptor de amarre normalmente cerrado en cuyo caso opera como anillo; la carga total se divide entre dos alimentadores y se obtiene una mejor regulación del voltaje y se reducen las pérdidas. Una falla en un punto del anillo provoca la apertura del interruptor de amarre el cual abre instantáneamente separando los dos alimentadores y después abre el interruptor de la subestación correspondiente al alimentador afectado por la falla.

Por lo que hace a los circuitos secundarios de los sistemas radiales, -- existen dos tipos principales: Trifásico de cuatro hilos y Monofásico de tres hilos; se emplean también aunque menos frecuentemente, circuitos trifásicos de tres hilos para alimentar cargas industriales.

III.3 CONEXION DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS EN ANILLO:

En zonas de densidad de carga elevada se puede recurrir para mejorar la continuidad del servicio, a interconectar los extremos de los alimentadores primarios que salen de una misma subestación mediante un interruptor, como se muestra en la fig. III.4.

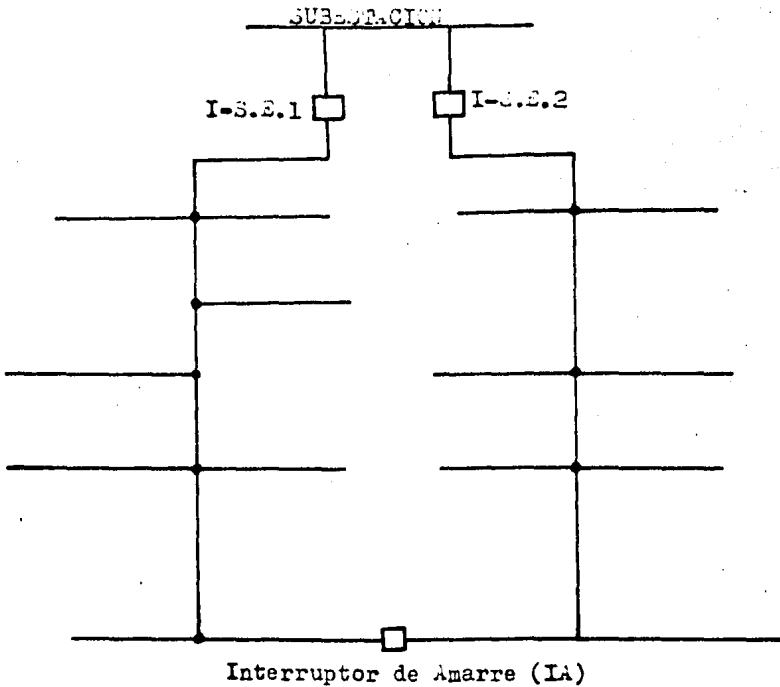


Fig. III.4 CONEXION DE DOS ALIMENTADORES PRIMARIOS PARA FORMAR UN ANILLO (DIAGRAMA UNIFILAR)

SISTEMA	SITUACION DEL INF. DE LA S.E.		SITUACION DEL INF. DE MANTEN	NOTA
	S.E.1	S.E.2		
ANILLO	CERRADO	CERRADO	ABIERTO	
ANILLO	CERRADO	ABIERTO FALTA DEL SISTEMA	CERRADO	
ANILLO	ABIERTO FALTA DEL SISTEMA	CERRADO	CERRADO	
ANILLO	CERRADO	CERRADO	CERRADO	RESPONSABLE DEL MANTEN DE M.D. CARA

b).- Estructura en anillos o bucles.- Este tipo de esquema se constituye a base de bucles de igual sección, derivados de las subestaciones fuente directamente. Las subestaciones de distribución quedan alimentadas en sección miento exclusivamente.

La aplicación de esta estructura es recomendable en zonas con densidades de carga de 5 a 15 MVA/km². y particularmente para conjuntos habitacionales - en zonas suburbanas y en ciudades que no cuentan con las subestaciones fuente, ubicadas dentro de la zona de concentración de demanda.

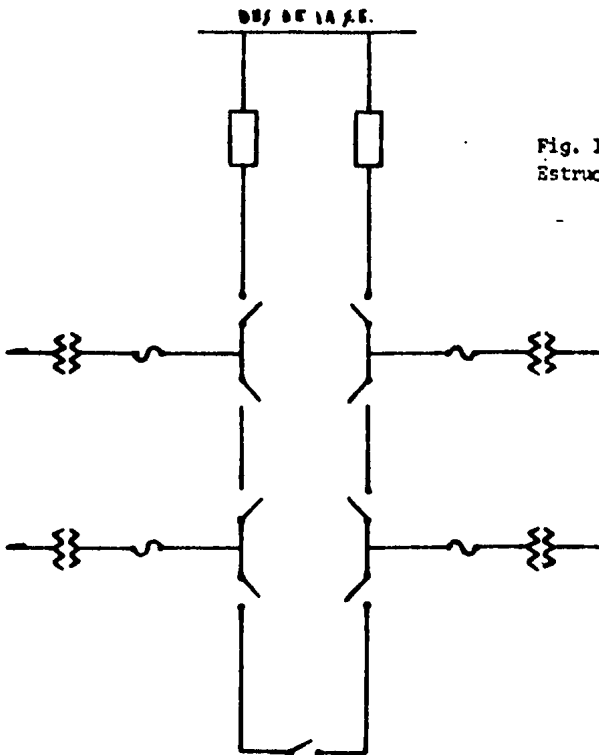


Fig. III.5
Estructura Básica en anillo

c).- Estructura en mallas.- En esta estructura las subestaciones de distribución están repartidas en seccionamiento constituyendo junto con el cable, anillos de igual sección. Estos anillos operan en forma radial, para lo cual se opera normalmente abierto uno de los medios de seccionamiento, interruptor o cuchillas, en la subestación que queda aproximadamente a la mitad. Existen ligas entre los anillos para asegurar una alimentación de emergencia. En el caso de un incidente interno en el anillo, se resuelve con los propios recursos haciendo maniobras entre grupos de subestaciones. Por lo cual la capacidad de la malla corresponde a la del cable.

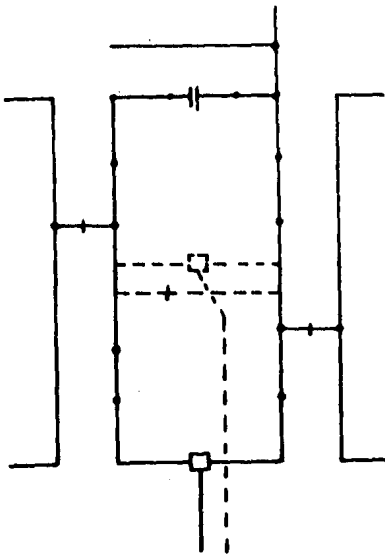


Fig. III.6
Esquema Básico de la
Estructura en Mallas.

d).- Estructura en doble derivación.- La disposición de los cables en el caso de esta estructura se hace por pares siendo las secciones uniformes para los cables troncales y menores para las derivaciones a la S.E.s. y servicios, los cuales quedan alimentados en derivación.

Es una estructura que resulta conveniente en zonas concentradas de carga y con densidades de carga del orden de 5 a 15 MVA/km².

La aplicación más específica puede ser en zonas industriales o comerciales en las que se tiene necesidad de dobles alimentaciones para asegurar una elevada continuidad y presentan características de carga y geometría bastante concentradas.

La explotación de este tipo de estructura se hace en base a un esquema de alimentadores preferentes y emergentes con transferencias manuales o automáticas, siguiendo el principio de cambio de alimentación.

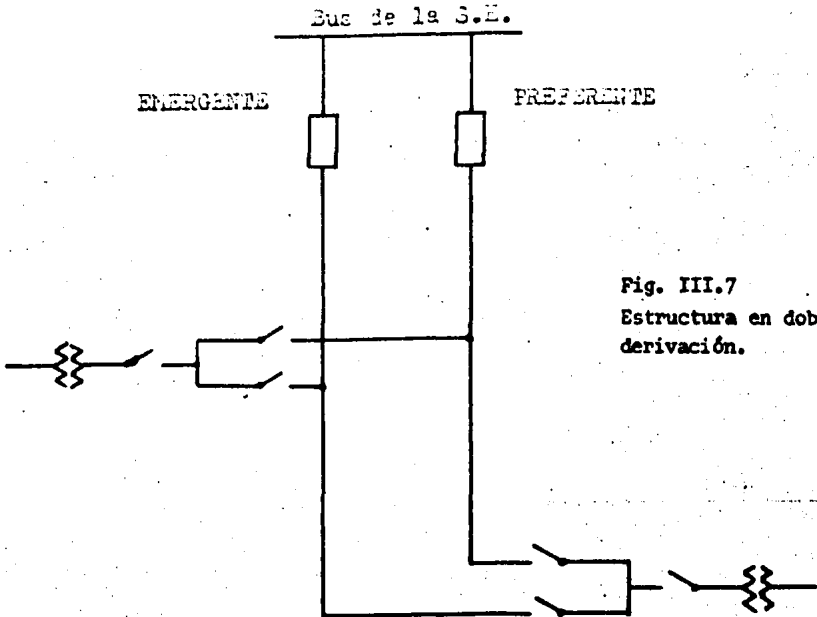


Fig. III.7
Estructura en doble
derivación.

e).- Estructura en derivación múltiple.- El principio fundamental para - constituir este tipo de estructura, es que los cables que la forman contribuyen simultáneamente en la alimentación de la carga. Se constituye con secciones combinadas en forma decreciente y con cables de menor calibre para las - alimentaciones a las subestaciones, las cuales están alimentadas en derivación simple, doble o múltiple.

Esta estructura encuentra su aplicación en zonas de urbanismo moderno -- con alta densidad de carga más de 30 MVA/Km²., en las que se requiere de una elevada continuidad del servicio, ya que este tipo de red es susceptible de - contar con un procedimiento de cambio de alimentación automático.

Para asegurar la continuidad de servicio se debe respetar un principio - de repartición de las cargas entre los distintos alimentadores de tal manera que al salir uno de ellos su carga pasará en fracciones iguales a los restantes.

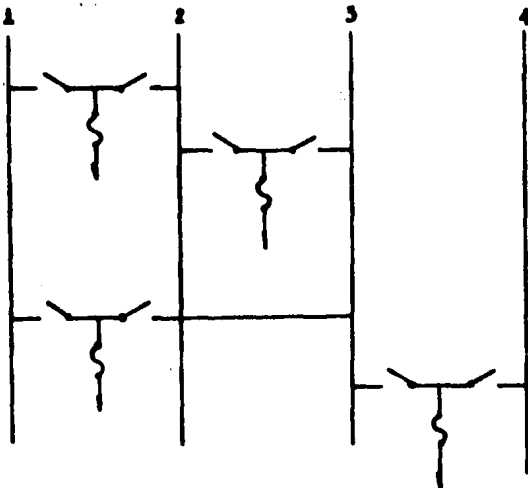


Fig. III.8

Al exponer estas estructuras básicas es posible imaginar una muy grande variedad de estructuras, pudiendo pensar en algunos casos en la utilización de estructuras combinadas, las cuales dependerán de las características de operación, confiabilidad y economía requeridas por cada proyecto en particular.

III.3.- Redes Primarias.

a) Sistema Primario Radial con dispositivos seccionadores.- Este sistema consiste en llevar un solo cable troncal hasta el área de carga donde se derivan los ramales para cada centro de carga teniendo un dispositivo seccionador de operación manual en cada ramal.

La protección de este sistema es el interruptor localizado en la S.E. de distribución, lo que ocasiona que al ocurrir una falla sobre la troncal o en uno de los ramales se sufra una interrupción temporal mientras la falla es localizada. Una vez localizada esta falla es seccionada y se restablece el servicio en el resto del alimentado.

Cuando la falla es en el cable troncal, los alimentadores conectados deberán soportar la carga adicional asignada debido a la falla.

Los dispositivos seccionadores son colocados sobre las troncales de los alimentadores de tal manera de obtener flexibilidad en las maniobras de libramiento y transferencia de carga de un alimentador a otro, ya sea por disturbio o por licencia para mantenimiento. Fig. 1.8.

b) Sistema Primario Anular.- Este sistema consiste de un alimentador que sale de la S.E. de Distribución y llega a la zona por alimentar donde es seccionado partiendo cada ramal a un centro de carga, de este para llegar a otro y así sucesivamente hasta alimentar todos los centros de carga, cerrándose el anillo en otro punto de seccionamiento donde el anillo es reforzado por otro alimentador.

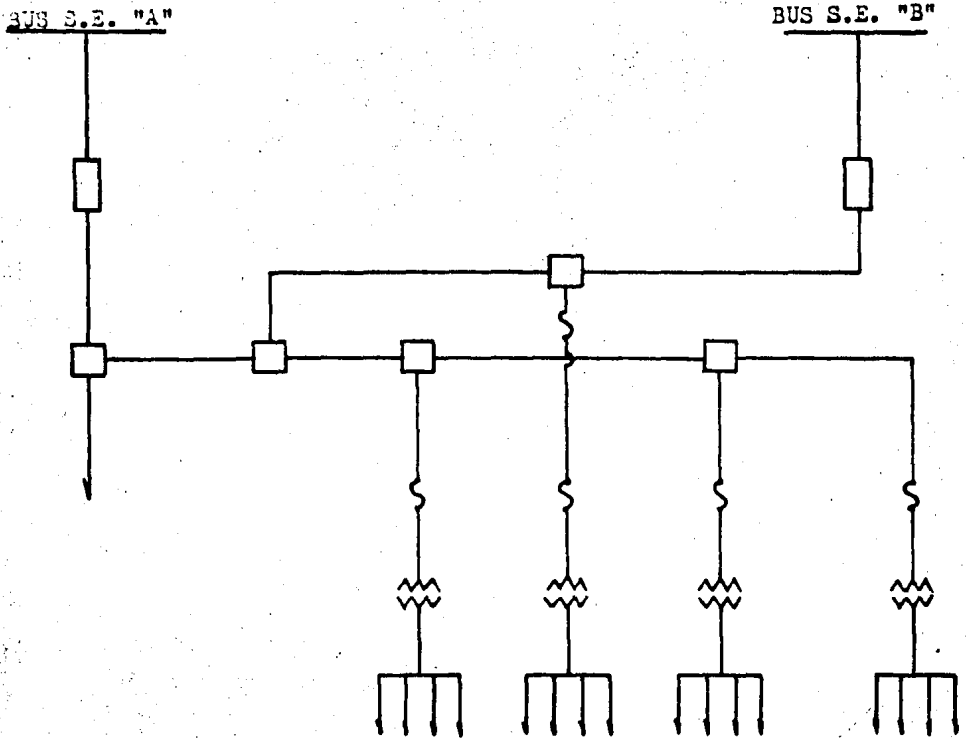
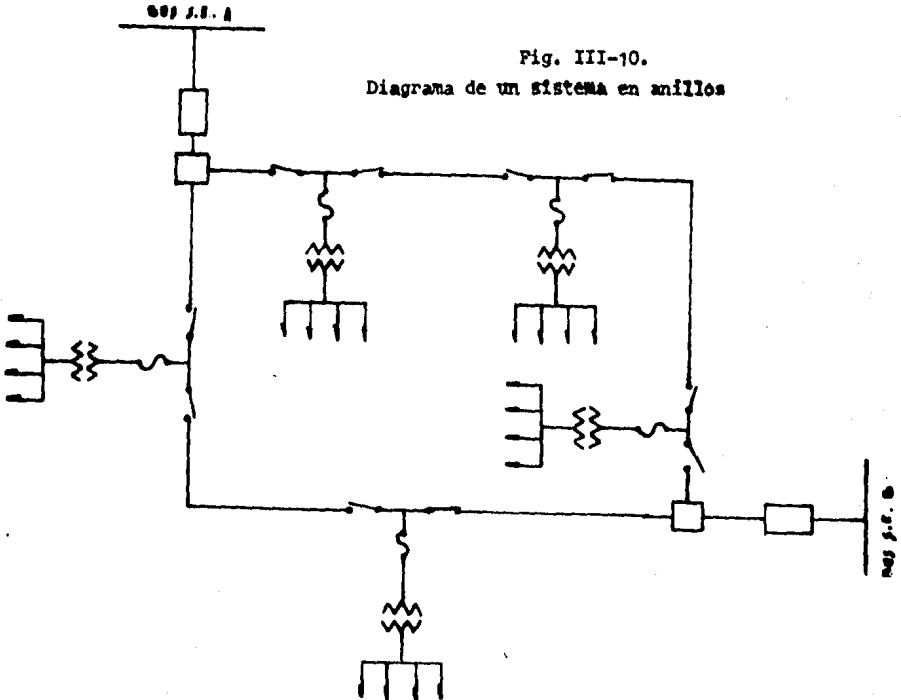


Fig. III-9.

Diagrama de un sistema primario radial con dispositivos seccionadores en alta tensión.

El anillo trabaja normalmente abierto en su punto central.

Por lo general cada centro de carga está constituido por transformadores instalados en casetas construidas expofeso o en gabinete de tipo intemperie donde se tienen dispositivos desconectores a cada lado del transformador y la protección por medio de fusibles del mismo. Al principio de las troncales hay interruptores que protegen todo el alimentador y en caso de falla operan estos. La falla es aislada abriendo los dispositivos desconectores a cada lado de la misma y una vez efectuado esto, el alimentador puede ser normalizado. En caso de una falla en la troncal el total de la carga puede ser llevado por el otro alimentador cerrando el anillo y abriendo el desconector instalado al final de la troncal dañada.



c) Sistema Primario en Derivación Múltiple.

Este sistema consiste en llevar varios cables troncales por toda el área que va a ser alimentada, de estos troncales por medio de cajas de seccionamiento o interruptores se derivarán los ramales que alimentarán el equipo que efectuará el cambio de alimentación en forma automática.

Estos equipos serán interruptores de transferencia y de ellos se deriva la acometida al servicio o a los transformadores de distribución.

Este sistema tiene la ventaja de poder proporcionar servicios en alta y baja tensión, lo cual le da flexibilidad.

Al ocurrir un disturbio en una de las troncales, la carga de este se reparte entre los alimentadores restantes en fracciones iguales.

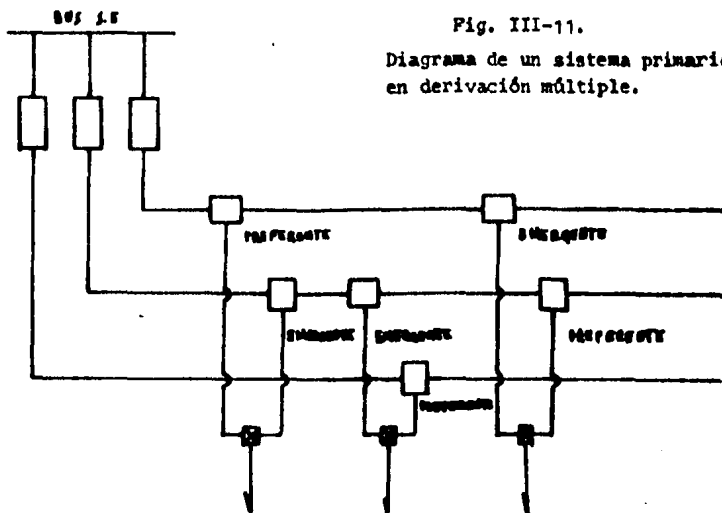


Fig. III-11.

Diagrama de un sistema primario en derivación múltiple.

III.4.- Redes Secundarias.

Las redes secundarias son el último eslabón en la cadena entre la estación de generación y los consumidores.

Al igual que los sistemas de distribución en alta tensión, también los sistemas de baja tensión tienen diferentes arreglos en sus conexiones y se siguen en general manteniendo los mismos principios de operación que en aquellos. Sin embargo hay una importante diferencia entre los primarios y los secundarios, la cual afecta su operación; esto es, que en los circuitos de baja tensión es posible trabajar con la línea viva teniendo las debidas precauciones, dando esto una mayor flexibilidad al sistema.

Este sistema al igual que el sistema de distribución en alta tensión consiste de alimentadores secundarios que tienen su origen en la B.T. de los transformadores, en cajas de distribución o en los buses de las subestaciones secundarias y que llevan la energía hasta el lugar de consumo.

Hay tres estructuras de redes secundarias en el sistema de distribución de cables subterráneos.

- a) Red Radial sin amarres
- b) Red Radial con amarres
- c) Red Automática

a) Red Radial sin amarres. - En este tipo de red cables de sección apropiada de acuerdo con la carga que alimentarán parten en diferentes direcciones, desde el lugar donde se encuentra instalado el transformador constituyendo los alimentadores secundarios. En esta red una falla en el transformador o en alguno de los cables dejará sin servicio a todos los consumidores alimentados por esta instalación.

Aún en este arreglo tan simple, es posible tener un grado de seccionalización, ya que si el problema es en los cables; una vez que la falla es localizada, el cable puede ser cortado, aislado el lado con falla y el lado en buen estado y si este está conectado a la fuente puede ser normalizado y una parte de la carga volverá al servicio mientras la reparación se hace.

El cable de baja tensión se protege a la salida de los transformadores por medio de fusibles y se instala directamente enterrado acometiendo a los servicios haciendo espalmas en "T" sobre él.

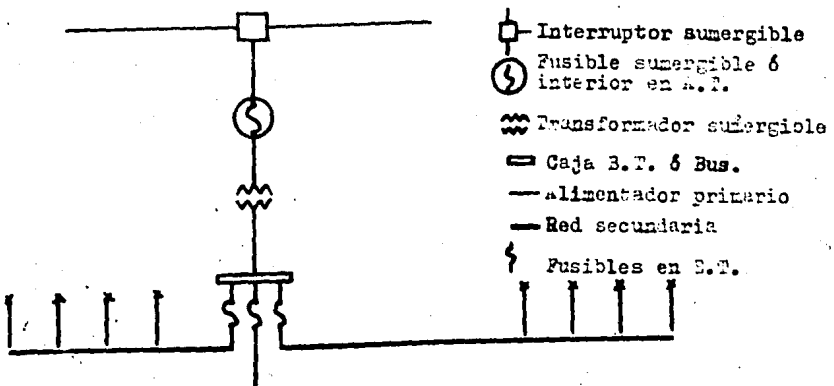


Fig. III-12.
Diagrama de una red radial en B.T. sin amarres.

a) Red Radial sin amarres.- En este tipo de red ^{sección} cables de sección apropiada de acuerdo con la carga que alimentarán parten en diferentes direcciones, desde el lugar donde se encuentra instalado el transformador constituyendo los alimentadores secundarios. En esta red una falla en el transformador o en alguno de los cables dejará sin servicio a todos los consumidores alimentados por esta instalación.

Aún en este arreglo tan simple, es posible tener un grado de seccionación, ya que si el problema es en los cables; una vez que la falla es localizada, el cable puede ser cortado, aislado el lado con falla y el lado en buen estado y si este está conectado a la fuente puede ser normalizado y una parte de la carga volverá al servicio mientras la reparación se hace.

El cable de baja tensión se protege a la salida de los transformadores por medio de fusibles y se instala directamente enterrado acometiendo a los servicios haciendo espalmas en "T" sobre él.

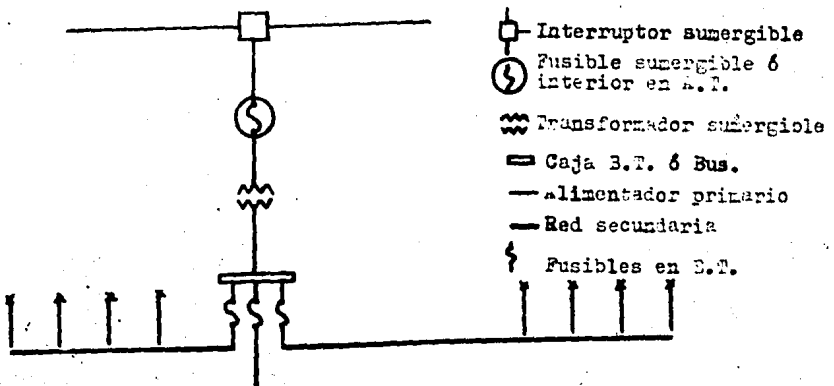


Fig. III-12.
Diagrama de una red radial en B.T. sin amarres.

b) Red Radial con amarres.- En el sistema anterior cuando se tiene una falla en el alimentador primario o en el transformador resulta en una interrupción en toda el área alimentada por éstos, hasta que la falla es reparada o el transformador reemplazado. Para cubrir esta situación así como para facilitar la restauración en el servicio cuando hay problemas en los cables secundarios se provee a la red de baja tensión de medios de amarre que consisten en cajas de seccionamiento intercalados en los cables que van de un transformador a otro y que se instalan normalmente en las esquinas con objeto de darles mayor flexibilidad en su conexión al poder recibir hasta 4 cables.

Un buen estudio respecto a la forma como estarán repartidas las cargas de los servicios para cada transformador, permitirá determinar la colocación de estos medios de amarre y seccionalización y permitirá una mayor libertad en la reparación de fallas en la alta tensión, puesto que la carga del transformador en disturbio puede ser transferida por la baja tensión a los transformadores adyacentes.

Al efectuar la construcción de la baja tensión, debe tenerse cuidado de que la secuencia de fases en todos los transformadores sea la misma a fin de que al hacer la transferencia de carga de uno a otro, la secuencia no sea invertida; lo cual perjudicaría a los consumidores. Los cables de baja tensión son también protegidos a la salida de los transformadores por medio de fusibles

instalándose también directamente enterrados a lo largo de las calles y acomtiendo directamente a los servicios.

Los transformadores podrán ser instalados en locales de edificios desig-nados para el equipo eléctrico o bien, en bóvedas construidas en la calle; dependiendo del tipo de local, el equipo que se instale; pudiendo ser del tipo interior para locales en edificios y del tipo sumergible para bóvedas.

c) Red Automática.- Este sistema de distribución en baja tensión es la solución adoptada en muchas ciudades para resolver el problema de un buen servicio y una buena regulación de voltaje en zonas importantes de ellas y donde se tiene una gran concentración de cargas uniformemente repartidas a lo largo de las calles. Este sistema garantiza un servicio prácticamente continuo, ya que las fallas en alta tensión y en los secundarios, no afectan a los usua- -rios.

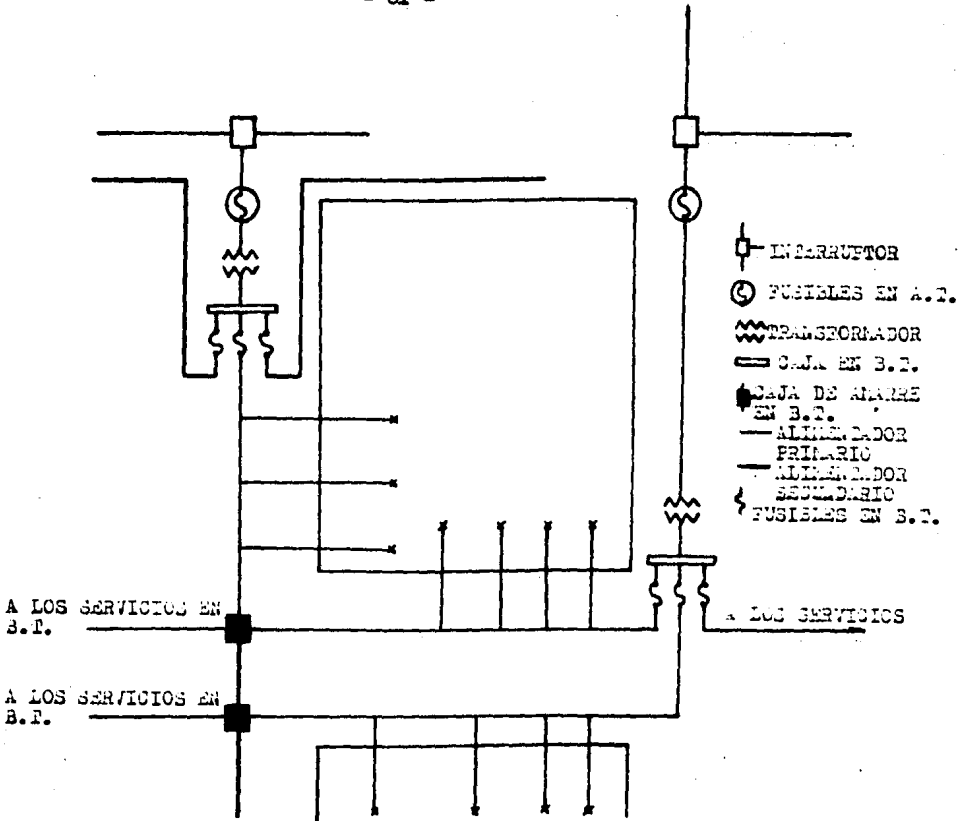


Fig. 111. 13. Diagrama de una red radial en 3.1. con aarres.

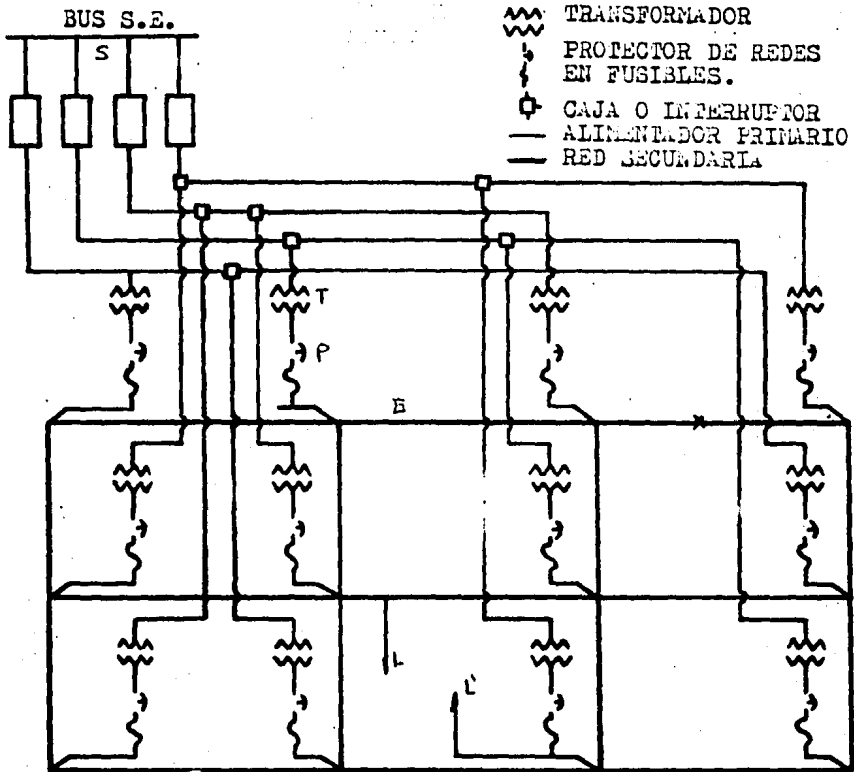
Los componentes básicos de una red automática en B.T. se indican en el diagrama de la figura III.13 mostrada. Una fuente de potencia, la cual es normalmente una subestación de distribución S es el punto de origen de dos o más alimentadores radiales sin enlace entre ellos. Estos alimentadores van hasta los centros de carga en el área de la red. Aquí son seccionados por medio de cajas de desconexión o interruptores para llevar los ramales que alimentarán directamente los transformadores de red. Los transformadores de Red T están conectados a los cables primarios de tal manera que transformadores adyacentes queden alimentados por alimentadores diferentes. Este arreglo es con el fin de que al existir un disturbio en uno de los alimentadores de alta tensión o "primera contingencia" no disminuya la regulación de voltaje en la red y la carga del alimentador en disturbio sea absorbida a través de la red secundaria por los transformadores de los otros alimentadores. Por ésta razón el diseño de los alimentadores en alta tensión debe ser tal que permita absorber el aumento de carga cuando uno de ellos falla.

Un dispositivo desconectador llamado protector P es instalado en el lado secundario de cada transformador. Este dispositivo tiene como finalidad evitar un retorno de energía de la Red de Baja Tensión a un punto de falla en alta tensión, ya que cuando un alimentador primario falla, el protector inmediatamente desconecta el transformador de la red de baja tensión.

El lado carga del protector de red es conectado a la red secundaria G.

Las cargas L y L' están conectadas a los cables secundarios que van por las -
calles directamente enterrados o bien a las terminales del protector o a los
buses de baja tensión instalados en las bóvedas o subestaciones de edificios.

Quando ocurre una falla en la red de baja tensión, el corto circuito es
alimentado por todos los transformadores, provocándose una corriente de corto
circuito suficiente para evaporar en ese lugar el material de cobre de los -
conductores, trozándose el cable en una reducida longitud y en un corto tiem-
po, quedando así aislada la falla sin provocar interrupciones, a menos que la
falla sea directamente en la acometida de un servicio.



111. 14.- Diagrama de una Red Automática en B.T.

III-6 REGULACION DEL VOLTAJE EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION:

Como se dijo anteriormente la calidad del suministro de energía eléctrica está determinada por la continuidad del servicio, la regulación del voltaje y el control de la frecuencia. Al nivel del sistema de distribución no se puede influir en el control de la frecuencia excepto en condiciones de emergencia, en que, debido a un déficit de generación (causado por ejemplo, por la súbita salida de servicio de una unidad generadora) la protección automática de baja frecuencia puede desconectar parte de la carga para ayudar a restablecer rápidamente el equilibrio entre la generación y el consumo, limitando así las consecuencias del disturbio.

Por lo que hace a la continuidad del servicio, una protección adecuada del sistema de distribución contribuye a reducir la duración de las interrupciones producidas por fallas que ocurren en dicho sistema y a limitar las repercusiones de dichas fallas. Por lo que hace a la regulación del voltaje, el diseño y la operación de los sistemas de distribución tienen una influencia fundamental en que se proporcione al consumidor un voltaje adecuado.

Los reguladores automáticos de voltaje utilizados en los sistemas de distribución se colocan generalmente en las subestaciones de distribución, aunque pueden instalarse también en algún punto de los alimentadores primarios, y tienen por objeto, neutralizar las variaciones de voltaje que se producen en la red de transmisión y compensar en parte las variaciones de voltaje que

se producen en el sistema de distribución; pueden consistir en transformadores con cambio automático de derivaciones bajo carga, que mantienen el voltaje de las barras colectoras de la subestación al voltaje deseado, o reguladores de voltaje individuales para cada alimentador que sale de la subestación, o bien comunes a un grupo de alimentadores.

Los reguladores de voltaje son, generalmente, autotransformadores con -- cambio automático de derivaciones bajo carga; en la fig. III-15 se muestra el diagrama de conexión de una fase de este tipo de regulador, se emplean tam- -- bién los llamados reguladores de inducción, en los que la regulación se obtie- ne mediante un desplazamiento del devanado primario con respecto al secunda-- rio, sin embargo este tipo tiende a desaparecer debido a su mayor costo.

Los reguladores de voltaje son actuados por un control automático que re- cibe la señal de regulación de las condiciones de voltaje y corriente existen- tes en el circuito que van a regular, a través de transformadores de potencial y de corriente con relaciones de transformación adecuados, como se indica en la fig. III-15. Si se desea mantener el voltaje constante a la salida del re- gulador, es suficiente con obtener únicamente la señal de voltaje proporciona- da por un transformador de potencial.

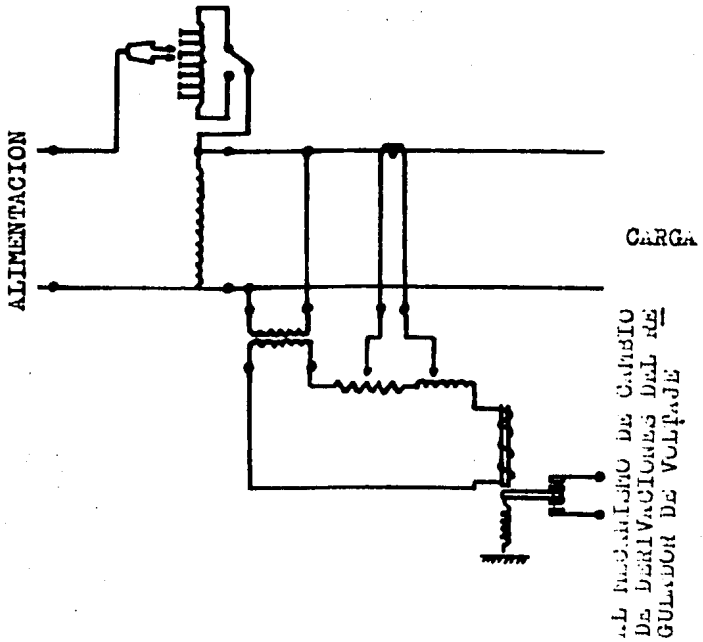


Fig.111.15.- Diagrama esquemático de una fase del regulador de voltaje y del control automático de voltaje con compensación por caída en línea.

Los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para -- operar con un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites.

Para el caso de las lámparas incandescentes, un voltaje menor que el nominal disminuye el flujo luminoso; por ejemplo una reducción de 10% del voltaje, reduce el flujo luminoso al 70% de su valor nominal y el consumo de la lámpara al 85%; un voltaje mayor que el nominal acorta la vida de la lámpara, con un 10% de aumento del voltaje, la vida teórica de la lámpara se reduce al 30% de la normal.

En los aparatos de calefacción eléctrica por resistencias, la energía consumida es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado; por lo tanto un voltaje inferior al nominal, disminuye considerablemente el calor producido, un voltaje excesivamente alto acorta la vida del aparato.

La fig. III-16 muestra la variación de las características de un motor -- de inducción en función del voltaje aplicado. El par de arranque es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado, de manera que un bajo voltaje reduce considerablemente el par de arranque. La corriente de plena carga aumenta al disminuir el voltaje, lo que puede causar calentamiento excesivo del motor, -- la velocidad del motor, en cambio, es poco sensible a las variaciones del voltaje. En general, los motores de inducción están diseñados para trabajar satisfactoriamente con variaciones del $\pm 10\%$ del voltaje nominal.

El equipo electrónico está diseñado generalmente para operar con una tolerancia del $\pm 5\%$ del voltaje. La vida del equipo electrónico se reduce notablemente al funcionar a voltajes superiores a los de diseño. Todo lo anterior hace ver la importancia de la regulación de voltajes en un sistema eléctrico. Una variación de $\pm 5\%$ del voltaje en los puntos de utilización, con respecto al voltaje nominal, se considera satisfactoria; una variación de $\pm 10\%$ se considera tolerable.

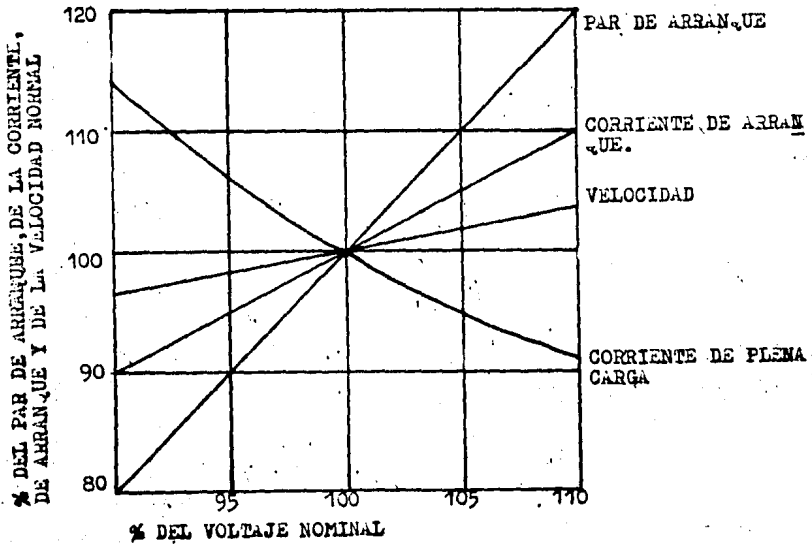


Fig.111.16.- Variación de las características de un motor de inducción en función del voltaje aplicado.

CONTROL DE LA FRECUENCIA.

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia.

En el continente americano los sistemas eléctricos funcionan a 60 Hz.

En general, el equipo eléctrico de un sistema, principalmente los generadores y los transformadores, están diseñados para funcionar a una frecuencia determinada y lo mismo puede decirse de los aparatos de utilización; al diseñarlos para poder funcionar en un rango de doble frecuencia por ejemplo de 50 Hz y 60 Hz, aumenta su costo.

El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos de utilización, como del funcionamiento del sistema mismo.

Las cargas resistivas son evidentemente, insensibles a las variaciones de frecuencia. En primer lugar la variación de la frecuencia causa una variación del mismo signo de la potencia consumida, que para algunas aplicaciones, como ventiladores y bombas centrifugas, puede significar una variación del 3% al 10% de la potencia consumida, para una variación de la frecuencia del 1% con respecto a su valor nominal para el conjunto de la carga de un sistema eléctrico un 1% de disminución de la frecuencia causa una disminución del orden de 1.5% a 2% de la carga.

En algunas aplicaciones como por ejemplo la industria de fabricación del papel, la variación de velocidad debida a la variación de frecuencia puede - afectar el buen funcionamiento del proceso de fabricación.

Tomando en cuenta todos estos factores puede decirse que desde el punto de vista del buen funcionamiento de los aparatos de utilización es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del uno por ciento.

Esto hace necesario un sistema de control adicional que restablezca la frecuencia a su valor nominal y reparta la generación entre las distintas unidades en forma adecuada.

En la realización de este trabajo consideramos una línea corta de distribución de aproximadamente 15 a 20 Km. de longitud, tomando en los ramales y con un voltaje no mayor de 40 KV. Esto es en base al tipo de voltaje con que operan los sistemas de distribución en nuestro país.

III-7 CORRECCION DE FACTOR DE 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 $\cos \theta$; este $\cos \theta$ 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 ($R I^2$) y fuertes caídas de tensión, obligando a los distribuidores de energía eléctrica a aumentar la potencia de sus plantas generadoras, transformadores y líneas. De esta 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 proviene 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 aquellos 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 salir de operación, según sean las necesidades de carga.

REGULACION DE VOLTAJE

Al conectar bancos de capacitores en alimentadores de distribución original 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 fijos en derivación es practicamente 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 esta 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.

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 estos 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.

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 esta manera las pér-
didas.

REGULACION EN UN SISTEMA ELECTRICO

La regulación es una de las medidas fundamentales de la calidad del ser-
vicio eléctrico y esta 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 deri-
vación 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 este, 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 subsincona se produce por razones similares.

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

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.

III-12 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 estos se conectan en serie con la línea y la carga.

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

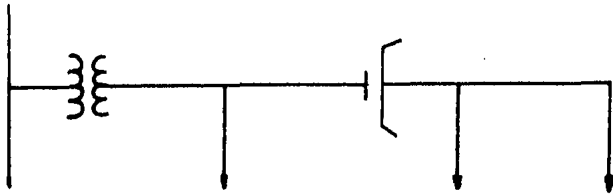


Fig.111.19.- Conexión del capacitor serie en una red de distribución

Debido a la conexión de los capacitores serie con la carga, estos producen una caída de tensión defasada 180° con respecto a la caída a través de la reactancia inductiva del alimentador. Por lo tanto, la reactancia inductiva y tiene el efecto de una reactancia negativa.

Los capacitores serie compensan en forma efectiva parte de la caída in--

ductiva, 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 esta, 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 este 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.

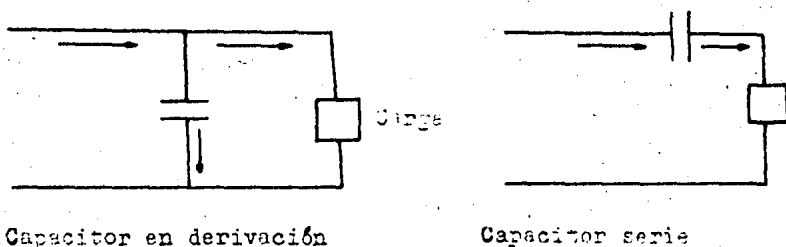


Fig.111.20.- Conexión de los capacitores en los circuitos de distribución

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 esto reducir las pérdidas y el estado de cuenta del sistema. El

capacitor en derivación puentado 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 la fuente de alimen tación. 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.

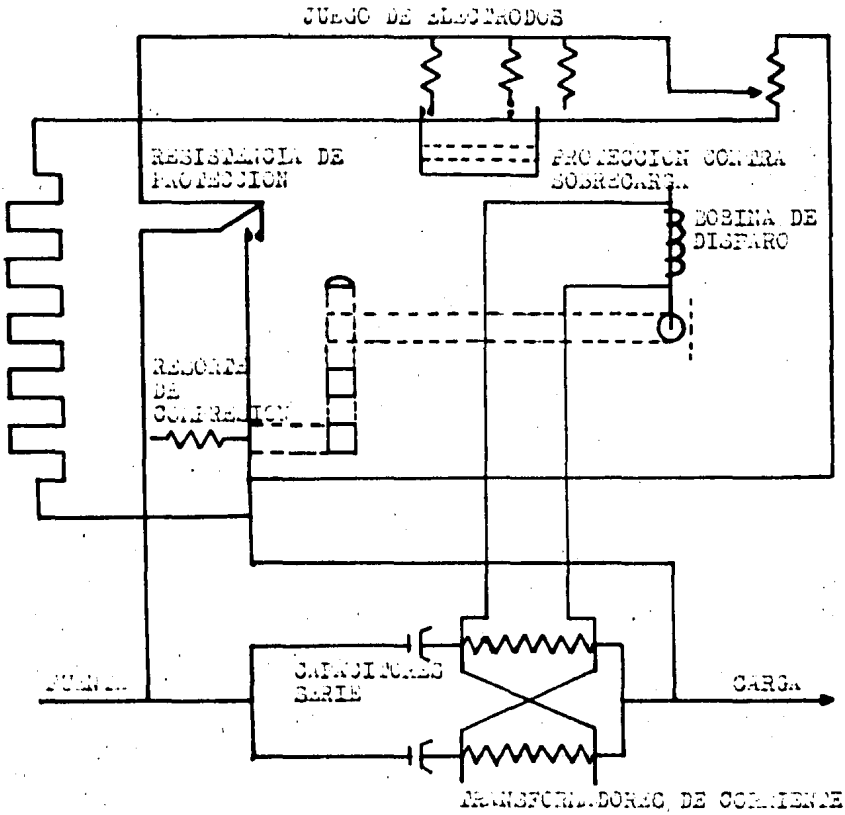


FIG.111.21. Diagrama del circuito de protección de los capacitores serie.

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 aquellos en los que se puede dañar el dieléctrico de alguna unidad, tal como podrá ser el caso de una falla monofásica o 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.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL TABLERO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

INTRODUCCION

En el desarrollo de los capítulos anteriores se mencionó la importancia que representa la distribución del fluido eléctrico a los consumidores, el cual debe de suministrarse con cierta calidad para que pueda ser utilizado de la mejor manera. Para poder satisfacer la demanda de los consumidores es necesario que el servicio que prestan las compañías suministradoras sea el adecuado para utilizarla en forma óptima.

Durante la operación del sistema de distribución se realizan constantemente pruebas para abastecer de fluido eléctrico a los usuarios; con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del equipo de suministro.

Las pruebas que se realizan en subestaciones, líneas de distribución, transformadores, seccionadores y equipo de protección, algunas se hacen en forma rutinaria y otras cuando se presenta alguna falla. Para poder hacer pruebas donde se tiene que interrumpir el servicio para maniobrar con el equipo, para esto se hace necesario el conocimiento del orden en que debe trabajarse, en un alimentador que esta fuera de servicio y el tipo de prueba que debe realizarse, tomando en cuenta todas las medidas de seguridad.

Para poder hacer frente a todas estas cuestiones y mantener en operación el sistema de distribución, debe contarse con técnicas y métodos adecuados que nos permitan actuar con seguridad y rapidez en el restablecimiento

del servicio cuando esté en régimen desequilibrado y repararlo rápidamente - cuando se ha dañado, utilizando el menor tiempo posible para no perjudicar a los consumidores.

Si se presenta un disturbio o se tiene que cambiar algún elemento del - sistema y para tener la seguridad de que continuara operando correctamente, tan pronto sea reparada la falla o después de haber cambiado un transformador, conductor o elemento de protección, se realizan las pruebas necesarias para - asegurarse de que las conexiones están bien ejecutadas y para no provocar un disturbio posterior a la reparación.

Por todo lo antes mencionado nos encontramos ante la necesidad de contar con un tablero de pruebas en el laboratorio de ingeniería eléctrica para poder realizar los experimentos que ayudarán a los alumnos del área eléctrica; a comprender y conocer las pruebas más comunes que deben desarrollarse en el campo profesional.

Para diseñar el tablero de pruebas, hemos desarrollado la teoría necesaria sobre sistemas de distribución, para apoyarnos en conocimientos básicos - de la operación y utilización de la potencia eléctrica. Este tablero se instalará en el laboratorio de máquinas eléctricas que se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. y podrá ser utilizado por los alumnos que -- esten cursando las asignaturas de sistemas eléctricos de potencia I y/o sistemas de distribución.

Para el diseño de este tablero se han tomado experiencias de otros laboratorios y prácticas rutinarias de las compañías suministradoras.

Pensando en las necesidades profesionales de los egresados de las Escuelas de Ingeniería Eléctrica, hemos pensado en el diseño de este sencillo pero práctico tablero de pruebas que servirá para comprobar y experimentar en forma práctica los conocimientos adquiridos en la teoría.

Para el uso de este tablero se han tomado una serie de consideraciones - de tipo práctico y económico de tal forma que al utilizarlo resulte ilustrativo y pueda instalarse en un espacio reducido y para un pequeño grupo de alumnos (6 - 8 alumnos), tomando como punto de partida los voltajes con que se cuenta en el laboratorio (220/127), hemos pensado desarrollar las prácticas - con este tipo de alimentación, ya que el equipo a usar fácilmente se consigue en el mercado.

Por lo antes expuesto y en base a los niveles de voltajes y corrientes que se pueden manejar, se ha pensado y se sugiere, que las dimensiones del -- tablero sean:

Largo 2.4 mts.

Ancho 1.2 mts.

El tablero deberá estar apoyado sobre una mesa o plano de trabajo teniendo 60 cm. de altura.

Sugerimos que el tablero de pruebas este apoyado sobre la mesa antes mencionada con una inclinación de 60° construido en madera.

En la parte frontal del tablero deberá colocarse el equipo de medición, diagrama trifilar, los puentes que forman las mallas del Sistema, interruptores, cuchillas, resistencias variables, capacitancias e inductancias variables, y el equipo de protección.

En la parte posterior se encuentra el circuito físico del diagrama trifilar expuesto en la parte frontal. El circuito eléctrico trifásico consta de conductores calibre AWG del número 10 con una ampacidad de 40 amperes, la separación entre conductores será de 4 cm., con el propósito de que entre conductor y conductor se pueda maniobrar al hacer las pruebas.

En el diagrama fig. IV.1 que se anexa se señalan las dimensiones de las mallas y separación de conductores, así como la ubicación correcta del alambrado de que consta el tablero, la separación de los conductores con respecto al tablero deberá ser como mínimo de 5 cm. con el objeto de que se pueda introducir un ampérmetro de gancho.

El costo estimado para la construcción de este tablero hasta enero de 1985 es de: . Hemos seleccionado el arreglo de la fig. IV.1 en base a que este diseño se ajusta a las necesidades de un sistema de distribución real, el cual tiene la flexibilidad de operar como Sistema Radial, --

anillo y red, por medio de operación de cuchillas podemos simular cualquiera de estos Sistemas de distribución.

Se puede observar en arreglo de la fig. IV.1 la ubicación de las mallas, esto nos permitirá poder seccionar cualquier área en la que se quiera efectuar alguna prueba, ya sea para medición o simular alguna falla.

La carga podrá simularse en todas las mallas o en alguna en particular - dependiendo de la prueba que se tenga que realizar.

Pensamos que el número de cuchillas que deben utilizarse en cada malla - es el adecuado, ya que lo que se pretende con esto es que el alumno pueda seccionar tramos pequeños y grandes para liberar las fallas o para simular caídas de tensión, regulación, faseo, corregir factor de potencia, interconexión de sistemas, etc.

En el manejo y operación de este tablero deben tomarse las precauciones necesarias para evitar accidentes, ya que se manejan tensiones altas.

Se recomienda que el maestro o instructor que trabaje en este laboratorio explique a sus alumnos la importancia que tiene el conocer las pruebas - que en él se realizan para despertar el interés en el alumno.

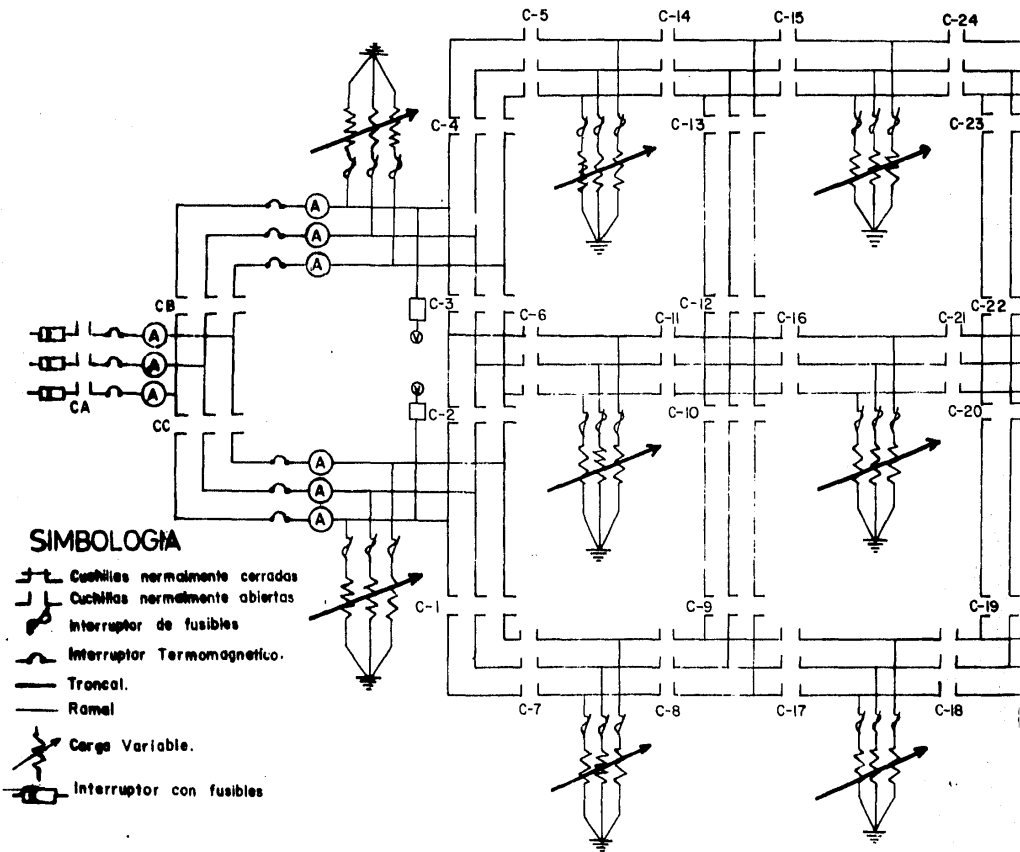
Deseamos que este trabajo sirva para ampliar los conceptos teóricos que los alumnos reciben en las aulas y se lleven a la práctica en este laboratorio, ya que cada día se hace más necesario contar con nuevas formas para ad--

quirir mayores conocimientos acerca del funcionamiento y operación de los sistemas eléctricos.

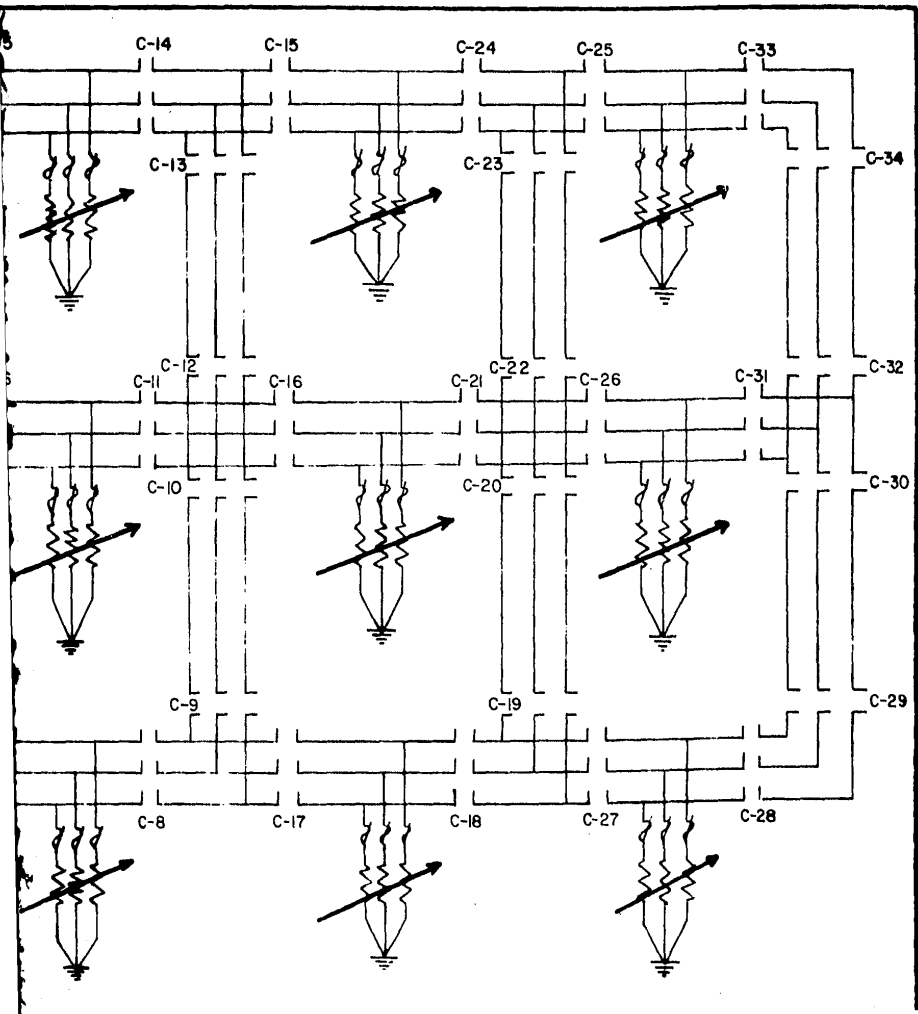
Rogamos a los maestros y alumnos que utilicen este laboratorio; mejorarlo cada día, ya que siempre será perfectible en la medida que se desee contribuir para que este intento se vea nutrido por los comentarios y opiniones de quienes no dudamos le darán toda la utilidad para lo que fue diseñado.

Fig. IV.1.

2.4 m.



2.4 m.



6 cm.
4 cm.
4 cm.

1.06 m.

CAPITULO V

PRUEBAS A EFECTUARSE EN EL TABLERO SIMULADOR

C O N T E N I D O

PRUEBAS

1. SECUENCIA DE FASES Y PRUEBAS EN PARALELO
2. CURVA DE DEMANDA
3. CAIDA DE VOLTAJE EN UNA LINEA DE DISTRIBUCION Y REGULACION DE VOLTAJE
4. FACTOR DE POTENCIA
5. SECCIONAMIENTO DE ZONAS PARA LOCALIZACION DE FALLAS.
6. BALANCEO DE FASES
7. INTERCONEXION DE SISTEMAS Y DISTRIBUCION DE CARGA
8. SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA
9. FALLAS Y SU LOCALIZACION

GENERALIDADES.

Para poder complementar los conocimientos que los alumnos del área de Ingeniería Eléctrica requieren para poder comprender las pruebas que deben realizarse, ya sea en la industria o en el laboratorio, es necesario tener un tablero de pruebas de un sistema de distribución, que deberá ser instalado en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería.

En este laboratorio, se pretende que los alumnos además de realizar sus prácticas correspondientes a máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de potencia II, cuenten con un laboratorio de sistemas eléctricos de potencia I y sistemas de distribución.

En la actualidad está funcionando el laboratorio de sistemas eléctricos de potencia II el cual se basa exclusivamente en el experimento de pruebas para sistemas de transmisión (líneas medianas y largas). El diseño de este tablero de pruebas tiene la intención de que los alumnos que utilicen este equipo puedan experimentar en él varias pruebas básicas y que son, las que deben conocer los alumnos de Ingeniería Eléctrica sobre sistemas de distribución, ya que en un sistema de potencia, el sistema de distribución es la parte de mayor importancia por que es quien hace llegar la energía eléctrica a los usuarios.

Las pruebas que se realizarán en este tablero, estan enfocadas para lí--

neas cortas (voltajes no mayores a 40 KV aproximadamente y con distancias hasta 60 Km de longitud). Las características del tablero se mencionan en el capítulo IV.

Este manual de sistemas de transmisión de potencia eléctrica explica, por medio de experimentos adecuados la distribución y uso del fluido eléctrico. Se ha hecho énfasis particularmente en la comprensión del enlace de la topología a través de líneas de transmisión con algo de lo que comunmente se enseña de forma teórica.

Los experimentos muestran de que manera afectan los cambios en la subestación, la carga y la línea de distribución al buen funcionamiento total del sistema. En particular demuestran la importancia de la operación y continuidad del servicio, como regular el voltaje al final de la línea, como corregir el factor de potencia, enlaces de sistemas radial, anillo y red, etc. Más que cualquier teoría, estos experimentos demuestran la importancia de la estabilidad del sistema de distribución.

Se emplean barras colectoras (alimentadores), resistores variables, conductores, capacitores, inductores, cuchillas, fusibles y equipo de medición (voltmetros, ampermetros, wattmetros).

A pesar de su tamaño pequeño (comparado con los gigantes de la industria), estos dispositivos están diseñados para funcionar exactamente de la misma manera, que un sistema real.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 1

SECUENCIA DE FASES Y PRUEBAS DE LINEAS EN PARALELO

PRACTICA

SECUENCIA DE FASES Y PRUEBAS DE LINEAS EN PARALELO

OBJETIVO:

Determinar la secuencia de fases de una línea de distribución trifásica.

EXPOSICION

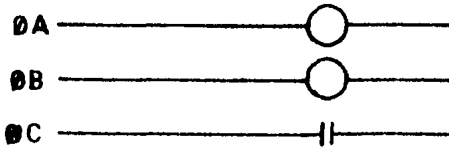
Un sistema trifásico de energía eléctrica balanceado es aquel en que los tres voltajes A, B, C, tienen igual magnitud y están defasados entre si 120° eléctricos con sentido de rotación positiva.

Sin embargo, el simple hecho de que los tres voltajes estén defasados 120° eléctricos no es suficiente. El orden en que los voltajes A, B, C, se suceden entre si, se denomina secuencia de fases o rotación de fases de los voltajes.

Esta secuencia queda determinada en la estación generadora de potencia, por el sentido de rotación de los generadores.

Es muy importante conocer la secuencia de fases de una línea de distribución cuando se conectan motores trifásicos a la línea de alimentación, ya que su sentido de rotación depende de la secuencia de las fases. La secuencia y por lo tanto, la rotación se pueden cambiar fácilmente con solo intercambiar dos de las tres líneas de potencia. Por ejemplo suponga que se trata de co--

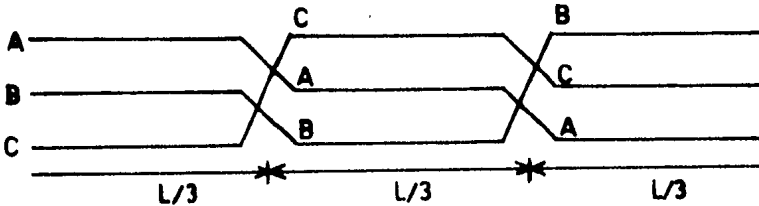
nectar un motor de 400HP para lo cual un electricista necesita dos días de trabajo soldando y conectando tres grandes terminales. Si la secuencia de fases no se determinó previamente, el motor tiene una posibilidad sobre dos de girar en el sentido indebido. Sin embargo la secuencia de fases se puede encontrar con rapidez utilizando dos lámparas incandescentes y un capacitor, conectados en estrella según la fig. V.1



Una de las lámparas brillará más que la otra. La secuencia de fases es: lámpara brillante-lámpara opaca-capacitor. En consecuencia en la fig. V.1 si la lámpara conectada a la fase B es la más brillante, entonces la secuencia de fases es BAC-BAC-BAC-.....BAC, observe que la secuencia BAC es la misma que ACB que es la misma que CBA.

Es importante señalar en esta práctica que para igualar la reactancia inductiva de los tres hilos de una línea de distribución trifásica cuyos conductores no estén equidistantes entre si, se transponen los conductores a la ter

cera parte y a las dos terceras partes de la longitud de la línea, de manera que cada conductor ocupe sucesivamente las tres posiciones posibles así como se muestra en la siguiente fig. V.2.



En este caso es fácil observar que las fases han cambiado de posición, - por lo tanto habrá que determinar la secuencia de fases en cada punto en que se desee conectar alguna carga.

La secuencia de fases puede determinarse también con un secuencímetro, - el cual girará en el sentido de las fases, esto es si la secuencia de fases a la que se conecta el secuencímetro no es la correcta, este girara en sentido contrario al sentido que debe tener un motor.

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

LAMPARAS INCANDESCENTES

CAPACITOR

SECUENCIMETRO

VOLTHETRO

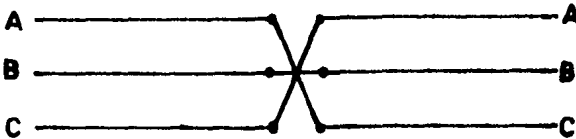
LAMPARA CON DOS PUNTAS

PROCEDIMIENTO

Advertencia.- En este experimento de laboratorio se manejan voltajes que pueden ocasionar un accidente. No haga ninguna conexión cuando el circuito - este energizado.

De acuerdo al diagrama trifilar en el que se muestran los puntos de des- conexión haga los siguientes experimentos:

- a) Determine la secuencia de fases por el método de las lámparas brillante-opaca-capacitor. Haga sus conexiones en los interruptores 12 y 10, 9, 8 y -- 15.
- b) Realice el siguiente experimento con una lámpara conectada a ambas puntas en los interruptores 2 y 3 como se muestra en la fig. V.3 siguiente.



Intercambie las conexiones y explique lo que sucede _____

c) Determine la secuencia de fases con un secuencímetro.

Suponiendo que se ha desconectado el puente 10, 9, 8, 15 y se desea conectar una zona al alimentador en que se ha presentado una falla.

Intercambie dos de los cables de la conexión y diga que pasa con el sentido de giro del secuencímetro y con la secuencia de fases.

Diga que otros problemas se presentan cuando no se tiene la secuencia de fases correcta.

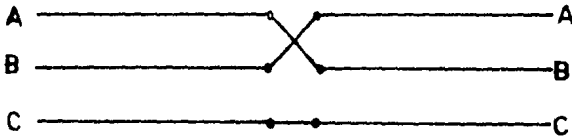
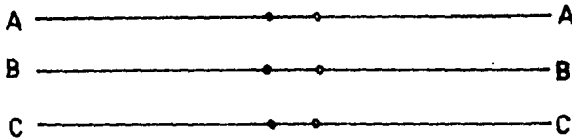


Fig. V.4



DIAGRAMAMA TRIFILAR

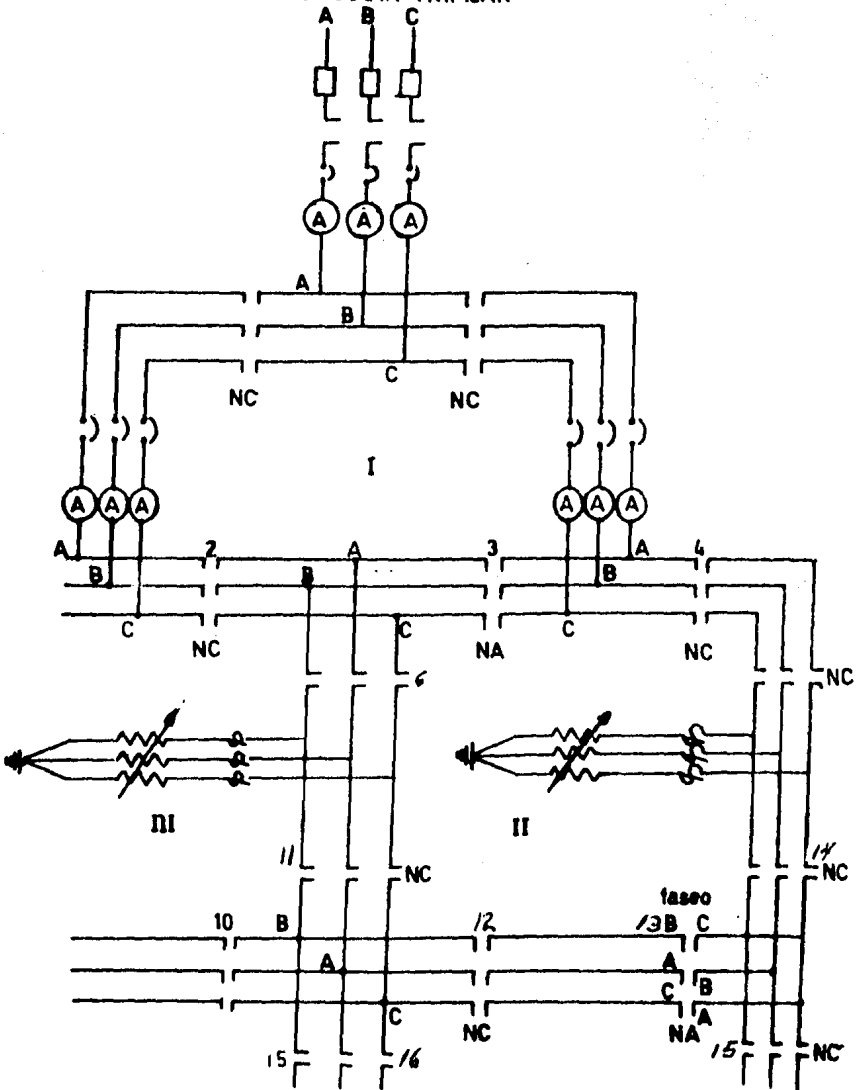


FIG.V.5

d).- El diagrama trifilar representa la alimentación a las zonas I, II y III en el cual se muestran las conexiones entre las diferentes zonas.

Suponga que por alguna razón se realizarón maniobras en las cuchillas número 7 y se conectaron las fases así como se muestra en el diagrama. Determine la secuencia de fases por cualquiera de los métodos descritos y haga la conexión correcta.

U. N. A. N.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 2

CURVA DE DEMANDA

INTRODUCCION

La carga global de un sistema esta constituida por un gran número de cargas individuales de diferentes clases (industrial, comercial, residencial, - alumbrado público, etc.) de potencia pequeña comparada con la potencia total consumida por el sistema.

La potencia suministrada en cada instante por un sistema es la suma de - la potencia absorbida por las cargas más las pérdidas en el sistema. Aunque la conexión y la desconexión de las cargas individuales es un fenómeno aleatorio, la potencia total varía en función del tiempo siguiendo una curva que -- puede predeterminarse con bastante aproximación y que depende del ritmo de las actividades humanas en la región servida por el sistema.

Existen tres factores que afectan la curva de demanda y son:

- 1.- Epoca del año.
- 2.- Clima del área servida
- 3.- Día de la semana.

En la figura siguiente se muestra la curva que representa la variación - de la potencia real suministrada por un sistema en función del tiempo, durante un período de 24 horas. El área bajo la curva representa la energía eléctrica generada durante ese período de tiempo.

La ordenada máxima de la curva determina la capacidad de generación de -

que se debe disponer para poder satisfacer la demanda.

La relación entre el área bajo la curva y el área que se obtendrá si la demanda se mantuviese a su valor máximo durante todo el periodo de tiempo considerado, se llama factor de carga.

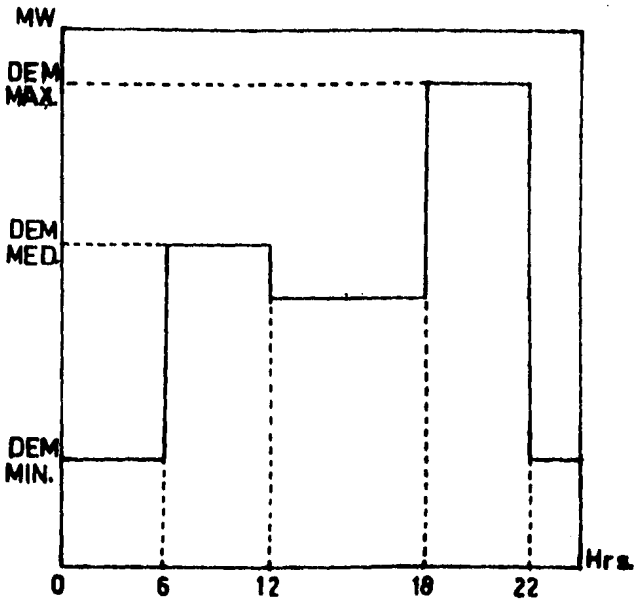


fig. V.6.

CARGAS DE UN ALIMENTADOR TIPO

- 1.- Residencial 20%
- 2.- Industrial 30%
- 3.- Comercios y oficinas 20%
- 4.- Alumbrado público 5%
- 5.- Escuelas 10%
- 6.- Hospitales 10%
- 7.- Bombas de agua y servicios -
públicos 5%
- Total 100%

De acuerdo con estos valores podemos obtener los porcentajes para las di
ferentes horas del día, que son como se muestra a continuación.

	0 - 5	5 - 7	7 - 12	12 - 14	14 - 18	18 - 21	21 - 24
1	25%	80%	50%	70%	70 %	90%	40%
2	30%	80%	100%	100%	100%	50%	30%
3	5%	50%	100%	100%	100%	50%	20%
4	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
5	10%	40%	100%	100%	50%	80%	10%
6	40%	80%	100%	100%	100%	100%	50%
7	80%	30%	20%	20%	20%	40%	70%

Para el desarrollo de esta práctica supondremos que tenemos una tensión balanceada y de secuencia positiva.

Suponga un alimentador tipo de 5000 KVA. con un factor de carga de - - 0.50. A un factor de potencia de 0.85 atras. A una frecuencia de 60 c.p.s. - con un voltaje de distribución de 23 KV. 200 VOLTS.

OBJETIVOS:

Al terminar esta práctica, la construcción de los circuitos las pruebas y la evaluación de los resultados, el alumno podrá:

- a).- Obtener la curva de demanda de un sistema dado.
- b).- Determinará la capacidad de generación de que se debe disponer para poder satisfacer la demanda.
- c).- Podrá obtener el factor de carga del sistema.

DESARROLLO DE LA PRACTICA.

Material:

3 Amperímetros

3 Voltímetros

1 Motor de inducción de 220 VOLTS. 30 hp. $n=0.85$ y $f,p=0.85$ atras.

Reostatos.

Cables conectores.

Obtendremos las lecturas procediendo de la siguiente manera

Primera lectura.

De 0 a 5 hrs.

Se obtendrá de el tablero de distribución el siguiente arreglo.

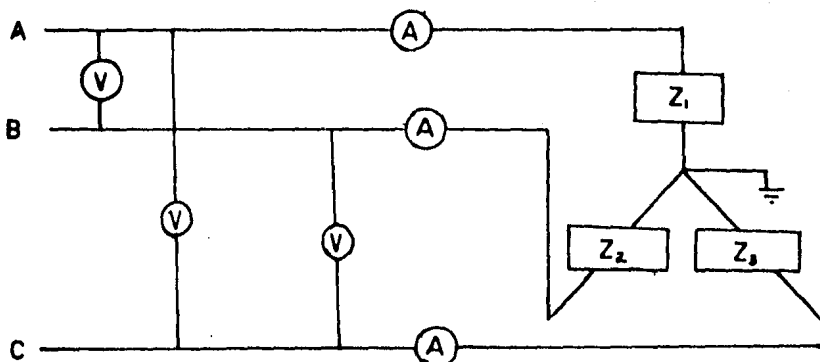


fig.V.7.

Es de suponer que de acuerdo con este horario se encuentran funcionando cargas como las que se muestran en la tabla adjunta.

Tomando las lecturas de los voltmetros y de los amperímetros y haciendo los cálculos necesarios obtenemos el primer punto de la curva.

Segunda lectura. De 5 a 7 hrs.

Este intervalo se tomo así ya que experimentalmente se ha demostrado que durante este período de tiempo la carga es la que aparece en la tabla.

De acuerdo con la hora del día se puede observar de la gráfica de la in-

roducción teórica que la carga tiende a aumentar por lo tanto utilizaremos - el circuito de la figura V.7 pero le tendremos que aumentar carga.

Tercera lectura. De 7 a 12 hrs.

La carga se incrementa ya que de acuerdo con este horario empiezan a fun cionar; industrias, oficinas, cargas de tipo doméstico además de las cargas - que ya se tenían anteriormente. Unicamente la carga que se desconecta es la del alumbrado público.

Simularemos esta carga de acuerdo con el siguiente arreglo de la fig. - V.8.

Alambre el siguiente circuito para obtener la potencia.

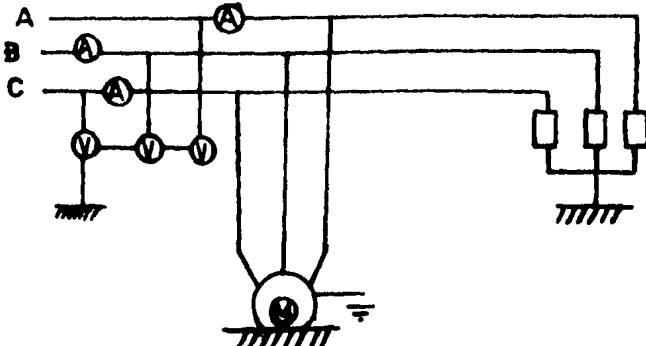


fig.V.8.

Cuarta lectura. De 12 a 14 hrs.

Se observa que la carga empieza a descender a partir de las 12 hrs. Pero se acentua más este descenso aproximadamente a las 15 hrs. Posiblemente por que en muchas fábricas, oficinas y hogares se suspenden muchas actividades por la hora de la comida.

Continuaremos con el mismo circuito para calcular la potencia, solo que la carga la bajaremos.

Cuarta lectura. De 14 a 18 hrs.

La carga se incrementa de manera vertical hasta llegar a su pico máximo, alrededor de las 18 hrs. a esta hora entra casi de lleno la carga de tipo residencial además de que algunas fábricas y oficinas continúan trabajando.

Para obtener la ordenada de este punto utilizaremos el mismo arreglo pero con una impedancia máxima que nos de el pico máximo.

Quinta lectura. De 18 a 21 hrs.

El pico máximo de la carga se tiene a las 20 hrs. después la carga empieza a descender, esto se debe a que muchas cargas se desconectan.

Calcularemos este punto eliminando carga del circuito anterior.

Sexta lectura. De 21 a 24 hrs.

Se observa que la carga esta en pleno descenso, obtendremos esta lectura desconectando el motor y regresando al circuito original.

NOTA. Las cargas se elegirán de acuerdo con los porcentajes dados en la tabla tomando en cuenta los demás datos de la práctica.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 3

CAIDA DE VOLTAJE EN UNA LINEA DE DISTRIBUCION

Y REGULACION DE VOLTAJE.

EXPERIMENTO DE LABORATORIO No. 3

**CAIDA DE VOLTAJE EN UNA LINEA DE DISTRIBU
CION Y REGULACION DE VOLTAJES.**

INTRODUCCION.

Regulación del voltaje en los sistema de distribución.

Se define la regulación del voltaje de una línea, como el porcentaje de aumento del voltaje receptor cuando se desconecta la carga plena, permaneciendo constante el voltaje generador y estando referido ese porcentaje de aumento al voltaje receptor con plena carga.

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_{ro} - V_r}{V_r} \times 100 \text{ ---}$$

V_{ro} = módulo del voltaje en vacío en el extremo receptor.

V_r = módulo del voltaje a plena carga en el extremo receptor.

En el caso de una línea corta, en la que se desprecia la capacitancia al neutro de la línea, el voltaje en vacío en el extremo receptor es igual al voltaje aplicado en el extremo generador, para este caso la expresión de la regulación queda de la siguiente forma.

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_g - V_r}{V_r} \times 100$$

V_g = módulo del voltaje en el extremo generador.

Regulación del voltaje en los sistemas de distribución

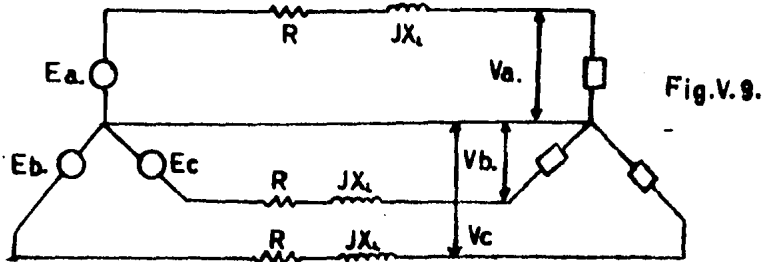
La calidad del suministro de energía eléctrica esta determinada por la -

continuidad del servicio, la regulación del voltaje y el control de la frecuencia.

Al nivel del sistema de distribución no se puede influir en el control de la frecuencia excepto en condiciones de emergencia, en que, debido a un déficit de generación (causado por ejemplo, por la súbita salida de servicio de una unidad generadora) la protección automática de baja frecuencia puede desconectar parte de la carga para ayudar a restablecer rápidamente el equilibrio entre la generación y el consumo, limitando así las consecuencias del disturbio.

Por lo que hace a la continuidad del servicio, una protección adecuada del sistema de distribución contribuyen a reducir la duración de las interrupciones de dichas fallas. Por lo que hace a la regulación del voltaje el diseño y la operación de los sistemas de distribución tiene una influencia fundamental en que se proporcione al consumidor un voltaje adecuado.

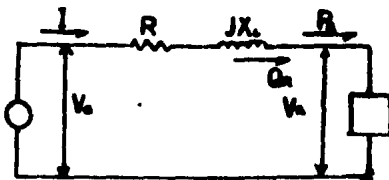
Para nuestro caso en líneas cortas (no más de 60 Km. de longitud y de voltajes no mayores de 40 KV, aproximadamente) la capacitancia de la línea puede generalmente despreciarse y entonces cada fase de la línea puede representarse por una impedancia en serie igual a la impedancia por unidad de longitud multiplicada por la longitud de la línea.



CIRCUITO MONOFASICO DE FASE A NEUTRO EQUIVALENTE A UNA DE LAS FASES DEL CIRCUITO TRIFASICO EQUILIBRADO DE LA FIG. V.10

$$V_g = V_R + ZI$$

$$V_g = V_R + I (r + j X L)$$



Reguladores de Voltaje

La regulación del voltaje consiste en mantener el voltaje aplicado a las instalaciones de los consumidores lo más próximo posible a su valor nominal.

Los reguladores automáticos de voltaje utilizados en los sistemas de distribución se colocan generalmente en las subestaciones de distribución, aunque pueden instalarse también en algún punto de los alimentadores primarios y tienen por objeto neutralizar las variaciones de voltaje que se producen en la red de distribución y compensar en parte las variaciones de voltaje que se producen en el sistema de distribución, pueden consistir en transformadores con cambio automático de derivaciones bajo carga, que mantienen el voltaje de las barras colectoras de la subestación al voltaje deseado o reguladores de voltaje individuales para cada alimentador que sale de la subestación. Los reguladores de voltaje son generalmente autotransformadores con cambio automático bajo carga.

Los reguladores de voltaje son actuados por un control automático, que recibe la señal de regulación de las condiciones de voltaje y corriente existentes en el circuito que van a regular, a través de transformadores de potencia y de corriente con relaciones de transformación adecuadas.

Si la potencia reactiva se produce en un lugar próximo a donde se va a consumir y se evita así su transmisión por el sistema de distribución, se obtienen los siguientes beneficios:

- 1.- Se reduce la corriente que circula por el sistema de distribución, liberando capacidad instalada para la transmisión de potencia real.
- 2.- Se reducen las caídas de voltaje en el sistema de distribución, contribuyendo así a mejorar la regulación del voltaje.
- 3.- Se reducen las pérdidas en el sistema de distribución.

La producción económica de potencia reactiva en puntos próximos a las cargas ha sido posible por el perfeccionamiento de los capacitores o condensadores estáticos. Para obtener bancos de capacitores de la capacidad deseada se conectan en paralelo el número de capacitores necesarios.

Instrumentos y Componentes

Fuente de suministro de potencia eléctrica:

Resistencias

Capacitores

Voltmetros

Ampérmetros

Precaución:

¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga conexión alguna con la fuente de potencia encendida!

A-1 Conecte las resistencias en serie con la línea trifásica y aplique una tensión de 220 volts línea a línea. Conecte los interruptores C-1, C-7, C-8, C-17 que abarcan las mallas I, III, V, desconecte los interruptores C-2, C-9 y C-18 y realice las mediciones de voltaje como se indican en el diagrama trifilar, tome las lecturas y llene la tabla 1, haga variar la resistencia con los valores indicados en la tabla, tome los valores de voltaje de línea a línea y calcule la regulación de voltaje en cada caso.

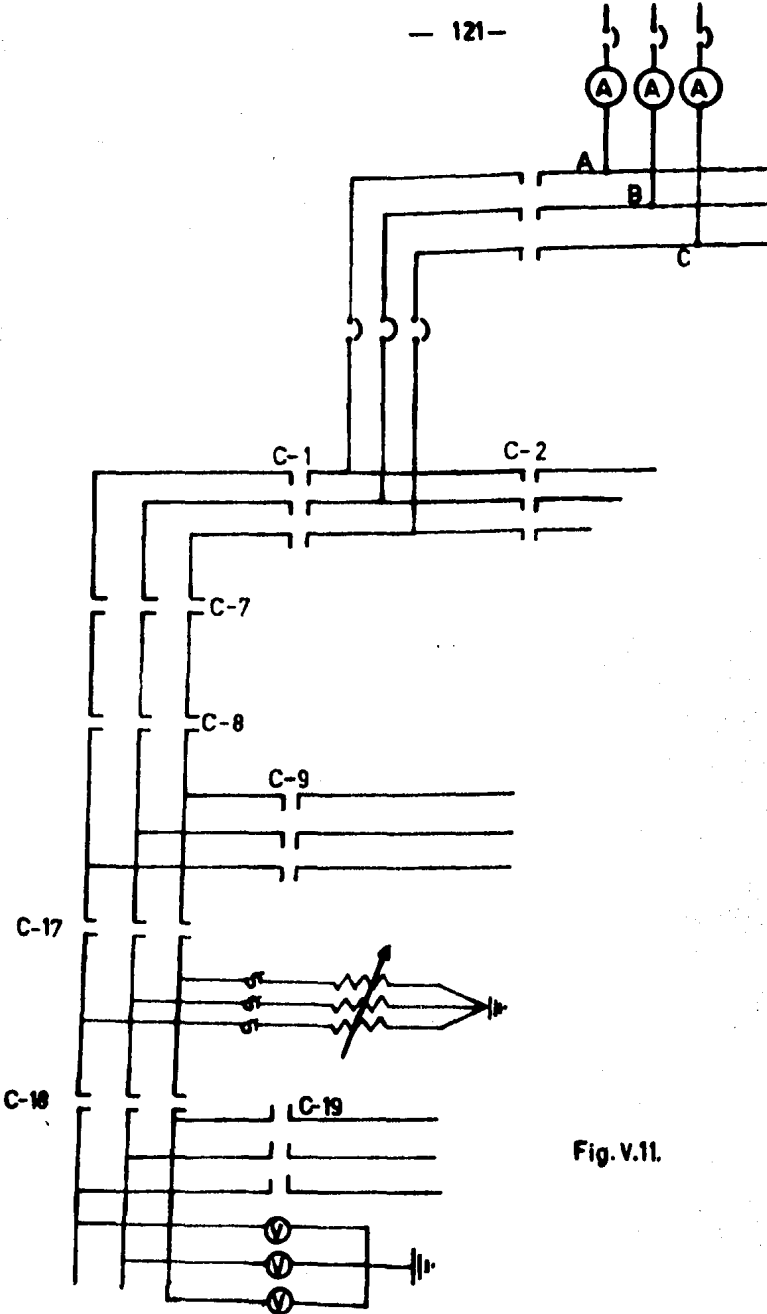


Fig. V.11.

RA, RB, RC	V _T	V _R	% Reg.
20			
40			
60			
80			
100			
120			
146			
160			

TABLA 1

A-2 Repita el experimento A-1 pero ahora conecte capacitores en paralelo en el interruptor C-17 antes de las resistencias variables, haga variar las resistencias y tome los valores de voltaje y llene la tabla 2.

Ca Cb Cc	V_T	V_R	V_C	% Reg
20				
40				
60				
80				
100				
120				
140				

TABLA 2

Explique los resultados que observó.

A-2 Explique que es lo que sucede al aumentar el valor de la resistencia en las tres fases. _____

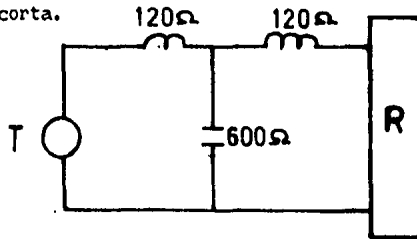
Como se puede regular el voltaje en caso de que la caída de voltaje sea muy grande.

¿De cuántas maneras se puede regular el voltaje?

Explique por que al emplear un conductor de un calibre mayor a la que se necesita, la caída es menor.

Ejemplo práctico de una línea corta.

Fig.V.12.



Una línea de distribución, que tiene 50 Km. de longitud, tiene una reactancia de 240 ohms por fase y una capacitancia línea a neutro de 600 ohms por fase. Su circuito equivalente por fase puede ser aproximado mediante el circuito que se muestra en la figura V-12. Si el voltaje línea a línea en el extremo transmisor T es de 23 000 V.

¿Cuál es el voltaje línea a línea en el extremo receptor R, cuando esta desconectada la carga?

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 4

FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA

INTRODUCCION.

En las aplicaciones industriales comunmente se trabaja con cargas inductivas, ya que en industrias como en comercios se emplean motores eléctricos. El trabajar con cargas inductivas ocasiona que la onda de corriente se retrase respecto a la onda de tensión.

En las redes eléctricas de corriente alterna, pueden distinguirse dos tipos fundamentales de cargas; cargas ohmicas o resistivas y cargas reactivas.

En las cargas ohmicas la onda de corriente que por ellos circula se encuentra en fase con la onda de voltaje aplicada a las mismas, debido a estas circunstancias la energía eléctrica que consumen se transforma integramente - en trabajo mecánico, calor, luz, o en cualquier otra forma de energía no retornable directamente a la red eléctrica, este tipo de onda es la componente activa de la corriente.

Por otra parte, en las cargas reactivas ideales, la onda de corriente se encuentra defasada 90° respecto a la onda de voltaje en ellas aplicada y por consiguiente, la energía que llega a las mismas no se consume en ellas, sino que se almacena en forma de campo eléctrico o magnético, durante un corto período de tiempo (un cuarto de ciclo) y se devuelve a la red de un tiempo idéntico al que tardó en almacenarse, este proceso se repite periódicamente si -

guiendo las oscilaciones de la onda de voltaje aplicada a la carga, este tipo de onda de corriente es la componente reactiva de corriente.

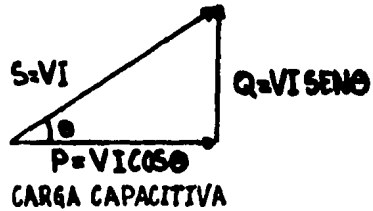
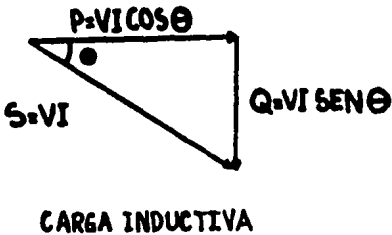
En las cargas representadas por lámparas fluorescentes, motores eléctricos, equipos de soldadura eléctrica, hornos de inducción, bobinas de reactancia, etc., la parte reactiva de la carga puede ser de una magnitud menor, -- igual o mayor a la de la parte puramente resistiva.

En casos como los mencionados anteriormente, además de la componente activa de la corriente necesaria para producir trabajo o una función determinada, la carga también necesita una parte adicional, la componente reactiva de la corriente, ya que ésta componente reactiva de corriente es indispensable -- para energizar los circuitos magnéticos de los equipos anteriormente mencionados.

El factor de potencia es la relación entre la potencia real y la potencia aparente que se entrega a la carga.

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{\text{Potencia real (watts)}}{\text{Potencia aparente (VA)}}$$

En relación de la definición anterior podemos concluir que una razón por la cual es importante verificar el factor de potencia es que; dicho factor es un indicador de la potencia realmente aprovechada y la potencia total suministrada.



Otra razón por la cual es conveniente y necesario tener un alto factor - de potencia, es una razón económica, ya que en el diario oficial de la federación de fecha 19 de enero de 1962 en la parte referente a disposiciones complementarias específica lo siguiente:

"Factor de Potencia".- El consumidor procurará mantener un factor de potencia tan próximo a 100% como sea práctico; pero en caso de que su factor de potencia durante cualquier mes tenga un promedio menor de 85% atrasado, determinado por métodos aprobados por la Secretaría de Industria y Comercio, el su ministrador tendrá derecho a cobrar al consumidor la cantidad que resulte de multiplicar el monto del recibo correspondiente por 85 y dividir el producto entre el factor de potencia medio atrasado en por ciento observado durante el mes.

OBJETIVO.- Comprobar experimentalmente que el factor de potencia de una

carga inductiva se corrige mediante capacitores conectados en paralelo a la carga.

Corrección del Factor de Potencia.

Una forma sencilla de corregir el factor de potencia es por medio de capacitores conectados en paralelo a un equipo en particular o a la carga que supone una instalación completa. Dicho banco de capacitores representa una carga reactiva de carácter capacitivo que origina ondas de corrientes defasadas 90° adelante respecto al voltaje, estas ondas de corriente al encontrarse en oposición de fase con respecto a las ondas de corriente reactiva de tipo inductivo, tienen por efecto reducir la componente reactiva total que consume la carga en cuestión.

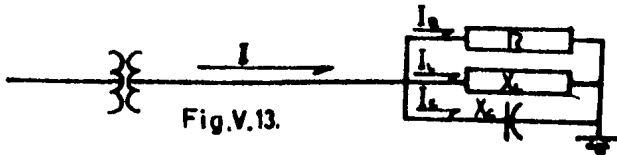


Fig.V.13.

Instalación eléctrica de una planta industrial monofásica con capacitores instalados.

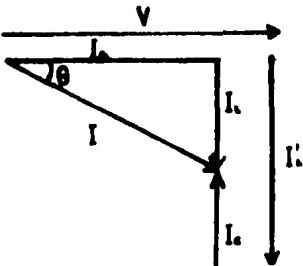


Fig.V.14.

Componente reactiva de la corriente (I_L') y corriente total de línea al instalar un banco de capacitores (I)

De la figura se observa que variando la carga capacitiva instalada X_c (o lo que es lo mismo la potencia del banco de capacitores) el ángulo θ se puede modificar y puede reducirse tanto como se quiera y por consiguiente el factor de potencia puede aproximarse a 100% tanto como sea conveniente.

El modificar el factor de potencia de una carga inductiva a fin de corregirla por medio de bancos de capacitores, tiene por objeto aumentar el factor de potencia para que la intensidad de corriente y la potencia aparente disminuyan, y como resultado se consiga un mejor aprovechamiento del voltaje y la corriente de la red de distribución.

PROCEDIMIENTO:

Para efectuar esta práctica en nuestro tablero simularemos cargas que nos provoquen factores de potencia atrasados y corregirlos mediante la implementación de bancos de capacitores en paralelo con la carga.

Para tener factores de potencia diferentes de 1 conectaremos como carga a nuestro tablero, inductancias variables; estas nos provocaran un factor de potencia atrasado, el cual corregiremos con capacitores.

Una forma de determinar el factor de potencia es midiendo la potencia real y la potencia reactiva que consume la línea.

$$f.p. = \frac{\text{pot. real}}{\text{pot. reactiva}}$$

Para obtener el valor de los capacitores tenemos.

$$S = VI^* = VI^* = ZII^* = Z/I^2 = (R+jx)/I^2 = R/I^2 + jx/I^2$$

$$\text{Si } I/I = \frac{V/Z}{Z} \quad S = R \frac{V/Z}{Z^2} + jx \frac{V/Z}{Z^2}$$

$$\text{como } Z^2 = R^2 + X^2$$

$$\text{entonces } S = \frac{R/V^2}{R^2+X^2} + j \frac{X/V^2}{R^2+X^2}$$

Cuando tenemos capacitores como carga $R \rightarrow 0$

$$S = \frac{R/V^2}{R^2+X^2} + j \frac{X/V^2}{R^2+X^2}$$

$$\therefore S = \frac{V^2}{X} \quad \text{donde } X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\text{entonces } S = V^2 \omega C = Q_C / V^2 \omega C$$

$$C = \frac{Q_C}{V^2 \omega}$$

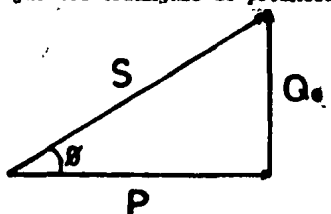
donde ω = radianes
 $\omega = 60 \text{ c/s} \rightarrow$ frecuencia de la línea

De la medición tendremos potencia real "P" y potencia reactiva "Q"

Si deseamos corregir un f.p. atrasado; fijamos el f.p. al cual deseamos

que opere nuestro sistema.

La potencia reactiva que nos proporcionan los capacitores se representa en el siguiente triángulo de potencias.



$f.p. = \cos \phi$ es el $f.p.$ al cual deseamos que opere el sistema.

$$\therefore \phi = \arccos f.p.$$

Del diagrama anterior conocemos "P" y conocemos " ϕ ", por lo tanto podemos conocer el valor de "Qc".

$Q_c = (\tan \phi) (P)$ v $Q_1 = \tan (\phi) P$. - donde ϕ es el $\arccos (f.p.)$ se desea modificar.

Por lo tanto para obtener el valor del capacitor, tenemos:

$$Q_c = Q_1 - Q_0$$

$$/ Q_c / = / V^2 / C W$$

$$C = \frac{/ Q_c /}{/ V^2 /}$$

NOTA: Los valores para especificar el capacitor son:

C [F]

Qc [VAR]

V [Volts]

Diagrama de conexiones

Los diagramas de conexión de la carga que se muestran a continuación, se podrán conectar en cualquiera de los puntos de conexión de carga (C1 a C 11) de nuestro tablero de pruebas.

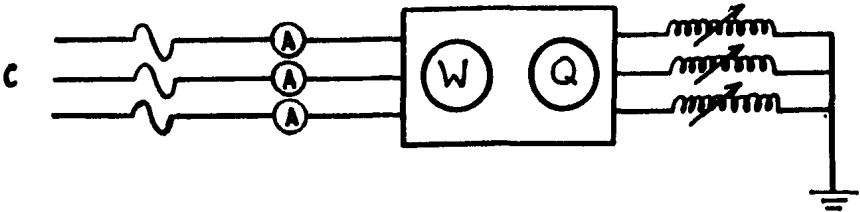


Diagrama de conexiones para una carga inductiva.

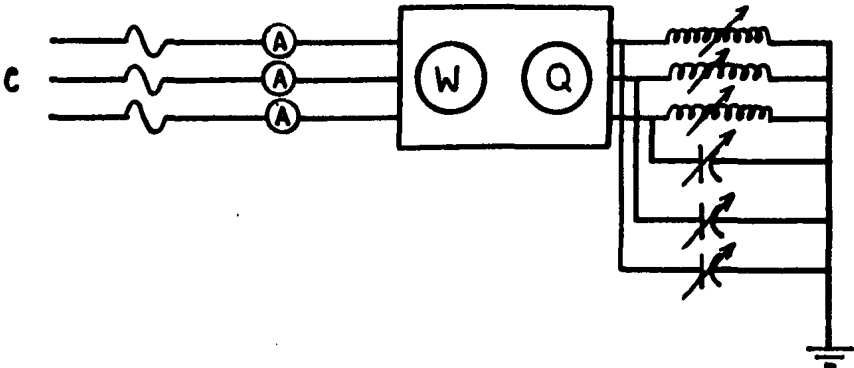


Diagrama de conexiones de una carga inductiva con capacitores en paralelo para corrección del factor de potencia.

PREGUNTAS:

1. Varie las inductancias de la carga hasta obtener un factor de potencia menor de .8 y determine el valor de los capacitores para obtener un factor de potencia de .9
2. ¿Cómo es la potencia aparente que consume la carga cuando tenemos - capacitores y cuando no los tenemos?
3. ¿Cómo es el valor de la corriente cuando solo tenemos inductancias - en la carga y cuando conectamos capacitores; explique a que se debe?

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 5

SECCIONAMIENTO DE ZONAS PARA LOCALIZACION DE FALLAS

SECCIONAMIENTO DE ZONAS PARA LOCALIZACION DE FALLAS

OBJETIVO:

Simular las operaciones que se realizan en los sistemas de distribución para aislar las zonas donde se presentan las fallas, sin poner fuera de servicio el resto del sistema.

PROCEDIMIENTO:

Para aislar una falla, tomaremos una sección del sistema de distribución en donde provocaremos una falla y para aislarla del resto del sistema abriremos las cuchillas que consideremos están alimentando la falla. Para efectuar la apertura y cierre de cuchillas y determinar si en ese tramo se encuentra la falla deberá haber comunicación entre la persona que abre y cierra las cuchillas y el encargado del sistema de medición y control (operador del sistema) que será quién observe si la corriente aumenta considerablemente y haga operar las protecciones.

PROCEDIMIENTO:

FALLA

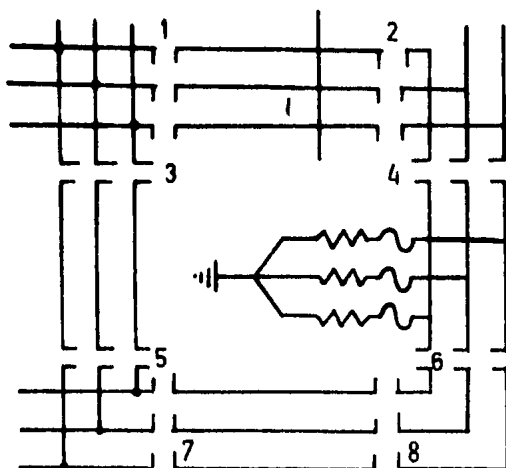


Fig. V.15.

De la sección VI del sistema de distribución que se muestra, consideramos que entre las cuchillas 1 y 2 existe una falla, para aislar ésta falla será necesario abrir las cuchillas 1 y 2. En caso de que no supiéramos la ubicación de una falla. El procedimiento para localizarla será abriendo cuchillas 1 y 2, 3 y 5, 4 y 6 ó 7 y 8, hasta determinar el lugar preciso en donde se encuentra la falla.

En general para aislar un tramo de una sección de un sistema de distribución, cuando no se tiene localizada la falla es necesario ir abriendo pares de cuchillas hasta localizar la falla.

Cuando se diseña un sistema de distribución debe tomarse muy en cuenta -

que es posible que por alguna razón, puede ocurrir una falla en la línea y -
que cuando esta suceda, no afecte a una zona muy grande alrededor de la falla.
Por tal motivo cuando se presenta una falla debe aislarse con el propósito de
que la falla este independiente del sistema y con esto se afecte al menor nú-
mero posible de consumidores.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 6

BAIANCEO DE FASES

BALANCEO DE FASES.

OBJETIVOS:

- a) Determinar el balanceo de cada una de las fases del sistema.
- b) El alumno conocerá lo que puede ocurrir si el sistema está desbalanceado.

INTRODUCCION:

Los sistemas de redes son alimentados por generadores trifásicos. Comúnmente los generadores alimentan cargas trifásicas balanceadas, lo cual significa cargas con impedancias idénticas en las tres fases. Las cargas de alumbrado y motores pequeños son, por supuesto, monofásicas, pero los sistemas de distribución se diseñan para que las fases estén esencialmente balanceadas.

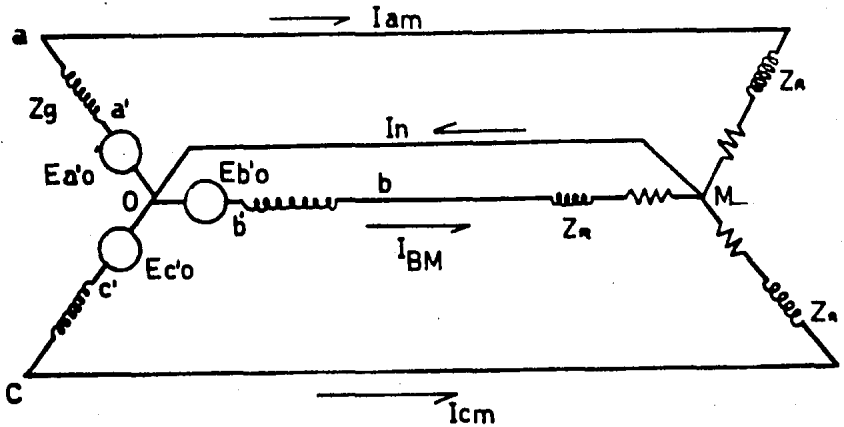


Fig. V. 16.- DIAGRAMA CIRCITAL DE UN GENERADOR \star CONECTADO A UNA CARGA \star BALANCEADA.

En el estudio de este circuito suponemos que las impedancias de las conexiones entre las terminales del generador y la carga, así como la impedancia de la conexión directa entre O y M, se puede no tomar en cuenta.

Este circuito consta de una f. e. m en cada una de las tres fases. Cada f. e. m está en serie con una resistencia y una reactancia inductiva conformando la impedancia Z_g . Los puntos a', b' y c' son ficticios, puesto que la f. e. m generada no puede separarse de la impedancia de cada fase. Las terminales de la máquina son los puntos a, b y c. En el generador las f. e. m.s -- $E_{a'o}$, $E_{b'o}$, $E_{c'o}$ son iguales en magnitud y separados una de otra 120° en fase.

En las terminales del generador (y en la carga en este caso) los voltajes terminales a neutro son:

$$V_{ao} = E_{a'o} - I_{am}Z_g$$

$$V_{bo} = E_{b'o} - I_{bm}Z_g$$

$$V_{co} = E_{c'o} - I_{cm}Z_g$$

$$I_{am} = \frac{E_{a'o}}{Z_g + Z_r} = \frac{V_{am}}{Z_r}$$

$$I_{bm} = \frac{E_{b'o}}{Z_g + Z_r} = \frac{V_{bm}}{Z_r}$$

$$I_{cm} = \frac{E_{c'o}}{Z_g + Z_r} = \frac{V_{cm}}{Z_r}$$

Puesto que $E_{a'o}$, $E_{b'o}$ y $E_{c'o}$ son iguales en magnitud y 120° fuera de fa-

se y los impedancias restan ^{tes} por cada una de estos f. e. m son idénticos, las corrientes también son iguales en magnitud y separados en fase 120° una de otra. Esto también es cierto para V_{an} , V_{bn} y V_{cn} . En este caso describimos los voltajes y corrientes como balanceados.

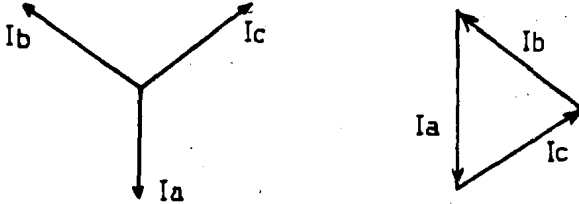
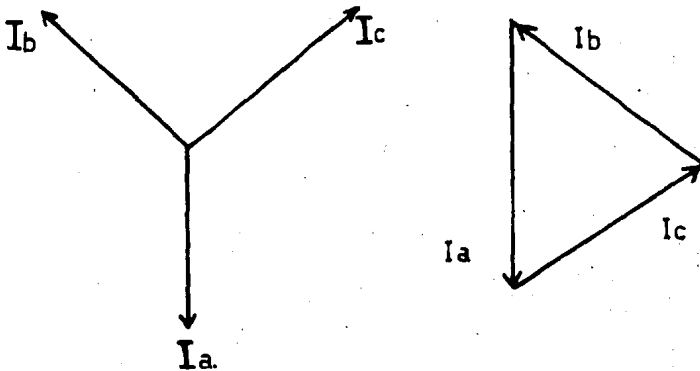


Diagrama vectorial de las corrientes en una carga trifásica balanceada.



La suma de estas corrientes se muestra en un triángulo cerrado. Es obvio que su suma es cero. Por lo tanto, en la conexión mostrada en la fig. V.16 - entre los neutros del generador y la carga debe ser cero. Entonces la conexión entre n y o puede tener cualquier impedancia, o aún estar abierta, y n y o permanecen al mismo potencial.

Si la carga no está balanceada, la suma de las corrientes no es cero y circula una corriente entre o y m para la condición de desbalance, en ausencia de una conexión de impedancia cero, o y m no están al mismo potencial.

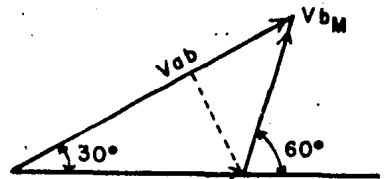
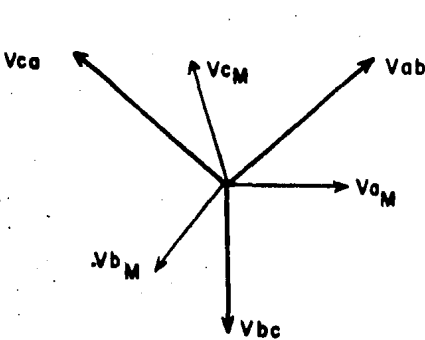
La magnitud de V_{ab} es:

$$|V_{ab}| = \sqrt{3} |V_{an}|$$

$$|V_{ca}| = \sqrt{3} |V_{cn}|$$

$$|V_{bc}| = \sqrt{3} |V_{bn}|$$

Diagrama vectorial de los voltajes en un circuito trifásico balanceado.



En un circuito trifásico balanceado, la potencia total entregada por un generador trifásico o absorbido por una carga trifásica se encuentra simplemente sumando la potencia en cada una de las tres fases. La potencia en cada fase es igual.

Potencia trifásica total es:

$$P = 3 V_p I_p \cos \theta_p$$

donde θ_p es el ángulo por el cual la corriente de fase atrasa el voltaje de -

fase, esto es, el ángulo de la impedancia en cada fase. Si V_L e I_L son las magnitudes línea a línea, y corriente de línea, respectivamente,

$$V_p = \frac{V_L}{3} \quad \text{y} \quad I_p = I_L$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta_p$$

los Vars totales son

$$Q = 3 V_p I_p \text{ Sen } \theta_p$$

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \text{ Sen } \theta_p$$

los Volts amper de la carga son:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_L I_L$$

Si la carga está conectada en Δ , el voltaje a través de cada impedancia es el voltaje línea a línea y la corriente que pasa por cada impedancia es la magnitud de la corriente de línea dividida por $\sqrt{3}$; o

$$V_p = V_L \quad \text{y} \quad I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

La potencia trifásica total es:

$$P = \sqrt{3} V_p I_p \cos \theta_p$$

Sustituyendo en esta ecuación V_p e I_p

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta_p$$

PRECAUCION

En este experimento no haga ninguna conexión con la fuente prendida ya - que se manejan voltajes altos y pueden causar accidentes.

PROCEDIMIENTO

En esta práctica el alumno deberá de balancear el sistema por medio de - resistencias, e inductancias variables.

a) De acuerdo al tablero conecte las cuchillas c-1, c-7, c-8, c-17, c-18, - c-27

Desconecte c-9, c-19 y c-2.

Alimente las fases A, B y C con 220 Volts y haciendo variar las resis-- tencias en este caso simularon la carga.

Una vez que se obtenga el balauceo en las fases, mida el voltaje en cada una de las fases, obtenga la impedancia por fase y calcule las corrientes por fase.

El alumno observa que el voltaje, la impedancia y la corriente por fase son iguales.

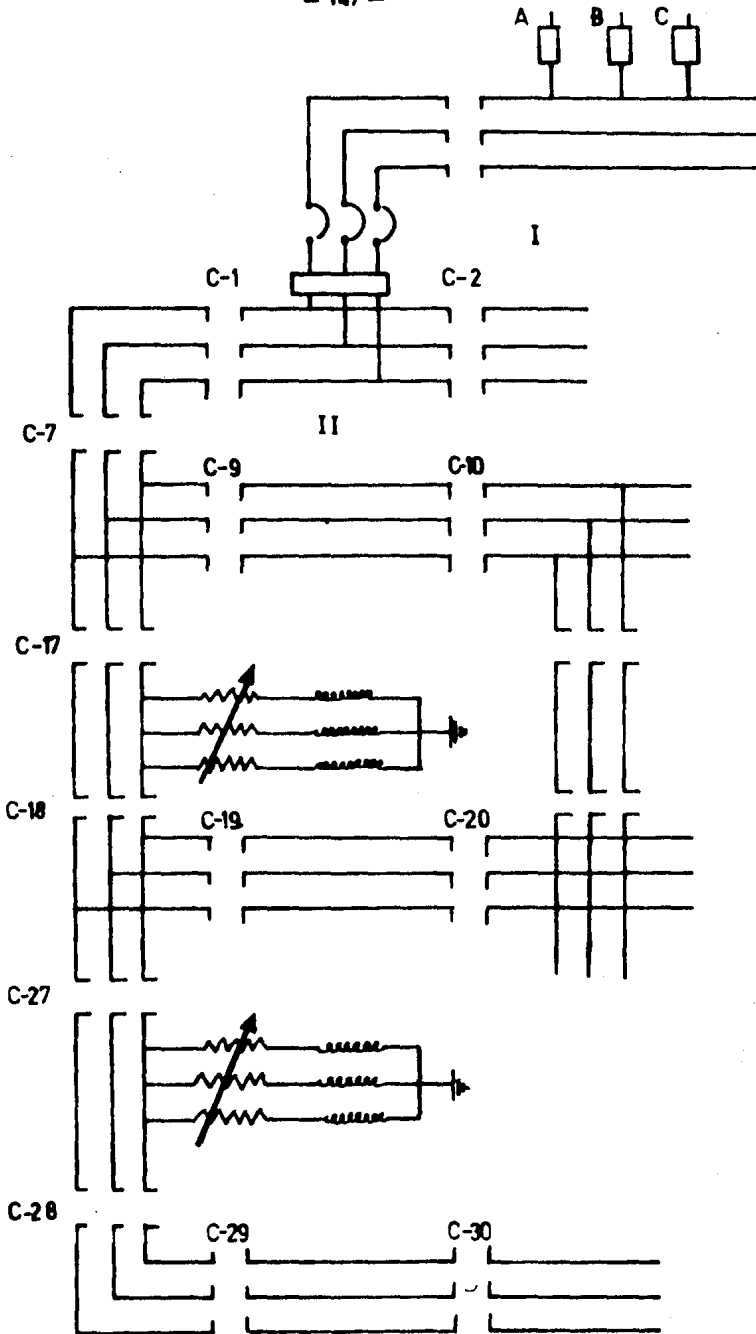
b) Haga variar la impedancia de una de las fases y observe que sucede con el voltaje y la corriente.

Anote los valores de V, I y Z de cada una de las fases.

PREGUNTAS:

- 1) Cuando se hace la instalación en un edificio, parque, o una fábrica, --
¿Cómo se logra que las fases esten balanceadas?
- 2) Cual es la diferencia entre un sistema balanceado y uno desbalanceado?
- 3) Que ocurre si el sistema esta demasiado desbalanceado; es decir que una -
fase tenga mayor carga que los otros.
- 4) Suponemos que en una fábrica se tiene el sistema balanceado pero se tiene
que instalar un motor de 3 hp en que fase se conectara y que se hará en las -
otras 2 fases.

Diagrama del circuito que se debe utilizar en esta práctica.



U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 7

INTERCONEXION DE SISTEMAS Y DISTRIBUCION DE CARGA

INTERCONEXION DE SISTEMAS Y DISTRIBUCION DE CARGA

INTRODUCCION:

Debido al constante crecimiento de la población y al también igual crecimiento de la demanda de energía eléctrica, los sistemas de distribución tienen que interconectarse extensamente para dar economía y confiabilidad de operación. El caso más claro de esta interconexión lo tenemos palpable en los sistemas de distribución tipo anillo y en los sistemas tipo red.

Las condiciones necesarias para interconectar dos o más sistemas son las siguientes:

1. Secuencia de fases correcta.
2. Los voltajes de fase de un sistema deben estar en fase con los voltajes de otro sistema.
3. Misma frecuencia en los sistemas que se van a interconectar.
4. Los voltajes deben ser aproximadamente iguales en los sistemas que se van a interconectar.

En zonas de densidad de carga elevada, se puede recurrir para mejorar la continuidad del servicio, a interconectar los extremos de dos alimentadores primarios que salen de una misma subestación, mediante un interruptor de enlace, como se muestra en la figura. Este arreglo puede operarse de las siguientes

tes dos maneras:

- a).- Operación con el interruptor de amarre normalmente abierto en cuyo caso los dos alimentadores funcionan como unos alimentadores radiales.
- b).- Operación con el interruptor de amarre normalmente cerrado en cuyo caso opera como anillo; la carga total se divide entre los dos alimentadores y se obtiene una mejor regulación del voltaje reduciéndose así las pérdidas.

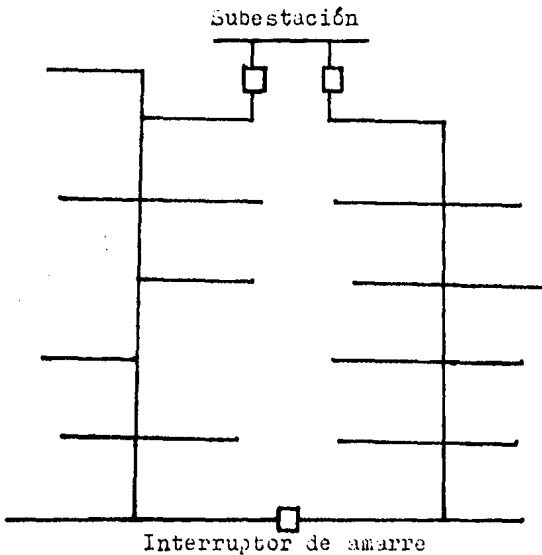


Fig. V. 17

OBJETIVO:

Al finalizar esta práctica el alumno podrá:

- a).- Interconectar dos sistemas de distribución radiales.

b).- Cambiar la configuración de un sistema de distribución radial a un sistema de distribución en anillo.

c).- En condiciones de emergencia de un sistema de distribución podrá pasar - parte de la carga de un alimentador a otro.

Desarrollo de la práctica.

Material:

Vóltmetros trifásicos.

Amperímetros.

Secuencímetros.

Frecuencímetros.

Observe el tablero de distribución con las cargas que usted elija conectadas.

1.- En el tablero de distribución cierre los interruptores A, B, C, 2, 3, 4
5, 6, 11, 12, 13, 14.

a).- ¿Qué sistema de distribución obtuvo al cerrar estos interruptores?

b).- ¿Qué lecturas obtuvo en los vóltmetros y amperímetros?

c).- Obtenga la potencia.

2.- Ahora cierre los interruptores C, 4, 5, 6, 11, 17, 15, 16, 21, 24, 26.

a).- ¿Qué sistema de distribución obtuvo al cerrar estos interruptores?

b).- Lea los valores de los voltímetros y los amperímetros.

c).- Obtenga la potencia.

3.- Cierre los interruptores 12 y 13, 22, 23.

a).- ¿Qué sistema de distribución obtuvo al cerrar estos interruptores?

b).- Lea los valores que tienen los voltímetros y los amperímetros y obtenga -
la potencia.

c).- Compare los valores que obtuvo con los que tenía antes de cerrar los in-
terruptores 12 y 13, 22, 23.

d).- Si varían o permanecen constantes explique por que.

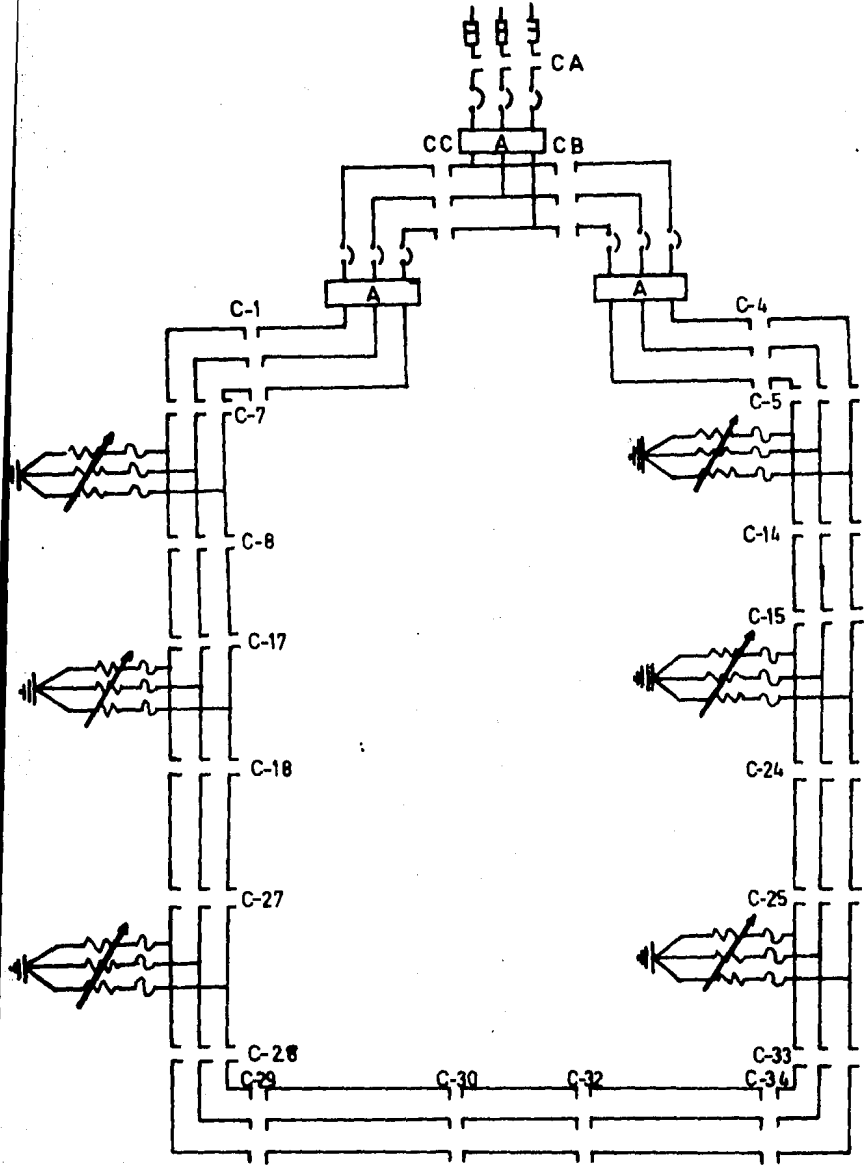


Fig.V.18.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

PRACTICA No. 8

SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

OBJETIVO.- Conocer los diferentes sistemas de distribución y saber diferenciarlos.

INTRODUCCION:

Los sistemas de distribución tienen como función suministrar a los consumidores la energía eléctrica.

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 son usualmente trifásicos, de 3 o de 4 hilos; las derivaciones de la alimentación troncal pueden ser trifásicas o monofásicas. Las tensiones entre los hilos varían según los sistemas de distribución de tensiones de la clase 2.5 KV a 35 KV. Las tensiones más bajas corresponden a instalaciones antiguas; la tendencia moderna es utilizar tensiones de la clase 15 KV o superior. En la República Mexicana las tensiones de distribución primaria recomendadas son 13.2 KV y 23 KV.

Los circuitos secundarios son generalmente trifásicos, de 4 hilos, de 115 a 127 VOLTS entre fase y neutro (200 a 220 V entre fase) o de 220 a 240 -

VOLTS entre fase y neutro (380 a 415 V entre fases); este segundo escalón de tensiones es el que se está generalizando en Europa. En USA se usa mucho el sistema monofásico de 3 hilos de 120 - 240 VOLTS.

A continuación se hace una breve descripción de los sistemas de distribución más usuales:

SISTEMAS RADIALES AEREOS.

Estos se usan generalmente en las zonas suburbanas y en las zonas rurales.

Los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan los transformadores de distribución, que están también montados sobre postes. En regiones rurales, en las que la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro. En regiones suburbanas, con mayor densidad de carga, los alimentadores primarios que parten de la misma subestación o subestaciones diferentes, -- tienen puntos de interconexión. En servicio normal estos puntos de interconexión están abiertos; en condiciones de emergencia permiten pasar parte de la carga de un alimentador a otro.

Los circuitos secundarios conectan el secundario de cada transformador de distribución a los servicios alimentados por ese transformador siguiendo -- también una disposición radial, aunque en algunos casos se interconectan los

secundarios de transformadores adyacentes.

Para la alimentación radial primaria se utilizan dos sistemas: el trifásico de 3 hilos y el trifásico de 4 hilos, como se muestra en la fig. V-19 y V-20.

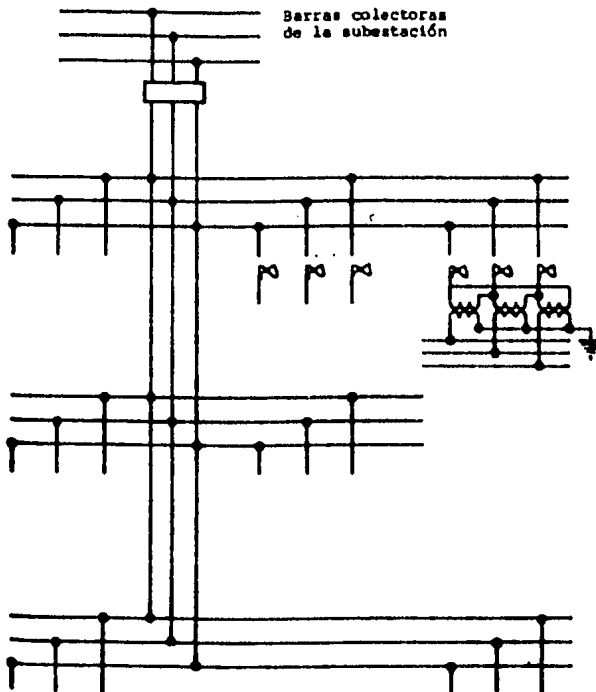


fig. V.19.-Sistema de distribución radial con alimentadores trifásicos de tres hilos (Diagrama trifilar).

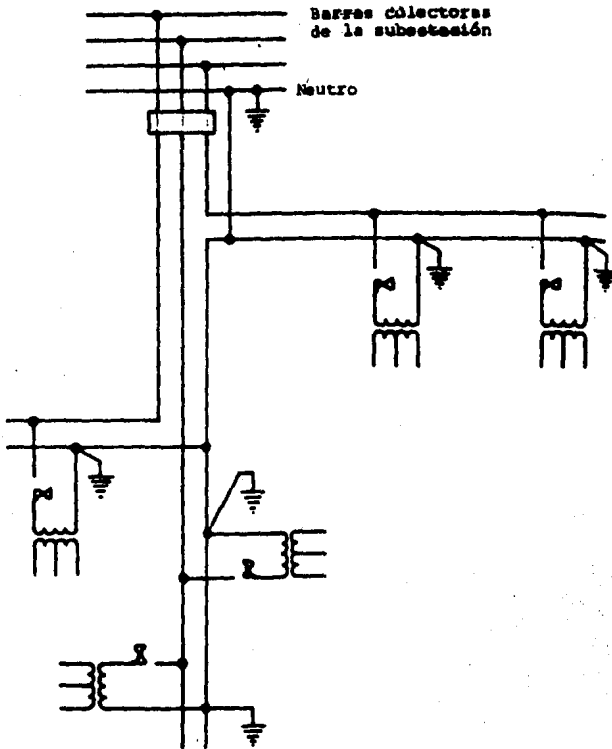


Fig. V. 20.- Sistema de distribución radial con alimentadores primarios trifásicos de cuatro hilos. (Diagrama trifilar)

CONEXION DE ALIMENTADORES PRIMARIOS EN ANILLO

En zonas de densidad de carga elevada, se puede recurrir, para mejorar la continuidad del servicio, a interconectar los extremos de dos alimentadores primarios que salen de una misma subestación mediante un interruptor. Este arreglo puede operarse de las siguientes maneras.

1).- Operación con el interruptor de amarre normalmente abierto, en cuyo caso los dos alimentadores funcionan como alimentadores radiales, en caso de una falla en un alimentador, abre el interruptor correspondiente de la subestación y después de desconectar la zona afectada por la falla puede cerrarse el interruptor de amarre para tomar parte de la carga del alimentador afectado.

2).- Operación con el interruptor de amarre normalmente cerrado en cuyo caso opera como anillo; la carga total se divide entre dos alimentadores y se obtiene una mejor regulación de voltaje y se reducen las pérdidas. Una falla en un punto del anillo provoca la apertura del interruptor de amarre el cual abre instantáneamente, separando los dos alimentadores y después abre el interruptor de la subestación correspondiente al alimentador afectado por la falla, según la fig. V-21.

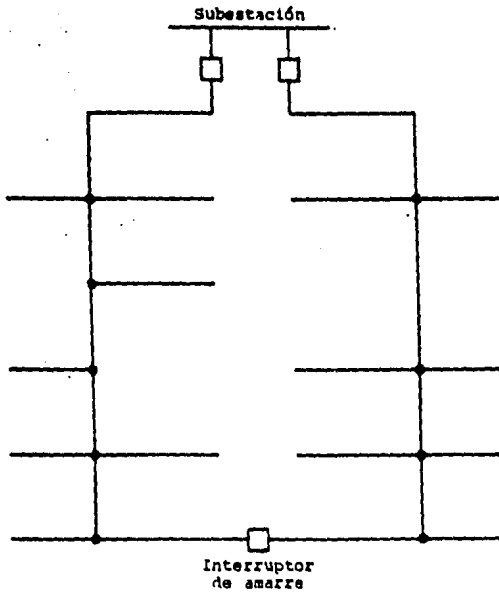


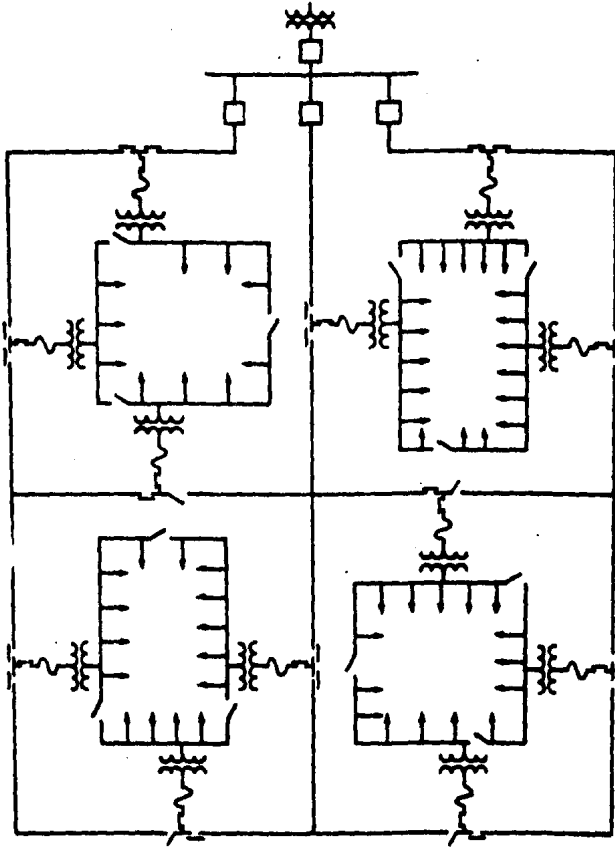
Fig. V. 21.- Conexión de dos alimentadores primarios para formar un anillo. (Diagrama unifilar)

SISTEMAS RADIALES SUBTERRANEOS.

Estos 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 lleva más tiempo. Por esta razón, para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación, en el caso de los sistemas radiales subterráneos se instalan seccionadores para permitir pasar la carga de un alimentador primario a otro. También se instalan seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios, para que en caso de falla o de desconexión de un transformador, se puedan conectar sus circuitos secundarios a un transformador contiguo.

Actualmente existe la tendencia a realizar la distribución eléctrica de zonas residenciales 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.





-  Desconectadores normalmente cerrados.
-  Desconectadores normalmente abiertos.

Fig. V. 23.- Sistema de distribución radial subterráneo.
(Diagrama unifilar).

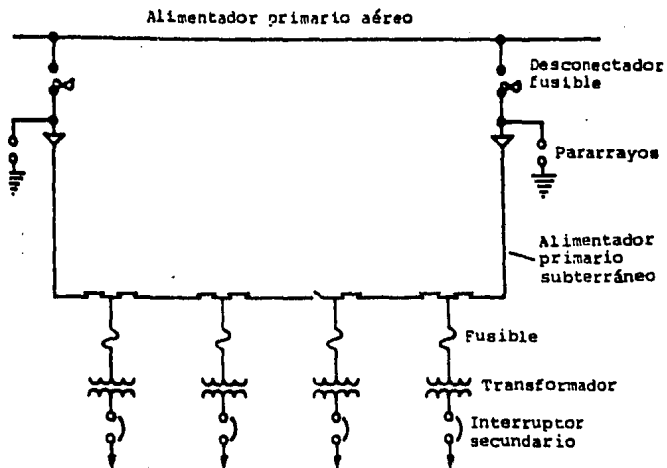


Fig. V. 22.- Sistema de distribución en anillo normalmente abierto, para zonas residenciales - subterráneas. (Diagrama unifilar).

Experimentos.

En esta práctica construya una conexión tipo radial de acuerdo al diagrama unifilar que se presenta a continuación.

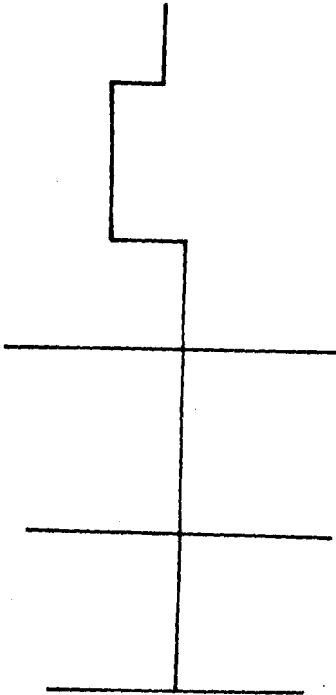
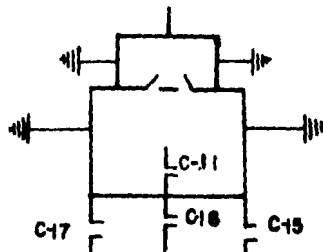


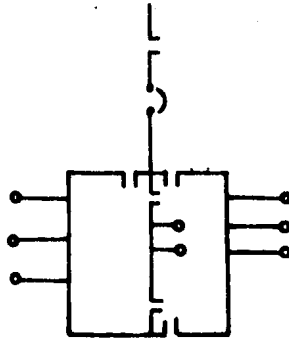
Fig. V.24.

Sistema de distribución en anillo.

Construya un circuito que funcione como un anillo de acuerdo a la figura que se presenta a continuación:



Sistema de distribución de malla.



PREGUNTAS:

- 1).- En que casos se utilizan los sistemas radial, anillo y malla.
- 2).- Que ventajas ofrece el sistema en anillo comparado con el radial.
- 3).- Que diferencias existen entre los 3 sistemas de distribución radial, anillo y malla.
- 4).- En que caso de sistema de distribución al presentarse una falla no afecta a todo el sistema.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

FRACTICA No. 9

FALLAS Y SU LOCALIZACION

OBJETIVO:

El alumno podrá conocer los diferentes disturbios que se pueden presentar en una línea aérea o cables subterráneos así como las formas de localizarlas.

FALLAS

Se dice que un circuito eléctrico está en disturbio cuando sus condiciones de operación se encuentran en situación anormal, lo cual trae como consecuencia variaciones notables en la frecuencia, voltaje y corriente del circuito.

Los sistemas de distribución se clasifican en; Aéreos y Subterráneos. De acuerdo a esta clasificación analizaremos las fallas para un sistema aéreo y para un sistema subterráneo.

Características de los sistemas de distribución subterráneos.

GENERALIDADES:

Con el advenimiento de grandes densidades de carga, junto a las demandas gubernamentales y públicas, por un servicio eléctrico más confiable y seguro, las empresas eléctricas se han visto obligados a ampliar sus sistemas de cables subterráneos con el objeto de reducir las interrupciones debidas a rayos, tormentas y choques de vehículos a los cuales están expuestas las redes aéreas y que son prácticamente eliminadas con las redes subterráneas.

Esta reducción en la exposición de las instalaciones a contingencias físicas que las afectan, aumentan generalmente su seguridad pero también reduce su accesibilidad, lo que ocasiona que en el caso de falla se pueda llegar a tener una larga interrupción.

El consumidor común espera que el sistema subterráneo que dá el servicio a su casa, oficina o industria, sea al menos, tan confiable como el sistema aéreo usado, puesto que en su dependencia de la electricidad resulta mucho más molesto una interrupción ocasional larga que la falla más frecuente pero corta, como los sistemas de distribución no pueden llegar a ser confiables en un 100% éstos deben ser diseñados y ejecutados pensando en todos o en varios de los propósitos siguientes:

- 1.- Seguridad
- 2.- Reparación rápida de fallas
- 3.- Localización rápida de fallas
- 4.- Aislamiento manual o automático de las fallas
- 5.- Restauración manual o automática para los consumidores no afectados
- 6.- Accesibilidad al equipo y facilidad de reparación.

Es de gran importancia investigar la causa o motivo de las fallas para poder aplicar las correcciones necesarias lo más rápido posible.

En forma general las fallas se pueden clasificar en tres grupos que son:

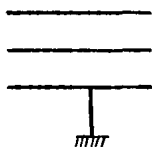
I.- FALLA A TIERRA

II.- CORTO CIRCUITO

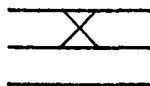
III.- TROZADURA

Dentro de ésta clasificación se considerarán todas las fallas que resultan de la combinación de las tres fallas fundamentales.

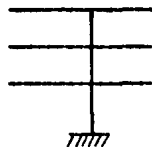
Algunos tipos de fallas comunes en alta y baja tensión se muestran a continuación.



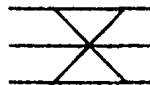
Falla franca de una fase a tierra.



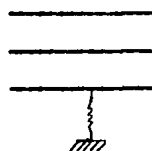
Corto circuito franco entre dos fases.



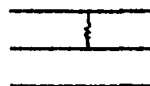
Falla franca de tres fases a tierra



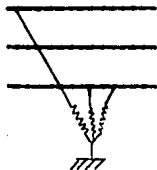
Corto circuito franco triple



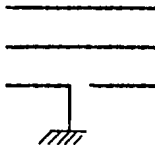
Falla resistente de una fase a tierra



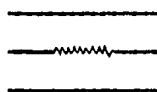
Corto circuito resistente entre dos fases.



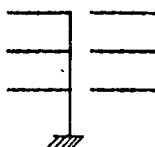
Falla resistente tri
ple a tierra



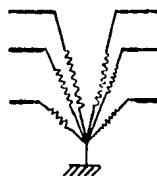
Conductor tro-
zado y una seg
ción a tierra.



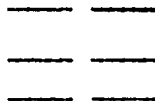
Conductor trozado pero
unido por una resisten
cia (carbón)



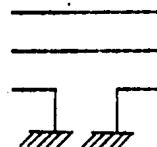
Tres conducto-
res trozados y
puestos a tie-
rra en un sólo
extremo.



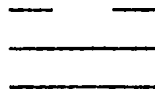
Trozados los tres con
ductores y resisten--
tes a tierra por los
2 lados.



Los tres con--
ductores troza
dos.



Conductor trozado y
puesto a tierra por
los dos lados



Conductor tro-
zado

FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCION SUBTERRANEAS

A continuación mencionaremos las causas que con mayor frecuencia nos provocan fallas en instalaciones subterráneas.

a) PIQUETE MECANICO

Al efectuar obras de urbanización o hacer excavaciones es muy común que algún trabajador por descuido o confusión dañe algún cable, produciéndose después la falla.

b) EFECTO GALVANICO O CORROSION

La presencia de determinados compuestos químicos como ácidos o alcalis de sustancias que combinadas dan lugar a que éstos puedan atacar violentamente las cubiertas de aislamientos y perjudicarlos en un momento dado.

La presencia en instalaciones de corriente eléctrica directa propicia en muchas ocasiones, que dicha corriente deje sus conductores para fluir libremente por las cubiertas de plomo, en el lugar donde éstas dejan el cable para regresar a sus conductores, allí se produce en el forro del plomo una corrosión violenta que perfora dicha cubierta en lapsos muy cortos.

c) CRISTALIZACION

El continuo movimiento del cable dentro del ducto debido a las dilatacio-

nes y contracciones de éste a consecuencia de su régimen de carga, terminan por orientar las moléculas del forro de plomo, agrietándose en longitudes considerables.

d) ROZAMIENTO 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.

e) ASENTAMIENTOS DEL SUBSUELO

Este fenómeno da como resultado el estiramiento de las cubiertas de plomo, que llegan a reventarse, propiciando así la falla.

f) TIERRAZOS

Los transitorios debidos a cortos circuitos, aperturas bruscas, etc., producen corrientes residuales que fluyen por las cubiertas de plomo, elevándose en ocasiones el potencial de una cubierta con respecto a otra, de allí que en lugares donde una cubierta toca o pasa cerca de otra o de una estructura que propicie una diferencia de potencial adecuada a la descarga, esta se produce provocando lo que comunmente se llama tierraizo, que perfora las cubiertas de plomo dejando un hueco considerable.

g) INTRODUCCION DE AGUA O HUMEDAD

Todos los fenómenos anteriores y el descuido al hacer uniones y derivaciones dan lugar a la introducción de agua o humedad dentro del cable que trae como resultado siempre, falla inmediata o posterior.

h) SOBRECARGA

Un cable que trabaja todo el tiempo sobrecargado, llega a quemar su aislamiento, perdiendo por tal motivo propiedades dieléctricas, provocándose entonces la falla.

i) FALSAS MANIOBRAS

Una maniobra innecesaria puede dar lugar a un corto circuito o sobrevoltajes, que una vez repuesto, los aislamientos quedan dañados, dando lugar a la falla.

j) VEJEZ

Conforme pasa el tiempo, el aislamiento de un conducto se reseca y agrieta, lo que trae por consecuencia la falla.

k) DEFECTOS DE MANIPULACION

Forzar los conductores en curvas, realizar uniones defectuosas, colocación de objetos pesados sobre los conductores, traen consigo irremediablemente la falla.

1) MORDEDURA DE RATA

Aunque las ratas no comen plomo les gusta morderlo, produciendo así puntos de falla.

m) INCENDIOS

En siniestros exteriores se eleva la temperatura a tal grado que se funde el plomo y por lo tanto el aislamiento, produciéndose así la falla.

Es conveniente mencionar que los puntos donde hay mayor probabilidad de falla en instalaciones subterráneas son; las uniones, las derivaciones, terminales, pozos de visita, aglomeraciones de cables, etc.

Para la localización de fallas en redes subterráneas es necesario conocer las características y trazado del cable.

- Análisis de la naturaleza de la falla.

Este análisis consiste en hacer algunas pruebas en los extremos del cable, para saber en la forma más práctica posible, el tipo de falla de que se trate y así aplicar el método adecuado en las pruebas de localización. El análisis consiste en medir:

a) La resistencia de falla.- Esto se hace con un megger, las mediciones se hacen por los extremos del cable, tomando lectura de cada una de las fases contra el plomo y entre las fases mismas.

Para la prelocalización existen diferentes ensayos, estos son:

- 1) Ensayo Murray
- 2) Ensayo Santy
- 3) Ensayo por Puente AOIP
- 4) Ensayo por Ondas de Choque Balten

FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCION AEREAS

Los sistemas de distribución aéreos, en comparación con los subterráneos, están expuestos casi directamente y sin protección a los diversos fenómenos - que nos producen fallas, es por eso que las fallas en un sistema aéreo son - más frecuentes que en un sistema subterráneo; aunque su reparación lleva me- nos tiempo.

Para un sistema de distribución aéreo las causas que principalmente nos generan fallas son:

La exposición de grandes longitudes de línea en los sistemas de distribu- ción aérea a descargas atmosféricas, ramas de árbol, choques, contaminación - ambiental, objetos sobre la línea, viento, etc. afecta en forma directa su - grado de confiabilidad, dado que cualquiera de estos elementos puede provocar la suspensión del servicio.

Además, cualquier red eléctrica está sujeta a fallas debidas a su propia naturaleza, así como el efecto que en ella produce la propagación de fallas -

en redes contiguas o interconectadas.

Las causas más comunes por las que puede fallar un alimentador aéreo son las siguientes:

- a).- Climatológicas: descargas atmosféricas, lluvia, viento, tormenta, - neblina y temblores.
- b).- Medio ambiente: objetos extraños en la línea, ramas de árbol, polvo, efecto galvánico (corrosión), contaminación industrial, incendio, explosión.
- c).- Terceros: pedradas, balazos, choque o golpe, cruzamiento con otra - línea.
- d).- Del área de distribución: Mano de obra defectuosa, operación o ma-- niobra errónea, montaje de equipo inadecuado, sobrecarga, carga ~~desequi-~~ librada, variación de voltaje, disturbios en sistemas interconectados, - falso contacto, corto circuito, ~~flamazo~~, falla de aislamiento, desajuste en el equipo, cruzamiento con líneas colgadas.
- e).- Por manufactura: diseño incorrecto, fabricación defectuosa, equipo o material incompleto o inadecuado (falla de equipo).

Todo este tipo de causas de fallas inciden sobre el alimentador provocan do un disturbio básicamente en dos efectos importantes a saber: Corto circui- to y sobrecarga.

Disturbios por corto circuito.- Son originados principalmente por agentes extraños o externos como son: las perturbaciones atmosféricas raras de árboles, siniestros, objetos extraños en la línea, choque o impactos en la línea, defectos en la fabricación e instalación del equipo, así como de los materiales utilizados.

Las corrientes de corto circuito en los sistemas eléctricos son alimentadas por elementos activos: generadores motores, etc., y se limitan por elementos pasivos del sistema: impedancias de conductores, motores, transformadores, generadores, etc.

Las principales fuentes suministradoras de la corriente de corto circuito son los generadores.

Disturbios por sobrecarga.- Obedecen a una operación inadecuada de las líneas. En ambos casos, el disturbio causa la salida del alimentador, y para su restauración se necesita conocer la naturaleza de la causa de la falla con el fin de tomar las medidas necesarias para corregirla.

Es evidente que la localización de fallas en una red aérea es mucho más simple que para una red subterránea, basta con seguir la línea y llegar al punto donde se encuentra la falla.

En las siguientes pruebas que se efectuarán en el tablero diseñado, se pueden presentar algunas de las fallas a las que se hizo mención anteriormente.

COMENTARIOS

La realización de las pruebas que se mencionaron en el capítulo V se diseñaron de manera que los alumnos lo hagan en forma práctica sin tener ningún mecanismo de control automático que les indique por sí solo que es lo que -- esta sucediendo en un momento dado en el sistema, es decir que para conocer -- como se comporta el sistema de distribución hay que hacer variar los paráme-- tros hasta lograr que se optimice su operación.

Se sugiere que para conocer el comportamiento del sistema de distribu-- ción y para poder predecir lo que ocurriría si se presentara alguna avería en el sistema; que se diseñaran algunos programas de computación para que en -- cada una de las prácticas que realicen los alumnos, primero hagan sus medicio-- nes y luego correr el programa de la práctica que se trate y así se pudiera -- saber con exactitud los valores de los parámetros que se deben tener para lo-- grar la estabilidad del sistema. Esos programas deberán manejar los varian-- bles siguientes: voltajes, corrientes, resistencias, inductancias, capaci-- tancias y factor de potencia.

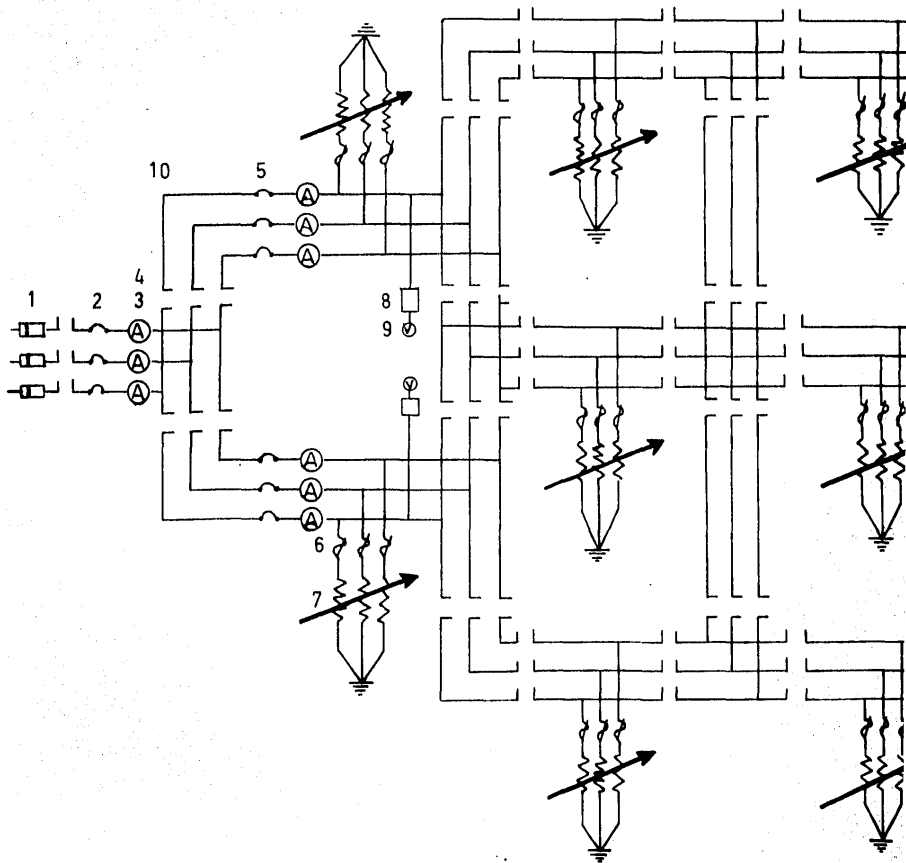
Para que esto sea factible, es necesario que el centro de cálculo de la Facultad de Ingeniería cuente con los programas en paquetes de todas las prácticas para que los alumnos lo utilicen cada vez que realicen sus pruebas.

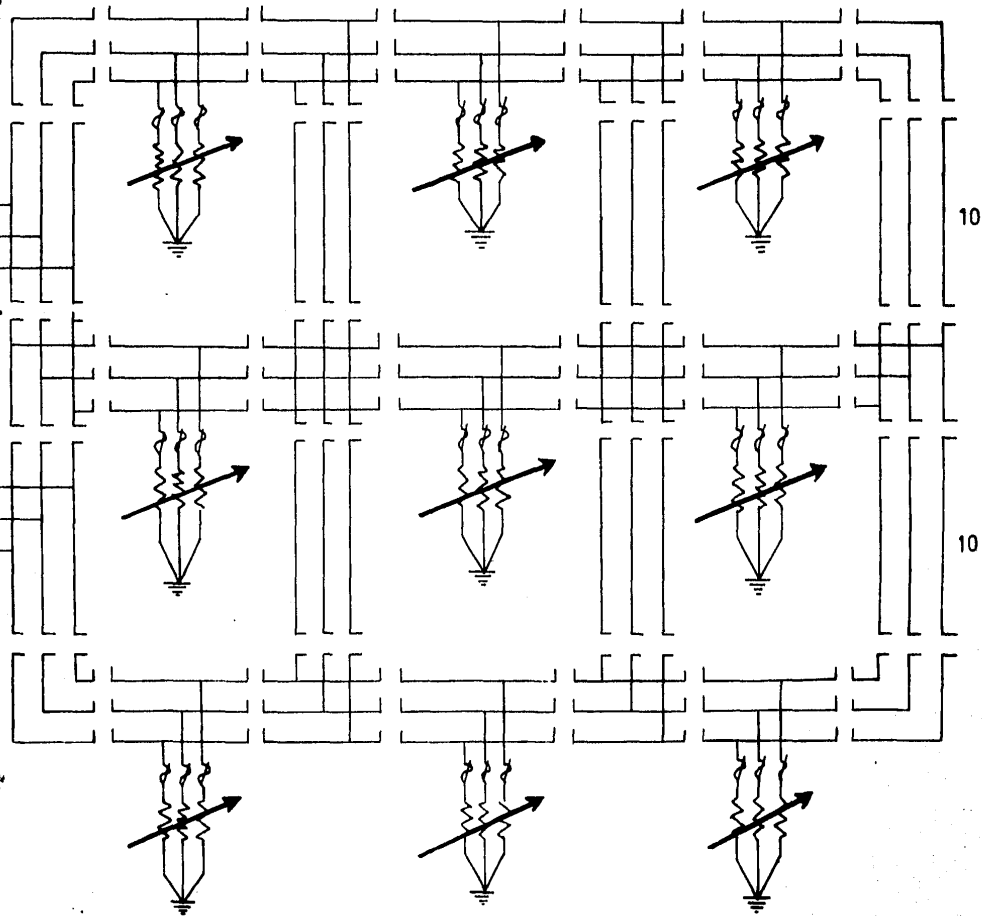
Por lo pronto pensamos que para los objetivos que se persiguen y por ser nuevo este laboratorio, es suficiente con hacer las pruebas en forma manual.

LISTA DE MATERIALES

NUM.	DESCRIPCION UNITARIA	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	INTERRUPTOR CON FUSIBLES 3 X 30 A	PIEZA CON FUSIBLE	1	3		
2	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 15A 220 V	PIEZA	1	9		
3	AMPERMETRO ESCALA 0 - 50A C.A.	PIEZA	1	9		
4	CUCHILLAS MONOPOLARES DE 220V.	PIEZA	1	111		
5	INTERRUPTOR DE FUSIBLE	PIEZA	1	33		
6	RESISTENCIA VARIABLE	PIEZA	1	11		
7	FUSIBLES 15A	PIEZA	1	6		
8	VOLTMETRO 0 - 300V C.A.	PIEZA	1	6		
9	CONDUCTOR CALIBRE AWG 10	METROS	40	40		
10	CAPACITORES VARIABLES 100 P F	PIEZA	1	33		
11	INDUCTANCIA VARIABLE	PIEZA	1	33		
12	SECUENCIMETRO	PIEZA	1	1		
13	CABLES CONECTORES CAIMAN - CAIMAN 30 CM. C/U	PIEZA	1	20		
14	CONDUCTOR NEUTRO AWG - 14 SIN CUBIERTA	METROS	8	8		
15	LAMPARA 100V - 127V.	PIEZA	1	1		

No se incluyen los precios en la lista de los materiales debido a que -
los precios estan cambiando constantemente y también porque los fabricantes y
vendedores no nos proporcionaron los precios.





10

10

CONCLUSIONES

De acuerdo al desarrollo del presente trabajo en sus capítulos del I al V, se hace énfasis en la importancia que representa el diseño de este tablero, ya que nos simula los diferentes sistemas de distribución que encontramos físicamente en nuestra vida profesional.

Los planteamientos que se desarrollaron en este trabajo *son suficientes* para poder llevar a la práctica los conocimientos adquiridos en las aulas, por lo que no dudamos que servirá como una herramienta de apoyo a los planes de estudio del área de Ingeniería Eléctrica.

Es necesario, antes que nada, hacer patente el hecho de que en la realización de cualquier experimento es de vital importancia conocer las herramientas, equipo disponible y precauciones, ya que haciendo un correcto uso de ellas podremos obtener un mayor provecho.

Para la realización de una prueba es recomendable que existan bases teóricas y una extensa comunicación entre maestro y alumnos, porque el buen funcionamiento de este laboratorio depende en gran parte del uso que se le dará.

En general un proyecto que no se explota debidamente, a corto plazo se vuelve obsoleto.

El valor de este diseño se basa en gran parte en los conceptos de respaldo que lo apoyan.

Es intención de todos los que participamos en la realización de este proyecto, que en un futuro no lejano se haga realidad y sea utilizado adecuadamente para los fines que fue diseñado.

BIBLIOGRAFIA

1. SISTEMA DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE MEXICO.
TESIS PROFESIONAL ESTRADA VERGARA SERGIO ERNESTO
 FLORES GARCIA ALFREDO
 HERNANDEZ OSMAYA JUAN MANUEL
 LIRA RODRIGUEZ ERNESTO
 LOPEZ SANCHEZ FRANCISCO
 MARTINEZ RICHA LUIS
 OLMEDO YAÑEZ JOSE MANUEL
 SCIANDRA SANCHEZ RUBEN 1983

2. ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA. WILLIAM D. STEVENSON JR.
SEGUNDA EDICION. ED. McGAW-HILL.

3. REDES ELECTRICAS. JACINTO NIQUEIRA LANDA. ED. REPRESENTACIONES Y SER
VICIOS DE INGENIERIA. 1a. PARTE. MEXICO, 1973.

4. ENTREVISTAS CON PERSONAL DE CIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.

5. SISTEMAS DE TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA. THEODORE WILDI. ED
LIMUSA. PRIMERA EDICION. MEXICO, 1979.

6. APUNTES TOMADOS DE LA CLASE DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.
ING. ROBERTO ESPINOZA Y LARA.