



151
3)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"ESTUDIO Y PROYECTO PARA LA
APLICACION DE SECCIONADORES
EN REDES AEREAS DE DISTRIBUCION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MARINA ROSALES ARGONZA

ASESOR: ING. OSCAR CERVANTES TORRES

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

" Estudio y proyecto para la aplicación de seccionados en redes
áreas de distribución."

que presenta la pasante: Rosales Aragonza Mirina
con número de cuenta: 8823871-7 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Mecánica Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de agosto de 1997.

PRESIDENTE	<u>Ing. M. de la Luz González Quijano</u>
VOCAL	<u>Ing. José Luis Rivera López</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Oscar Cervantes Torres</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Anselmo Angoa Torres</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Víctor Hugo Landa Orozco</u>

A mi Mamá: Dolores Argonza

Le dedico con amor este trabajo ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio he podido lograr mis metas. Gracias un millón y medio por darme la libertad de elegir mi propio camino.

A mis hermanos:

*Lurdes, Pepe, Carmen,
Víctor, Roberto, Paty,
Mariza y Arturo.*

A todos gracias por sus consejos y la ayuda que siempre me han brindado desinteresadamente. Con la esperanza de que este trabajo sea un aliciente para cada uno de ellos.

A mi asesor: Ing. Oscar Cervantes

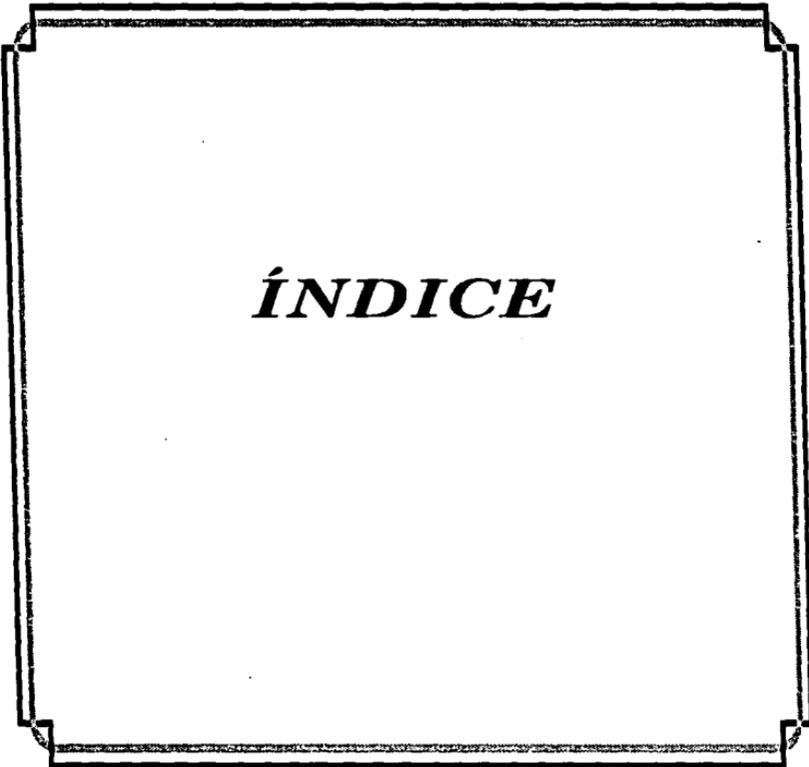
Por la confianza, paciencia y dedicación en la dirección de este trabajo..

A José Luis

En especial por todo el apoyo, estímulo y paciencia que me brindaste para realizar y terminar la tesis.

A mi amor :

Por lo significas para mi, por tu cariño, comprensión y apoyo. Por la etapa en que caminamos juntos y porque de una u otra forma contribuiste en este trabajo.



ÍNDICE

Í N D I C E

	<i>Pág.</i>
INTRODUCCIÓN	1
1.- SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	
1.1 <i>Características generales de los sistemas de distribución aéreas.</i>	<i>4</i>
1.2 <i>Elementos que constituyen las redes aéreas.</i>	<i>18</i>
1.3 <i>Alimentadores.</i>	<i>21</i>
1.4 <i>Pérdidas eléctricas.</i>	<i>24</i>
2.- CÁLCULO DE CORTO CIRCUITO	
2.1 <i>Tipos de fallas.</i>	<i>27</i>
2.2 <i>Método de las componentes simétricas.</i>	<i>31</i>
2.3 <i>Sistemas en P.U.</i>	<i>40</i>
2.4 <i>Método en P.U.</i>	<i>42</i>
3.- ASPECTOS GENERALES DE LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES	
3.1 <i>Transformadores de corriente (TC'S).</i>	<i>46</i>
3.2 <i>Relevadores.</i>	<i>50</i>
3.3 <i>Interruptores.</i>	<i>55</i>
3.4 <i>Restauradores.</i>	<i>58</i>
3.5 <i>Fusibles.</i>	<i>62</i>
3.6 <i>Coordinación.</i>	<i>70</i>

4.- SECCIONADORES

<i>4.1 Características de los seccionadores.</i>	<i>74</i>
<i>4.2 Operación.</i>	<i>77</i>
<i>4.3 Aplicación.</i>	<i>92</i>
<i>4.4 Ajustes.</i>	<i>100</i>
<i>4.5 Coordinación.</i>	<i>104</i>

5.- PROYECTO PARA LA APLICACIÓN DE SECCIONADORES

<i>5.1 Análisis de la red.</i>	<i>112</i>
<i>5.2 Movimientos de carga.</i>	<i>119</i>
<i>5.3 Trabajos a ejecutar.</i>	<i>122</i>

CONCLUSIONES	130
---------------------	------------

APÉNDICE	132
-----------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	136
---------------------	------------



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Desde el invento del generador eléctrico comenzaron a desarrollarse los sistemas de energía eléctrica. En los inicios, el suministro se hacía mediante corriente continua a baja tensión, después con el invento del transformador fue posible la elevación eficiente y económica de la tensión utilizando sistemas de corriente alterna que permitan la transmisión de grandes cantidades de energía eléctrica a mayores distancias, generalizándose también los sistemas de distribución.

Actualmente el uso de la energía eléctrica es indispensable en las actividades que desempeña el hombre en su vida cotidiana, a tal grado que una interrupción en el suministro de energía eléctrica puede causar en ocasiones pérdidas económicas considerables.

El crecimiento de la población origina aumento en la demanda en el consumo de energía eléctrica desde la generación hasta la distribución. El incremento en los sistemas de distribución ocasiona entre otras el problema de mantener una calidad en el servicio adecuada.

El empleo de redes aéreas de distribución a comparación de los sistemas subterráneos, ocasiona mayores contingencias en su operación que pueden hacer variar los requerimientos establecidos en cuanto a confiabilidad y continuidad en el suministro. Estas contingencias pueden ser de orígenes diversos, algunos propios de la red y otros ajenos a ella.

Para poder mantener una calidad óptima es necesario aprovechar las innovaciones tecnológicas, empleando cada vez mejores técnicas de

construcción; así como mejores métodos y recursos operativos y de mantenimiento para lograr una mayor continuidad en el servicio.

Básicamente existen dos problemas que requieren de soluciones técnicas adecuadas a fin de limitar dentro de lo posible las salidas de servicio, estos problemas se refieren principalmente a efectos de sobretensiones de origen externo y el efecto de cortocircuito.

Las fallas en los sistemas de distribución aérea pueden ser temporales o permanentes, para poder eliminar algunas interrupciones por fallas de carácter permanente se cuenta con elementos de seccionamiento que aíslan el tramo del circuito, reduciendo con esto el tamaño de la falla y el tiempo empleado para su localización.

Los elementos de seccionamiento se instalan estratégicamente para proporcionar mayor confiabilidad para maniobras de transferencia de carga. La estructura de la red aérea de distribución opera de forma radial ya que este tipo de arreglo es el más económico con una capacidad de 9 a 12 MVA a 23 KV, con una frecuencia de 60 Hz.

Los elementos de seccionamiento utilizados en los circuitos de 23 Kv son: cuchillas, fusibles, seccionadores, restauradores, interruptores, etc. El uso particular de cada elemento o el empleo alternado de ellos depende del tipo de carga, número de consumidores y se debe considerar el factor económico.

Es difícil eliminar completamente las interrupciones pero si podemos aminorarlas, buscando la manera de que éstas afecten un mínimo de consumidores.

Con la instalación de seccionadores, se limita la afectación de cualquier disturbio a solo la cantidad de usuarios conectados al ramal con falla experimentando el resto de ellas solo interrupciones instantáneas.

Sin embargo la aplicación de seccionadores requiere de un estudio que nos indique el tipo de seccionador más adecuado a utilizar así como la cantidad de estos y su localización sobre el circuito.



CAPITULO

1

1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

1.1.- Características Generales de los Sistemas de Distribución Aéreos.

Los sistemas de energía eléctrica o sistemas eléctricos de potencia están constituidos por:

- Sistemas de generación
- Sistemas de transmisión
- Sistemas de distribución

La siguiente figura muestra un diagrama unifilar de un Sistema Eléctrico de Potencia.

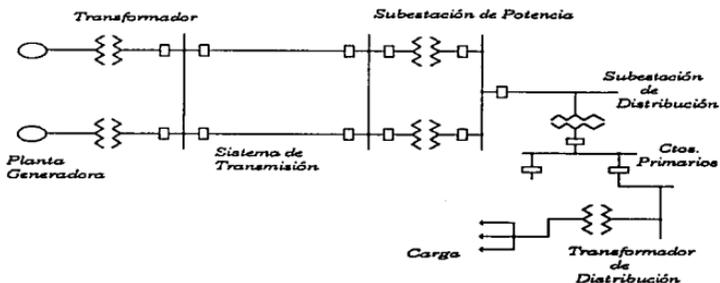


fig. 1.1

Comúnmente estos sistemas operan a distintas tensiones:

Transmisión: 400 Kv, 230 Kv, 115 Kv, 85 Kv.

Distribución: Primaria: 34.5 Kv, 23 Kv, 13.2 Kv, 6.6 Kv

Secundaria: 440 V, 220 V, 127 V.

Un sistema de distribución parte desde la subestación de distribución, los alimentadores primarios, los transformadores de distribución, los circuitos secundarios y hasta las cargas.

Por lo tanto se puede decir que un sistema de distribución es aquel que se encarga de llevar la energía eléctrica desde una subestación de potencia hasta el consumidor a niveles de tensión normalizadas en forma confiable, económica y segura.

La red primaria y secundaria, suministran la mayor parte de la carga, excepto a consumidores industriales que en ocasiones son alimentados directamente por el sistema de transmisión o subtransmisión.

Un sistema de distribución puede tener diferentes tipos de estructuras y estas dependen de parámetros como:

- Densidad

- Tipo de carga { *Residencial*
 { *Industrial*
 { *Comercial*

- Área de expansión de la carga

- Continuidad del servicio.

Por su operación, hay dos tipos fundamentales de redes de distribución:

- Radial*
- Paralelo (Anillo).*

El sistema radial generalmente es el más utilizado en la distribución de la energía eléctrica, debido a su sencillez y bajo costo, en este tipo de red el flujo de energía tiene una sola trayectoria para alimentar las cargas y su única fuente de alimentación es responsable de la falta de continuidad en el servicio durante condiciones de falla.

Una falla en algún punto del alimentador radial, causa falta de energía eléctrica a todos los consumidores, los cuales permanecerán sin servicio mientras la falla es reparada excepto cuando puede aislarse por medio de un fusible o seccionador de recierre.

La figura 1.2 muestra una alimentación de este tipo:

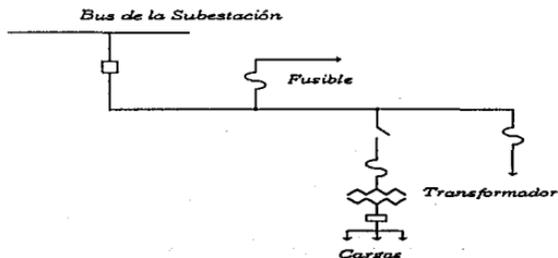


fig. 1.2

En un sistema de operación en paralelo el flujo de energía se divide entre varios elementos, teniendo más de una trayectoria. Este tipo de arreglo comúnmente se utiliza para baja tensión. La figura 1.3 nos muestra una alimentación de este tipo:

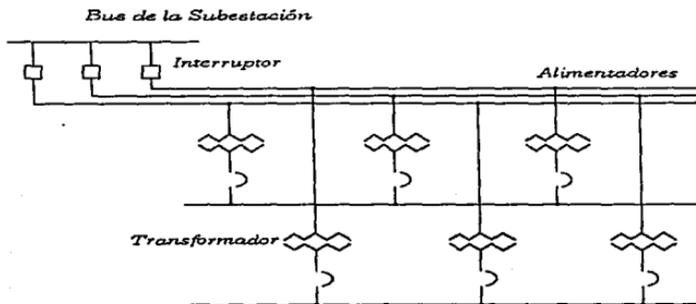


fig. 1.3

En la red de distribución primaria generalmente las subestaciones se conectan en simple derivación radial y la continuidad del servicio se asegura en la red de baja tensión por medio de la operación en paralelo. Las protecciones sólo se colocan a la salida de los alimentadores de la red y a la salida de los transformadores de distribución.

Los alimentadores se refieren principalmente a los sistemas de distribución primaria en las redes de distribución o bien a los elementos de alimentación principal.

Para poder llevar la energía eléctrica hasta los consumidores en cuanto a su construcción los sistemas primarios y secundarios pueden ser en forma aérea o subterránea.

Red Aérea:

La construcción aérea predomina en áreas con carga residencial, comercial e industrial baja ó rurales. Este tipo de construcción se caracteriza por su sencillez y economía por lo que es la más utilizada en la República Mexicana. Son susceptibles en fallas y pueden provocar un gran número de interrupciones en el servicio, esto se debe a que están expuestas a contingencias físicas como son: descargas atmosféricas, lluvia, salina, viento, polvo, temblores, gases contaminantes, granizo y otros que tiene contacto con cuerpos extraños como ramas de árbol, vandalismo e incluso choque de vehículos.

Los elementos principales de esta red (transformadores, cuchillas, seccionadores, cables, etc.) se instalan en los postes. Para los alimentadores primarios se tiene una configuración tipo arbolar que consiste en conductores de calibre grueso en la troncal y de menor calibre en las derivaciones o ramales.

En este tipo de construcción esta muy generalizado el empleo de seccionadores, fusibles y restauradores como protección del alimentador.

Red Subterránea:

En grandes áreas comerciales y residenciales se emplean los sistemas subterráneos, la selección de cable que se utiliza debe ser uniforme, o sea, la misma para los troncales que para los ramales. Una red subterránea bien diseñada resulta mucho más confiable ya que no están expuestas a las contingencias ya mencionadas. Sin embargo una desventaja es su alto costo.

Sistemas Primarios:

Los tipos de arreglos empleados en los sistemas primarios son:

- Radiales*
- Anillo*
- Red*

Los sistemas primarios consisten de circuitos denominados ALIMENTADORES PRINCIPALES, cuyo origen es el bus de bajo voltaje de la subestación y van a lo largo del área de carga sirviendo a los alimentadores primarios del transformador de distribución.

Los alimentadores primarios son por lo regular trifásicos de 3 o 4 hilos, los transformadores de distribución son trifásicos o monofásicos conectados al alimentador principal por medio de fusibles o directamente al alimentador primario del transformador.

Arreglo radial:

Como se mencionó anteriormente es el más utilizado debido a su sencillez y bajo costo. Para alimentar las cargas cuenta con una sola trayectoria, en caso de falla afecta a todos los consumidores.

Si se logra aislar la falla, solo los consumidores localizados en el punto de separación y al final del alimentador carecerán del servicio. Esto se logra colocando fusibles para separar las fallas que se presenten en los brazos laterales y sublaterales, la figura 1.4 muestra un diagrama unifilar de un alimentador primario radial e indica la localización de los fusibles:

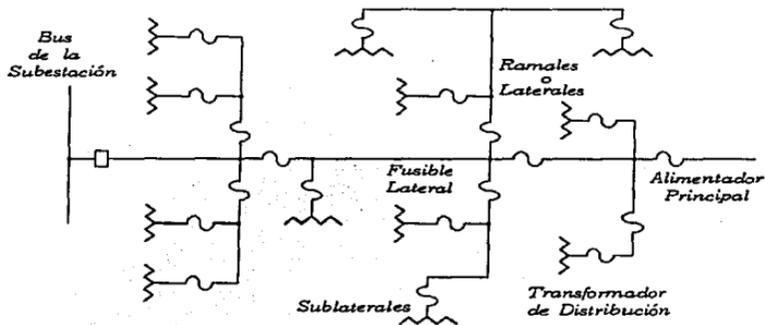


fig 1.4

Arreglo en Anillo:

En este tipo de arreglo el alimentador primario contiene anillos a través del área de carga y retorna a la subestación; del anillo principal se derivan los laterales.

Existen dos tipos de arreglos en anillo:

- 1.- Empleando uno o dos interruptores en el alimentador primario, por lo que el anillo puede operar normalmente abierto o normalmente cerrado*
- 2.- Empleando interruptores de enlace o switches separador.*

Cuando opera normalmente abierto se coloca un interruptor de enlace abierto en el mismo punto alrededor del anillo, logrando con esto que cada mitad del circuito funcione como un alimentador radial y en caso de falla, en el alimentador primario esta se puede aislar abriendo los switches separadores. Después de que se aisló la falla el interruptor de enlace del anillo normalmente abierto puede cerrarse, restaurando así el servicio a una gran parte del alimentador.

Cuando el anillo es operado normalmente cerrado existen dos trayectorias paralelas para suministrar la carga a lo largo del anillo dividiendo este en dos partes para que la regulación de voltaje y pérdidas sean mínimas. En el arreglo de la figura 1.5 a, una falla en el alimentador primario operará al interruptor del alimentador primario y se cerrará hasta que la falla sea aislada en ambas direcciones, en la figura 1.5 b se muestra que

una falla en el alimentador primario abrirá a uno de los interruptores y al del enlace para que de esta manera se aisle la falla en ambas direcciones.

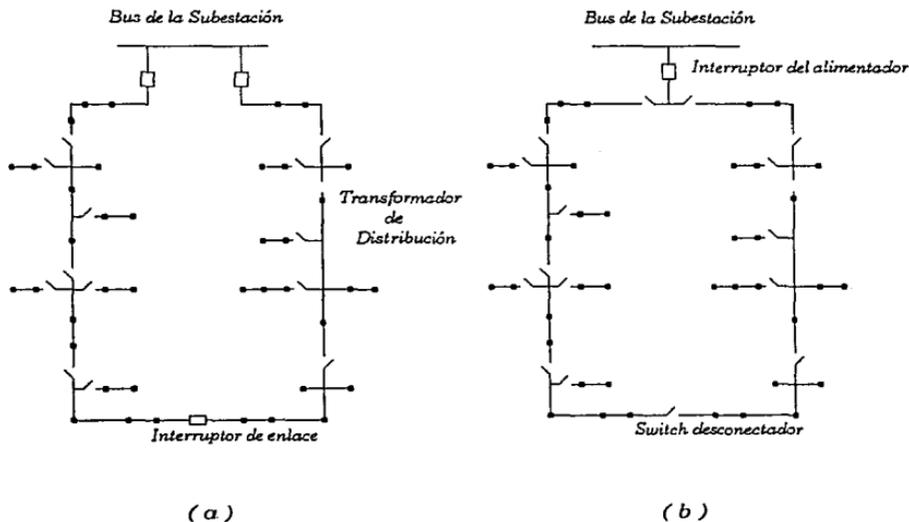


fig. 1.5

Arreglo en Red :

Este sistema consiste de alimentadores interconectados alimentados por diversas subestaciones de distribución. Las subestaciones de la red son los puntos en que se interconectan los alimentadores, donde se encuentran conectados los transformadores de distribución.

Generalmente el arreglo en red tiene dos forma, una como se muestra en la figura 1.6a que utiliza un interruptor generalmente situado cerca del circuito de enlace y el segundo mostrado en la figura 1.6b que emplea dos interruptores en cada alimentador del circuito de enlace, este tiene la ventaja que en caso de falla el servicio se interrumpe en menor grado que el anterior.

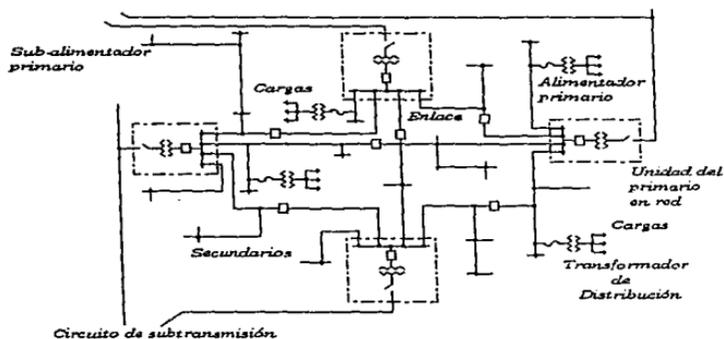


fig. 1.6a

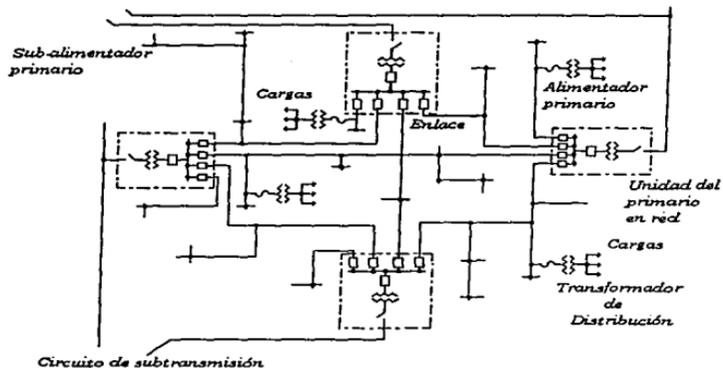


fig. 1.6b

Sistema Secundario:

Es la parte del sistema de potencia que enlaza a los alimentadores primarios con los consumidores. Estas constituyen el último eslabón en la cadena entre la estación de generación y las cargas, los componentes de este sistema son : Transformadores de distribución, circuitos secundarios, medidores, etc. Los transformadores de distribución

proporcionan el voltaje al nivel de utilización para alimentar los servicios de los consumidores.

Los sistemas secundarios son de tipo monofásicos o trifásicos. La figura 1.7 muestra un sistema secundario radial que suministra áreas residenciales, comerciales y de alumbrado, generalmente los monofásicos predominan en áreas residenciales y rurales, y los trifásicos en áreas comerciales e industriales con densidad de carga relativamente grande. Las estructuras utilizadas en los sistemas secundarios son: Radial, Banco secundario y Secundario en Red.

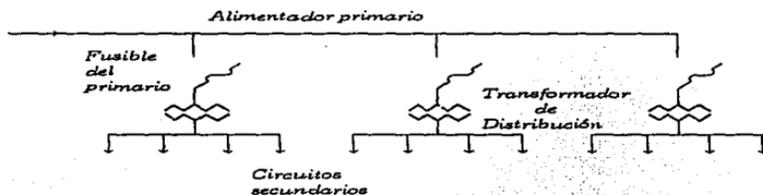


fig. 1.7

Por su bajo costo y sencillez de operación el arreglo radial es el más comúnmente usado en áreas residenciales, rurales, industriales y de alumbrado comercial.

El banco secundario o banco de transformadores, consta de transformadores conectados en paralelo a el mismo circuito primario como se muestra en la figura 1.8 , la diferencia radica en que el banco de transformadores esta conectado al alimentador primario radial único, el cual suministra la energía eléctrica, en tanto que el secundario en red se alimenta de dos o más alimentadores primarios.

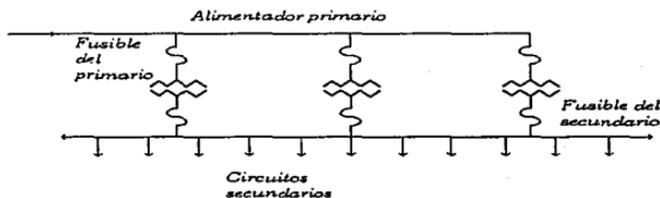


fig. 1.8

El sistema en red ya sea subterráneo o aéreo , consiste en una rejilla (malla), formada por circuitos de bajo voltaje interconectados. Energizados por alimentadores primarios múltiples por medio de transformadores. Este sistema está diseñado para proveer servicio no interrumpido, excepto cuando fallan todos los alimentadores primarios,

la separación del circuito fallado esta hecha por el interruptor del alimentador primario. La figura 1.9 nos muestra un arreglo de este tipo.

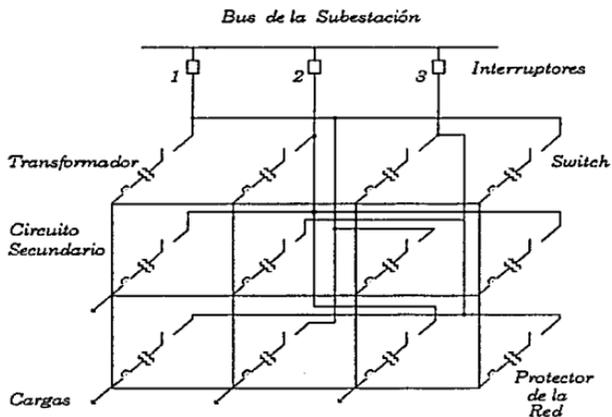


fig. 1.9

1.2.- Elementos que constituyen las redes aéreas.

Los elementos que constituyen las redes aéreas de distribución son:

- *Conductores*
- *Postes*
- *Crucetas y aisladores*
- *Porta -fusibles*
- *Elementos de desconexión*
- *Transformadores*
- *Pararrayos*
- *Apartarrayos*
- *Abrazaderas y herrajes*

Los conductores que más comúnmente se utilizan en las redes aéreas son de aluminio desnudo (ALD), en el troncal al calibre que se utiliza varia puede ser de 556 a 336- MCM ya que soporta una corriente hasta de 470 Amp. Para los ramales generalmente se utiliza cable de aluminio con refuerzo de acero (ACSR) con calibre 2-AWG, ya que puede soportar una corriente de 160 Amp. En los amarres el conductor que se utiliza es ACSR, calibre 1/0- AWG; ya que soportan una corriente de 220 amp.,se ha dado preferencia al uso de conductores de aluminio puesto que es más económico que el cobre.

Los postes que se utilizan en los sistemas de distribución aérea generalmente son de concreto reforzado (CR) , dependiendo de su función varias de tamaño: para una retenida se utiliza un poste de 6 m. de altura CR-6, para baja tensión CR-9 con una distancia entre postes de 40 m. , para baja y alta tensión un CR-12 con una distancia de 60 m. de poste a

poste y para soporte de equipo se utiliza un CR-14 con distancia de 200 m. En algunas ocasiones se utilizan postes de madera o de acero.

Los aisladores tipo alfiler son de porcelana y los de suspensión o los de tensión pueden ser de vidrio o porcelana. Las crucetas son de fierro canal liviano de 6 pulgadas para 23 Kv, y de 4 pulgadas para 6 Kv. Y según los conductores que soportan es la longitud de la cruceta.

Los porta-fusibles son el medio de conexión, desconexión y protección de los transformadores y equipos de medición en 23 y 6 Kv, con fusibles seleccionados de acuerdo con la capacidad de la corriente demandada en la zona.

Generalmente los interruptores son el medio de desconexión en las redes aéreas, tipo Aldutti y Driescher que montados en postes operan en grupos e interrumpen el arco eléctrico através de una cámara de extinción.

Los transformadores se instalan de acuerdo a la carga que proporcionan, generalmente conectados en delta en el primario y estrella en el secundario, con capacidades menores de 500 KVA reduciendo así el voltaje a tensiones bajas en los circuitos secundarios de las redes aéreas de distribución.

Los apararrayos son elementos que protegen al sistema de sobretensiones de origen interno y externo. Los elementos de protección contra sobretensiones utilizados en los sistemas de distribución son los apararrayos autovalvulares, éstos actúan como válvulas de seguridad, derivando a tierra las ondas de sobretensión que puedan dañar los aislamientos de los equipos.

Deben instalarse lo más cercano posible a los aparatos que se desee proteger. En las redes primarias de distribución se emplean los apararrayos en:

- Los transformadores de distribución instalados en zonas que registran gran cantidad de disturbios atmosféricos.*
- En las instalaciones que presenten unión de líneas aéreas con líneas subterráneas, como son acometidas a servicios particulares y salidas de alimentadores de la subestación de potencia.*

1.3.- Alimentadores.

Los alimentadores se refieren principalmente a los sistemas de distribución primaria en las redes aéreas o bien a los elementos de alimentación principal. Dependiendo de la capacidad de la subestación los alimentadores de 23 Kv, pueden ser de 9 ó 12 MVA si se tienen dos transformadores de 30 MVA., ya que su capacidad instalada sería de 60 MVA. Según el tipo de carga a suministrar los alimentadores se clasifican de la siguiente forma:

- Alimentador corto: Es utilizado en zonas donde la densidad de carga es muy alta, con un factor de utilización de utilización de 0.85.

- Alimentador extenso: Depende de la carga que suministra es la extensión del alimentador, se considera como residencial ya que aproximadamente lleva un 10% de carga industrial y un 90% de carga residencial. Con un factor de utilización de 0.8

- Alimentador mixto: En este caso se tiene que los alimentadores llevan un 50% de carga residencial y un 50% de carga industrial con un factor de utilización de 0.6.

El factor de utilización indica el grado en que el sistema está siendo aprovechado durante el pico de carga con respecto a su capacidad nominal.

Los alimentadores generalmente operan en forma radial y en caso de existir anillos, éstos están normalmente abiertos operando como circuitos radiales alimentando la carga de diferentes subestaciones.

La forma más usual de protección para fallas que se presentan en el alimentador es la de sobrecorriente, para proteger estos alimentadores se

emplea un conjunto de dispositivos como: interruptores, pararrayos, relevadores, fusibles, etc. Todos ellos se seleccionan para lograr una buena coordinación de la protección.

Un esquema de protección de los alimentadores primarios puede ser utilizando los interruptores. Estos elementos se seleccionan de acuerdo a la capacidad de cortocircuito en el punto de ubicación del dispositivo de desconexión. Consta de los siguientes elementos: El interruptor (número NEMA 52), cuya función consiste en ser un medio de desconexión, con la robustez necesaria, para abrir bajo condiciones de sobrecorriente, y los relevadores entre los que se encuentran tres unidades de sobrecorriente de tiempo (dos para sobrecorriente entre fases y una para sobrecorriente a tierra; NEMA 51-1, 51-2, 51-N), tres unidades de sobrecorriente instantáneas (dos de sobrecorriente entre fases y una de sobrecorriente a tierra; NEMA 50-1, 50-2, 50-N), una unidad de recierre (NEMA 79), y por ultimo tres transformadores de corriente. La disposición de los mismos se observa en la siguiente figura 1.10.

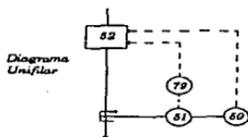
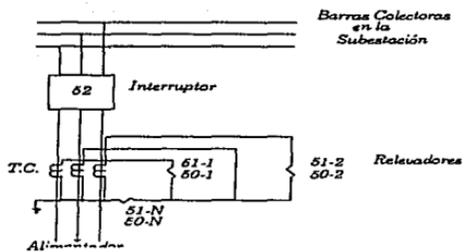


fig. 1.10

1.4.- Pérdidas Eléctricas en los Sistemas de Distribución.

En un sistema eléctrico de potencia también existen las llamadas pérdidas por efecto de Joule, para poder tener una mejor eficiencia en el suministro de energía, reducir costos de producción es necesario conocer los valores de este tipo de pérdidas.

Se puede decir que en un sistema de distribución las llamadas pérdidas por efecto de Joule provienen esencialmente de cuatro partes que son:

- *Pérdidas en los circuitos primarios.*
- *Pérdidas en la transformación.*
- *Pérdidas en la medición.*
- *Pérdidas en los circuitos secundarios.*

Para obtener las pérdidas totales solo basta con sumar las cuatro. Y las más importantes desde el punto de vista de diseño de la red son las pérdidas en los sistemas primario y secundario.

Para el cálculo de las pérdidas por efecto de Joule en un sistema trifásico, las podemos obtener por un método llamado "de las constantes pérdidas".

Si sabemos que:

$$P = 3 RI^2$$

La expresión para la caída de tensión referida al factor de potencia de la carga ($\cos \varphi$) :

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

Para un conductor tratándose de la red trifásica se pueden expresar las pérdidas como:

$$3 R I^2 = \sqrt{3} e K_p$$

Donde K_p se conoce como constante de pérdidas.

Para la caída de tensión:

$$3 R I^2 = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi) K_p$$

$$3 R I = \sqrt{3} (R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi) K_p$$

Despejando K_p .

$$K_p = \frac{1.732 R I}{(R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi)}$$

Para calcular las pérdidas totales por conducción (K_{wp}):

$$K_{wp} = e C_p I$$

Siendo:

$$C_p = \frac{1.732R}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

Los valores de C_p para distintos factores de potencia los podemos obtener directamente de tablas.

CAPITULO

2

2. CALCULO DE CORTO CIRCUITO

2.1.- Tipos de fallas.

En los sistemas de distribución así como en los sistemas eléctricos de potencia para poder seleccionar el equipo de protección y poder efectuar una coordinación adecuada de estos de manera adecuada es necesario conocer todos los parámetros del mismo, como niveles de cortocircuito, equipo conectado, si el sistema es aéreo o subterráneo, tipos de fallas, etc. Las fallas en los sistemas de distribución, en líneas se consideran condiciones anormales en los circuitos y las causas de éstas son muchas y una identificación correcta de éstas permite localizar, seleccionar y coordinar correctamente los equipos de protección.

Las fallas en un sistema de distribución aérea se clasifican por su tiempo de duración en :

- Temporales (instantáneas)*
- Permanentes*

Se consideran como instantáneas aquellas cuya duración es menor a 5 minutos. Según estadísticas éste tipo de fallas de alguna forma esta relacionada con condiciones climatológicas y generalmente se presentan en mayor porcentaje por lluvia, descargas atmosféricas o viento. Estas fallas comúnmente representan en un 70 a 80 % con respecto a un total.

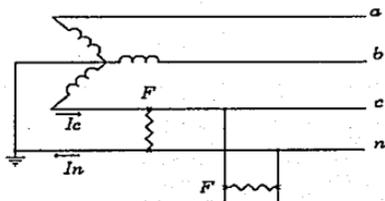
Las causas más comunes en donde se presentan las fallas de carácter permanente son : objetos sobre las líneas, contacto con ramas de árbol, choques o golpes de vehículos en postes, descargas atmosféricas y lluvia.

Entre las causas de fallas propias del sistema de distribución aérea , las más comunes son: falso contacto , fallas de aislamiento, líneas colgadas y fallas del equipo.

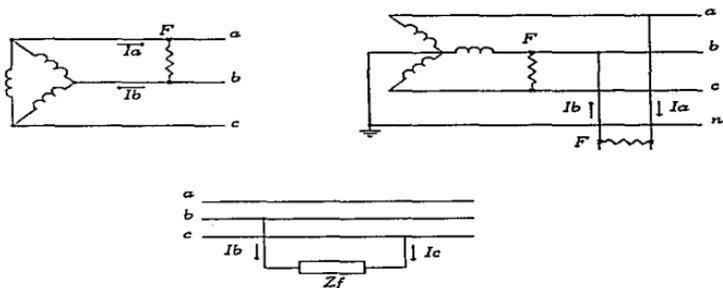
Se entenderá por cortocircuito a una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva denominada corriente de cortocircuito en el punto de ocurrencia.

La falla puede ser de los siguientes tipos:

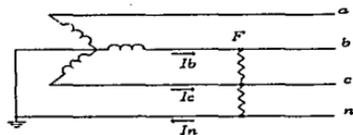
Falla de una línea a tierra (Fase a tierra) : esta ocurre cuando un conductor cae a tierra o hace contacto con el conductor neutro.



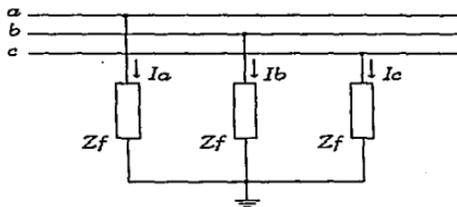
Falla de línea a línea (Fase a fase) : ocurre cuando dos líneas son cortocircuitadas, este tipo de falla se puede presentar en cualquier lugar a lo largo de un sistema, ya sea que este conectado en delta o estrella o a lo largo de un ramal de dos fases.



Fallas de doble línea a tierra (De fase a fase a tierra) : Ocurre cuando dos líneas caen y son conectadas a través de tierra o cuando dos conductores hacen contacto con un neutro aterrizado.



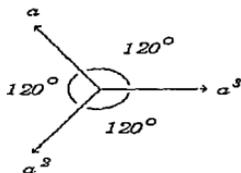
Fallas trifásicas: Ocurren en un sistema trifásico, cuando las tres líneas conectadas ya sea en estrella o delta son cortocircuitadas.



En las figuras anteriores podemos ver que las tres primeras son asimétricas donde este tipo de fallas por lo general son analizadas por un método denominado "de las componentes simétricas". Este método se utiliza para resolver un sistema trifásico desequilibrado descomponiéndolo en tres sistemas trifásicos equilibrados que combinados en forma adecuada son equivalentes al sistema original.

2.2.- Método de las componentes simétricas

Para poder emplear este método se dispone de un operador que origina una rotación de 120° , designado con la letra α , el cual es un número complejo de magnitud igual a la unidad.



$$a = 1\angle 120^\circ = 1 \cos 120^\circ + j1 \sin 120^\circ$$

$$a = -0.5 + j0.866$$

$$a^2 = a^2 = 1\angle 240^\circ$$

$$a^2 = -0.5 - j0.866$$

$$a^3 = 1\angle 360^\circ = 1 \cos 360^\circ + j1 \sin 360^\circ$$

$$a^3 = 1 + j0$$

Por lo tanto:

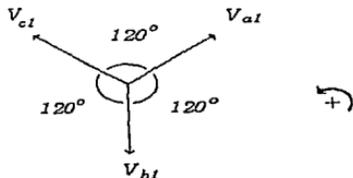
$$a + a^2 + a^3 = 0$$

$$a + a^2 + 1 = 0$$

$$a + a^2 = -1$$

Como se mencionó anteriormente todo sistema trifásico desequilibrado se puede descomponer en tres sistemas trifásicos equilibrados, los cuales son:

1) Un sistema directo o de secuencia positiva: El cual consiste en tres fasores de igual magnitud y 120° de separación de fases, denotado por un subíndice **1**, cuya secuencia es igual a la del sistema trifásico desequilibrado.

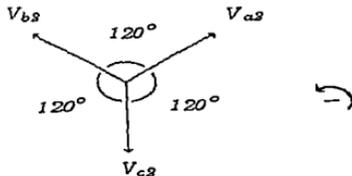


$$V_{a1} = V_{a1}$$

$$V_{b1} = a^2 V_{a1} = V_{a1} \angle 240^\circ$$

$$V_{c1} = a V_{a1} = V_{a1} \angle 120^\circ$$

2) Un sistema inverso o de secuencia negativa: Consiste en tres fasores de igual magnitud y 120° de separación entre fases, denotado con el subíndice **2**, Con una secuencia opuesta a la del sistema trifásico desequilibrado

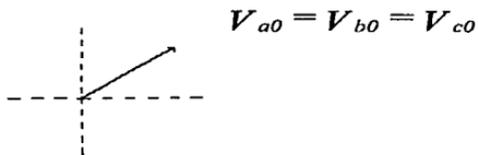


$$V_{a2} = V_{a2}$$

$$V_{b2} = a V_{a2} = V_{a2} \angle 240^\circ$$

$$V_{c2} = a^2 V_{a2} = V_{a2} \angle 120^\circ$$

3) *Un sistema homopolar o de secuencia cero : Consiste en tres fasores de igual magnitud y en fase, cuya secuencia de fases es la misma del sistema trifásico desequilibrado.*



Para poder transformar las componentes simétricas a cantidades de fase se puede hacer uso de las siguientes relaciones:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2}$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2}$$

Expresada en forma matricial:

$$\begin{vmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{vmatrix} = 1/3 \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{vmatrix}$$

Por lo tanto las ecuaciones de las componentes simétricas en función de las componentes de fases quedarían:

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

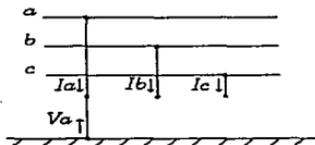
$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

Todas la ecuaciones anteriores también son aplicables a las corrientes.

Dependiendo del tipo de falla, las mallas de secuencia positiva, negativa y cero, se pueden interconectar para obtener las magnitudes de corrientes;
 Por ejemplo :

- *Falla de fase a tierra:*



Condiciones:

$$I_b = 0, I_a = ?$$

$$I_c = 0, V_b = ?$$

$$V_a = 0, V_c = ?$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + a^2 I_c)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} I_a$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} I_a$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} I_a$$

Por lo tanto :

$$I_a = 3 I_{a1}$$

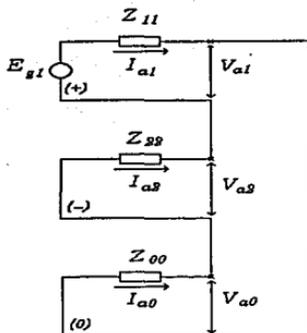
De la figura :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 0$$

$$E_{a1} = I_{a1} (Z_{11} + Z_{22} + Z_{00})$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00}}$$

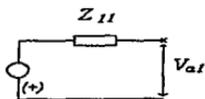
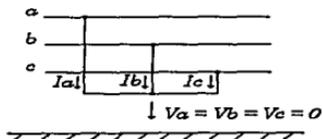
$$I_a = 3 \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00}}$$



La ecuación correspondiente a una falla de fase a tierra, es aplicable a cualquier sistema que tenga que ser reducido a su equivalente Thevenin.

De forma similar, se podrán obtener las ecuaciones para varios tipos de fallas.

- *Falla trifásica:*



Condiciones:

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

$$V_{a1} = E_{a1} - Z_{11} I_{a1} = 0$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_{11}}$$

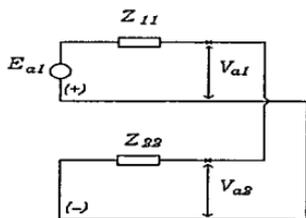
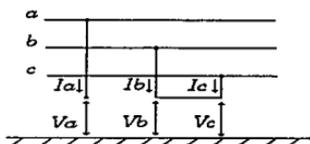
$$I_{a2} = 0, I_{a0} = 0$$

$$I_a = I_{a1}$$

$$I_b = a^2 I_{a1}$$

$$I_c = a I_{a1}$$

- *Falla de fase a fase:*



Condiciones:

$$I_a = 0, \quad I_b = ?$$

$$I_b = I_c, \quad V_a = ?$$

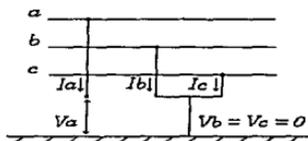
$$V_b = V_c, \quad V_b = ?$$

$$I_b = (a^2 - a) \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22}}$$

$$V_a = 2Z_{22} \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22}}$$

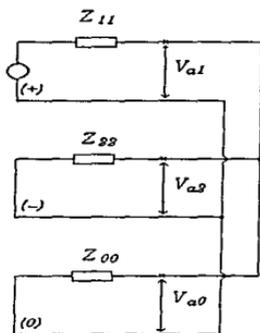
$$V_b = \frac{-Z_{22} E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22}}$$

- Falla de dos fases a tierra:



Condiciones:

$$\begin{aligned} I_a &= 0, & I_b &= ? \\ V_b &= 0, & I_c &= ? \\ V_c &= 0, & V_a &= ? \end{aligned}$$



$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = \frac{1}{3} V_a$$

$$V_a = \frac{3(Z_{22} Z_{00} E_{a1})}{Z_{11} Z_{22} + Z_{11} Z_{00} + Z_{22} Z_{00}}$$

2.3.- Sistema en Por Unidad (P. U.)

Para poder simplificar los cálculos de los sistemas eléctricos en su análisis se expresan las cantidades eléctricas en valores por unidad (P.U.), ya sea: impedancia, corriente, potencia y voltaje.

Los valores en P.U. , de cualquier cantidad queda definido como un cociente de su valor a un valor base expresado en forma decimal .

$$Z_{pu} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_B}$$

$$P_{pu} = \frac{P}{P_B}$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_B}$$

$$V_{pu} = \frac{V}{V_B}$$

Donde los subíndices: P.U. = Valores en Por Unidad.

B = Valores base

La ventaja que se tiene es que estos valores son más fáciles de manejar que usando ohms, volts, amperes y volts-amperes, puesto que en los sistemas eléctricos las impedancias de los equipos y componentes están referidos a valores bases.

Los valores en por unidad son adimensionales.

Cambios de base:

Generalmente las impedancias en algunos sistemas eléctricos están dadas en ohms o en porcentaje, para hacer el análisis de cortocircuito y reducir un diagrama a su equivalente Thevenin es necesario cambiar los distintos arreglos que se tengan (serie, paralelo, estrella, etc.), y por lo tanto se deben referir todos los valores a una base común.

Para poder hacer el cambio de una base a otra nos apoyamos en las siguientes ecuaciones:

$$Z_{pu} = Z_{\Omega} \frac{P_B}{V_B^2}$$

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \left(\frac{V_{B1}}{V_{B2}} \right)^2 \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right)$$

2.4.- Método en Por Unidad (P.U.)

Para poder calcular las corrientes de cortocircuito en cualquier punto donde exista una falla trifásica, se puede utilizar el método en P.U. . En donde se comienza analizar en un diagrama de impedancias o reactancias, donde sus valores deben expresarse en P.U. , referidas a una base común. El diagrama de impedancias debe reducirse hasta un circuito equivalente Thevenin, desde la fuente hasta el punto de falla.

Una vez obtenido el equivalente del circuito, se puede calcular la potencia y corriente de cortocircuito en el punto de falla mediante las siguientes ecuaciones :

$$I_{cc.simetrica} = \frac{P_B}{\sqrt{3} V_B Z_{eq.pu}}$$

Donde:

I_{cc} = Corriente de corto circuito

Z_{eq. p.u.} = Impedancia de la red

P_B = Potencia base

V_B = Voltaje base

*Para incluir el efecto de asimetría por el voltaje se multiplica por el factor **K** de asimetría donde:*

K = 1.6 para voltajes mayores de 5 Kv

K = 1.5 para voltajes 600 V > 5 Kv

K = 1.25 para voltajes menores de 600 V

$$I_{cc.asimetrica} = \frac{KP_B}{\sqrt{3} Z_{eq.pu} V_B}$$

La potencia de corto circuito, sirve para determinar la capacidad interruptiva de los dispositivos de interrupción (fusibles, reconectores, etc.).

$$P_{cc.simetrica} = \frac{P_B}{Z_{eq.pu}}$$

La potencia asimétrica se obtiene multiplicando la ecuación anterior por el factor de asimetría K.

$$P_{cc.asimetrica} = \frac{KP_B}{Z_{eq.pu}}$$

Se puede decir que el método en P.U. , es un caso particular del método de las componentes simétricas, ya que sólo se aplica a fallas trifásicas, porque producen la máxima corriente de falla, y las fallas de una línea a tierra son las más comunes en cuanto a su probabilidad de ocurrencia.

CAPITULO

3

3. ASPECTOS GENERALES DE LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES.

En el caso particular de las redes de distribución, la protección de las mismas tiene por objeto detectar cualquier condición anormal de sobrecorriente o desbalance de carga para, a su vez, activar un medio de desconexión de capacidad interruptiva suficiente para impedir algún daño mecánico en el equipo instalado.

Un esquema de protección debe satisfacer tres aspectos:

- Rapidez: al desconectar oportunamente un circuito.*
 - Sensibilidad: al detectar el valor de cortocircuito mínimo esperado.*
 - Selectividad: al definir un esquema coordinado de equipos de protección en cascada debe actuar el más próximo a la falla quedando el inmediato anterior como dispositivo de respaldo, lo que significa, que en caso de que el primer equipo no actúe oportunamente ante la falla, el segundo lo haga.*
- Los esquemas de protección sobre la línea, involucran medios de seccionamiento, algunos de los cuales poseen una capacidad interruptiva como en el caso de los restauradores y fusibles, o bien su diseño les permite soportar sobrecorrientes momentáneas al cerrar contra fallas lo que es característica propia del seccionador. Los equipos mencionados están ubicados a lo largo del alimentador en ramales y troncal ya que son capaces de actuar oportunamente bajo condiciones de falla.*

3.1 Transformadores de Corriente (TC).

En los sistemas eléctricos de corriente alterna se manejan normalmente diferencias de potencial e intensidades de corriente considerablemente altas, y por ello para proteger a los equipos de protección y de medición, ya que estos son alimentados por magnitudes proporcionalmente menores copiadas fielmente por dispositivos especiales llamados transformadores de instrumentos, existen dos tipos de estos transformadores los llamados transformadores de corriente y los transformadores de potencial.

Un transformador de corriente (TC), es un dispositivo que alimenta una corriente proporcionalmente menor a la del circuito.

Los transformadores de corriente son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente defasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieren ser energizados.

Refiriéndonos al diagrama que se muestra en la figura 3.1, el devanado primario está conectado en serie con la línea o alimentador, por lo que la corriente primaria I_H es la misma línea y la impedancia primaria Z_H es lo suficientemente pequeña que puede ser despreciada. La impedancia de carga Z_C es la resultante de la conexión en serie de las bobinas de corriente de los equipos de protección y medición que el TC debe alimentar.

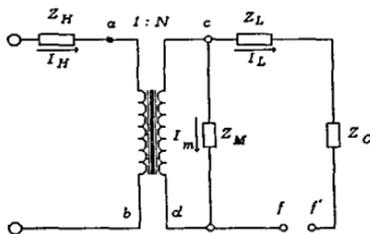


fig. 3.1

Bajo condiciones normales de operación la corriente secundaria será $1:N$ veces la corriente primaria del TC. En condiciones normales de operación la corriente primaria es demasiado grande y la impedancia de carga demasiado grande.

La relación de los TC'S debe ser tal que la corriente nominal de operación no exceda de su capacidad nominal. Por ejemplo: si la corriente pico de carga en un alimentador son 400 amp., la relación del TC deberá ser 400:5 ó mayor.

La forma de conexión de un TC depende del uso que se le dará a las corrientes secundarias que éste proporcionará. Las conexiones comúnmente usadas son:

a) *Conexión estrella:* Debe cuidarse la dirección de las corrientes, es decir, que la conexión de los puntos de polaridad sea la correcta pues la inversión de una o dos fases desbalanceará la estrella provocando una señal errónea de los dispositivos conectados al secundario Z_a , Z_b , Z_c y Z_n . La inversión de las polaridades de las tres fases, invertiría únicamente la dirección de las corrientes secundarias no importando para esquemas dado que solo intervenga el valor de la magnitud de corriente.

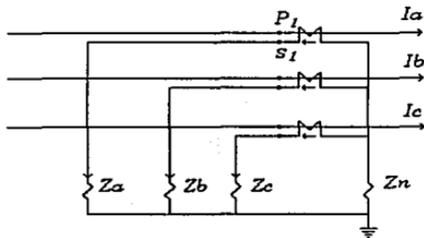


fig. 3.2

b) *Conexión delta:* Como se puede apreciar en los diagramas fasoriales la conexión delta modifica la relación ángulo con que la corriente secundaria alimentará a los dispositivos conectados al secundario, el factor por el cual se modifica la relación de transformación es la raíz de tres.

En la conexión deberá verificarse la polaridad de cada uno de los TC'S pues la inversión de uno o dos de ellos provocaría un desbalance y por lo tanto una señal equivocada, en los dispositivos conectados al secundario. Dado que no se tiene conexión a tierra podemos observar que la conexión delta no permite corrientes de secuencia cero.

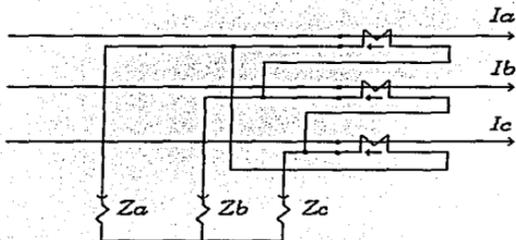


fig. 3.3

3.2 Relevadores

Los relevadores son dispositivos que permiten sensar cualquier condición de sobrecorriente, para poder ejercer una acción de mando sobre el interruptor y así poder librar la falla.

Los relevadores son dispositivos que envían a los interruptores considerados una señal

de apertura , se dice que funcionan cuando al energizarse una bobina de disparo cierran sus contactos , disparando los interruptores.

Los relevadores se pueden dividir en tres grupos:

- Atracción electromagnética*
- Inducción electromagnética*
- Estado sólido*

Cualquiera de estos opera mediante señales recibidas que pueden ser de tensión o corriente.

Atracción electromagnética: Estos relevadores están formados por una bobina con un núcleo magnético que en uno de sus extremos tiene el contacto móvil que, al desplazarse junto con el núcleo, cierra el circuito de disparo através de un contacto fijo.

Estos relevadores son de dos tipos: de bisagra y de tipo núcleo o émbolo, como se muestra en las figuras 3.4 a y b. Estos relevadores operan por atracción magnética mediante un solenoide en el tipo émbolo, o mediante una armadura magnética enbisagrada en el tipo bisagra. Suelen tener derivaciones, en la bobina de operación para permitir el ajuste de la corriente mínima de operación, que es el valor preciso de la corriente a partir del cual el relevador comienza a moverse.

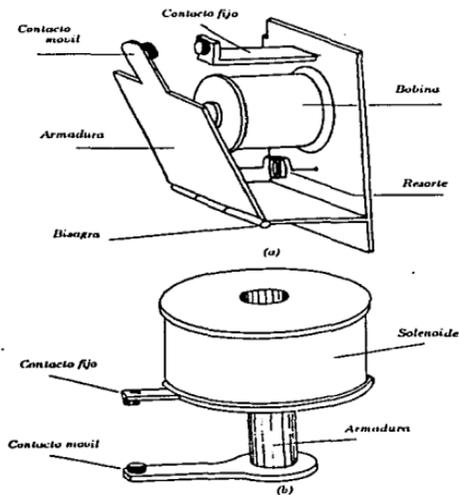


fig. 3.4

Estado sólido: Es un relevador formado por unidades lógicas de estado sólido que trabajan con señales de voltaje de corriente directa, estos relevadores en comparación con los electromagnéticos son mas pequeños y más rápidos y tienen menor carga. En general están formados por una fuente de tensión de C.D., un rectificador de onda completa o fuente de señal de disparo y una bobina que actúa sobre el contacto de disparo.

Inducción Electromagnética: Utilización el principio del motor de inducción y los flujos creados por las corrientes de las bobinas inducen corrientes en el disco como se muestra en la figura 3.5. La interacción del rotor crea un par que lo hace girar en oposición de un resorte en espiral y cierra los contactos del circuito de disparo.

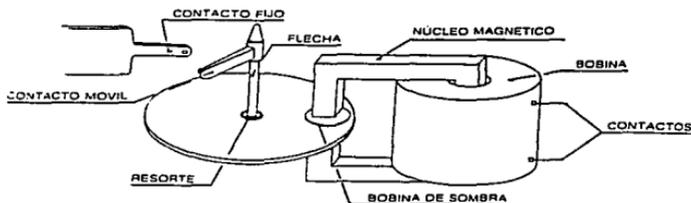


fig. 3.5

Relevadores de sobrecorriente instantáneo (50).

Es un relevador que funciona instantáneamente para un excesivo valor de corriente e indica una falla en el aparato protegido (tiempo de operación de 0.05 seg. ó menor).

Relevador de sobrecorriente con retraso de tiempo (51).

Es un relevador con característica de tiempo definida o inversa que funciona cuando la corriente en el circuito excede un valor predeterminado, a mayor corriente mayor tiempo

Relevadores diferenciales.

Estos relevadores operan bajo una diferencia de corriente y brindan la protección más selectiva, ya que su zona de operación esta restringida al área definida por los TC'S ubicadas en los extremos del equipo protegido y comparan las corrientes de entrada y salida sin involucrar condiciones externas y recibe el numero de función 87.

Relevadores de recierre:

Son del tipo de relevadores de programa que supervisan la posición de un interruptor permitiendo su reenergización, ya sea instantánea o con tiempo posterior a una apertura del mismo por acción de un sistema de protección. Tienen una secuencia de operación de acuerdo a las necesidades de aplicación y por el diseño del mismo que lo bloquean una vez que cumplieron con el número designado de intentos de cierre sobre una falla permanente así como también su reposición una vez que no es cumplido su ciclo completo:

Su principio de operación es el siguiente: La secuencia de operación se controla con un motor de C.A. o C.D. que acciona un tren de levas esta a su vez efectúan la apertura y cierre de los relevadores integrados al control del interruptor y que permitirán su reenergización.

3.3 Interruptores

Los interruptores son unos de los dispositivos más importantes en los sistemas de distribución, se pueden clasificar por su tensión de operación en interruptores de mediana y baja tensión. Se puede definir en forma general como un dispositivo de apertura y cierre mecánico capaz de soportar tanto corriente de operación normal como altas corrientes durante un tiempo específico, debido a las fallas en el sistema.

Los interruptores pueden cerrar o abrir en forma manual o automática por medio de relevadores. Estos dispositivos deben tener una alta capacidad de interrupción de corriente y soportar altas corrientes de operación en forma continua. Su operación automática se lleva a efecto por medio de relevadores, que son encargados de sensar las condiciones de operación de la red.

Situaciones anormales como sobrecargas o corrientes de falla ejercen acciones sobre el interruptor ordenándole abrir. Estas señales pueden ser enviadas en forma eléctrica, mecánica, hidráulica o neumática. La interrupción del arco producido por estas corrientes puede llevarse a cabo por medio de:

- Aceite.*
- Vacío.*
- Hexafluoruro de azufre (SF_6).*
- Sople de aire.*

Los interruptores tienen un mecanismo de almacenamiento de energía que le permite cerrar hasta cinco veces antes de que la energía sea interrumpida totalmente, este mecanismo puede ser de los siguientes tipos:

- Neumático (aire comprimido)
- Hidráulico (nitrógeno comprimido)
- Neumático-hidráulico (combinación)
- Mecanismo de resorte.

El tiempo requerido para que el interruptor abra sus contactos y se extinga el arco una vez que este recibe la señal de apertura se ha estandarizado en cinco ciclos, aunque en algunos interruptores modernos (vacío o SF_6), esto se logra en tres ciclos solamente. El tiempo de apertura es sumamente importante tanto para la coordinación como para la protección de los conductores y equipo.

Últimamente se ha incrementado en forma significativa el empleo de interruptores de SF_6 y vacío en niveles de tensión, de distribución debido principalmente a su confiabilidad.

El hexafluoruro de azufre es un gas no inflamable con características únicas que lo hacen especialmente conveniente para usarlos en dispositivos de interrupción de energía eléctrica. su rigidez dieléctrica es varias veces mayor que la del aire a la misma presión, es un gas inerte que tiene una gran afinidad con electrones libres y capacidad para interrumpir corrientes.

La pérdida de gas debida a la disociación durante la interrupción de corriente es despreciable, por lo que se construyen interruptores totalmente sellados con una vida útil hasta de 20 años.

El principio de extinción de arco en vacío ha sido ampliamente utilizado en los equipos de potencia, sin embargo, a medida que los costos han disminuido en ampliación a niveles de tensión de distribución se ha generalizado, habiendo en la actualidad una amplia utilización.

El principio fundamental de este tipo de interruptores es que la extinción de arco se efectúa en ambiente inerte, lo que permite un mantenimiento reducido.

3.4 Restauradores

El restaurador es un dispositivo electromecánico habilitado para sensibilizar e interrumpir en determinado tiempo, sobrecorrientes en un circuito debida a la eventualidad de una falla así como de hacer recierres automáticamente y reenergizar el circuito. En caso de persistir la falla vuelve abrir, recerrando nuevamente, esta secuencia de operación se leva a cabo hasta cuatro aperturas al final de la cuales quedará bloqueado. La secuencia realiza dos importantes funciones:

- *Prueba la línea para determinar si la condición de falla ha desaparecido.*
- *Discrimina las fallas temporales de las permanentes.*

Los restauradores tienen la característica de restablecerse autamáticamente. Si un restaurador se calibra para abrir después de su cuarta operación de apertura, pero la falla es transitoria y se elimina después de su primera, segunda o tercera operación, el restaurador se restablece a su posición original y queda listo para llevar a cabo otro ciclo de operaciones, pero si el restaurador es sometido a una falla de carácter permanente y pasa por un ciclo completo de recierres y aperturas hasta quedar abierto, entonces se debe cerrar manualmente para volver a energizar la sección de línea que protege.

Teoría de Operación:

Independientemente que efectúen la misma función existen diferentes características de los restauradores como son:

- Número de fases: En nuestro país en su mayoría el sistema de distribución es trifásico, por lo que solamente en los casos de distribución monofásica se utilizarán restauradores monofásicos.*
- Medio interruptivo: En aceite, vacío o hexafluoruro de azufre ya que son los más utilizados en la actualidad.*
- Tipo de control: Hidráulico o electrónico, el más utilizado es el electrónico y utiliza para su operación señales de TC que son sensadas convenientemente a través de relevadores. El control electrónico para restauradores, se aloja en un gabinete que contiene los elementos necesarios para definir las características tiempo-corriente, los niveles de corriente mínima actuante y la secuencia de operación siendo posible efectuar modificaciones en el ajuste, sin necesidad de desenergizar y desmontar el restaurador.*

En el caso de los hidráulicos existen diferentes tipos de disparo como son:

- Disparo Serie: Este tipo de disparo utiliza la energía electromecánica generada por la acción de sobrecorriente a través de una bobina abriendo los contactos del restaurador, y cargando un resorte al mismo tiempo. Después de un tiempo predeterminado que usualmente es de 90 a 120 ciclos, libera un resorte cerrando nuevamente el circuito. La secuencia de tiempos de operación de apertura y cierre se realiza a través de un mecanismo de bombas, pistones y válvulas.*
- Disparo Serie con Relevadores: El arreglo es similar al anterior sólo que la bobina de operación es energizada únicamente al llegar la corriente al*

valor de Pick-up de una bobina auxiliar. Las funciones de tiempo y recierre, utilizan el mismo principio mencionado anteriormente.

- Disparo Serie Piloto: Su operación de apertura y cierre la efectúan bobinas diferentes, lo que hace que requiera menos energía para operar. El principio de apertura es el mismo, modificándose el arreglo de cierre para el cual utiliza una bobina a voltaje pleno fase-tierra o entre fases del lado fuente la cual es energizada por medio de un contacto normalmente cerrado de la propia bobina de operación.

Los restauradores, se pueden utilizar en cualquier parte del circuito primario de distribución, los lugares más lógicos para su empleo son: en la subestación de potencia

que alimenta a los circuitos de distribución, sobre la troncal para seccionarla e impedir que salga de servicio todo un alimentador cuando se presenta una falla al extremo del alimentador, en los puntos donde se unen las derivaciones de los troncales.

Los factores que se deben considerar para aplicar restauradores adecuadamente son:

- Tensión del sistema.*
- Máxima corriente de falla en el punto donde se instale el restaurador.*
- Mínima corriente de falla en el punto donde se instale el restaurador.*
- Coordinación con otros dispositivos de protección.*
- Sensibilidad de fallas a tierra.*

El restaurador debe tener una tensión nominal igual o mayor que la tensión del sistema. La capacidad de interrupción del restaurador debe ser igual o mayor que la máxima corriente de cortocircuito en el punto donde se instala el restaurador. La capacidad nominal de conducción del

restaurador se debe seleccionar de tal manera que sea igual o mayor que la corriente de carga del circuito.

Los restauradores tienen dos curvas características tiempo-corriente una de tiempo rápido y otra de tiempo lento. La primera operación es tan rápida como sea posible para eliminar fallas transitorias antes de que ocurra un daño en la línea, si la falla es permanente.

3.5 Fusibles

Los fusibles son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor siendo más baratos que éstos. Un fusible puede ser definido como un dispositivo de protección que opera cuando una sobrecorriente pasa por él y pone en peligro los equipos o instalaciones del sistema, pudiendo deberse esta sobrecorriente a sobrecargas o cortocircuito. Por tanto las funciones de los fusibles serán fundamentalmente aislar la porción del circuito del resto del alimentador sin falla, soportar una tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente e impedir el daño de los equipos instalados en el mismo.

Un fusible es un elemento de aleación metálica que por efecto térmico se funde al paso de una corriente eléctrica superior a un valor predeterminado.

Un fusible debe especificarse en base a la frecuencia de operación, capacidad nominal de corriente, voltaje nominal de operación, voltaje máximo de diseño y capacidad interruptiva.

La capacidad nominal de corriente es por definición la corriente que el elemento puede soportar continuamente sin sufrir calentamientos que pudieran modificar sus características de diseño.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, y normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que está calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente. En esta sección se produce una densidad de corriente elevada, que al pasar de un valor determinado y durante un tiempo prefijado, se produce la fusión del elemento y la apertura del circuito del que se trate. Al fundirse el elemento fusible se generan gases a presión dentro del cartucho del fusible que son proyectados hacia el exterior del tubo. El gas a presión está formado por el aire que se encuentra dentro del cartucho que se expande bruscamente por efecto del calor del arco eléctrico y que, al ser expulsado, produce la extinción del arco.

Existen tres tiempos característicos de operación de un fusible:

- Tiempo mínimo de fusión (MMT, Minimun Meltin Time): Es el tiempo necesario para que el elemento fusible es roto por fusión, éste indica el momento en que una sobrecorriente circula através del fusible y termina cuando aparece el arco eléctrico.*
- Tiempo de arqueo (Arcing Time): Es el tiempo necesario para extinguir el arco; se inicia en el momento que se funde el elemento fusible y termina cuando la falla es aislada.*
- Tiempo máximo de limpieza (MCT, Maximun Clearing Time): Es el intervalo de tiempo entre la aparición de la falla y la apertura total del elemento fusible, es la suma del MMT y del tiempo de arqueo.*

La selección adecuada de un fusible debe considerar:

- *Proteger a los equipos del circuito bajo cualquier condición de sobrecorriente que los pueda dañar.*
- *En condiciones normales de operación el fusible no debe operar.*
- *Si dos o más fusibles se encontraran instalados en serie y se presentara una falla, únicamente deberá operar el que se encuentre más cercano a este punto.*

En los sistemas de distribución los fusibles se pueden clasificar en :

- *Fusibles de baja tensión.*
- *Fusibles de media tensión.*

Los fusibles de baja tensión han tenido aplicación universal en instalaciones de los usuarios, protegiendo tanto éstas como las acometidas o cables que llevan el suministro de energía eléctrica desde los secundarios de los transformadores de distribución .

Actualmente se utilizan para este tipo de fusibles los llamados de cartucho, que pueden utilizarse en dos tensiones diferentes: 250 volts c.a. o menos y 600 volts c.a. o menos. En normas internacionales los fusibles descritos son conocidos como fusibles de clase H, en estas normas también se especifican los fusibles de tapón los cuales se utilizan en tensiones de 127 volts c.a. de fase a tierra y corrientes hasta de 30 amperes nominales.

El tipo de eslabón que se utiliza en mayor grado es el que se muestra en la figura 3.6

Durante fallas de cortocircuito este dispositivo brinda un buen grado de protección y en condiciones de sobrecarga su fusor central, de acuerdo con la magnitud de la sobrecarga, absorbe una cantidad de calor tal que funde en un tiempo determinado de acuerdo con la magnitud de la sobrecorriente.

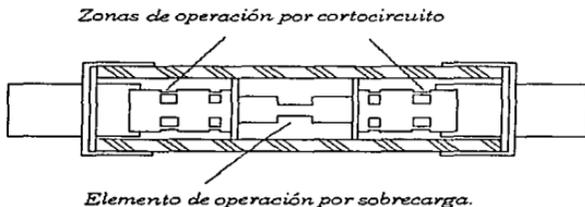


fig. 3.6

Los fusibles de media tensión son aquellos que se aplican en el lado de alta tensión de los transformadores; de hecho, son los que se han desarrollado más debido no sólo a su bajo costo, sino a su facilidad de coordinación con otros dispositivos.

Los fusibles de media tensión se pueden clasificar en : fusibles de distribución, los cuales para seleccionar su tamaño se debe considerar la

corriente de arranque., de acuerdo a las normas NEMA los más adecuados son los denominados con las letras K o T. Fusibles de potencia, estos fusibles pueden ser seleccionados con base en la máxima tensión entre fases que se puede presentar en el sistema en donde se aplique independientemente del tipo de aterrizamiento que tenga.. La capacidad interruptiva del fusible de potencia debe ser mayor siempre a la máxima disponible en el lugar de instalación

De acuerdo con su capacidad de ruptura, lugar de instalación y costo, se pueden utilizar diferentes tipos de fusibles, entre los más conocidos se pueden indicar los siguientes:

1- Expulsión

2- Limitador de corriente

3- Vacío

1.- Expulsión: Estos aprovechan la generación y expulsión de un gas a alta presión que, al ser inyectado a través del arco producido a continuación de la fusión del elemento fusible, provoca la extinción del mismo. Este tipo de fusible utilizan ácido bórico, sustancia que es el elemento generador del gas, y que tiene como ventaja que son recargables, utilizando para ello pastillas de ácido bórico comprimido, como se observa en la figura 3.7, en esta se observa que el elemento fusible se encuentra entre los contactos móvil y fijo. El contacto móvil lo comprime un resorte. La cámara de arqueo se localiza en la parte inferior. Ahí se encuentran las pastillas de ácido bórico.

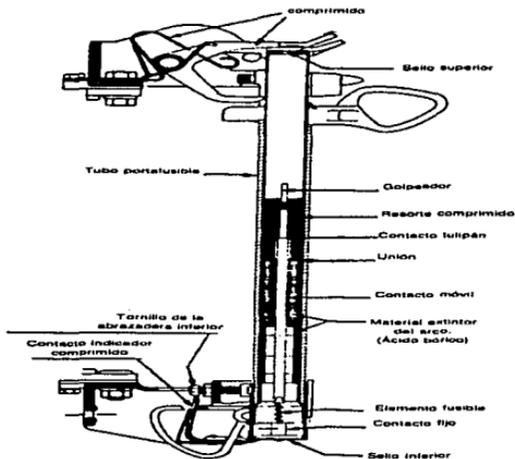


fig. 3.7

Al fundir el elemento fusible, se produce el arco eléctrico y al quedar libre el fusible, el resorte que estaba comprimido desplaza el contacto móvil produciendo un alargamiento del arco. A su vez el arco produce calor y éste provoca una reacción en el ácido bórico que desprende vapor de agua y óxido de boro. La extinción del arco se logra por la acción desionizadora del vapor y la turbulencia de las partículas del óxido de boro.

Una vez que la presión interior llega a valores elevados, se desprende el sello y escapa un gas en forma explosiva.

2.- Limitador de Corriente: Este tipo de fusible es de doble acción, por un lado reduce la corriente de falla debido a la característica de introducir una resistencia elevada en el circuito y por otro, debido al incremento de la resistencia pasa de un circuito de bajo factor de potencia a otro circuito de alto factor de potencia.

El elemento fusible más largo que el anterior y que se encuentra dentro de arena de sílice que centra el arco, la presión a lo largo del elemento fusible y produce una elevación momentánea de la resistencia, la cual limita la corriente de cortocircuito, limitando así el tiempo de interrupción.

El elemento fusible como se observa en la figura 3.8, consta de uno o varios elementos de plata en forma de alambre o cinta perforada. Estos elementos van enrollados helicoidalmente sobre un cilindro de porcelana que soporta altas temperaturas en el instante de la operación. El espacio entre el soporte y el tubo está relleno de arena de sílice. El eslabón fusible tiene puntos M que son puntos de soldadura de plomo o aleaciones de estaño, cadmio, etc.

Al calentarse el elemento de plata se empieza a fundir en diferentes puntos, produciendo gran número de pequeños arcos eléctricos en serie, que unidos a la alta resistencia del circuito, acaban por eliminar la corriente.

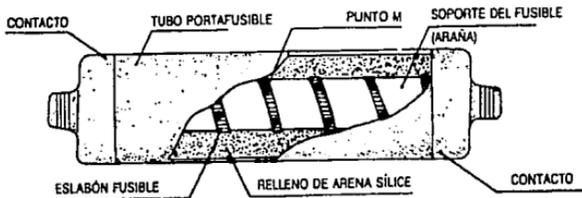


fig. 3.8

3.- Vacío: En este tipo de interrupción se produce al separarse los contactos dentro de un recipiente hermético en el que se ha hecho el vacío, de tal manera que a medida que se separan los contactos, la corriente se concentra en los puntos más salientes de la superficie de contacto y cesa cuando se evapora el último puente entre los dos contactos.

La emisión del arco que se forma en vacío sólo ocurre en las pequeñas zonas del electrodo donde existe metal ionizado que forma una especie de vapor. Este vapor se expande rápidamente en el vacío al separarse los dos electrodos, llegándose a condensar en las paredes de vidrio de la cámara.

La ventaja de los fusibles en vacío es que se pueden montar en lugares muy reducidos. Los fusibles de expulsión se utilizan donde la expulsión de gases y su ruido no causan problemas, o sea, en equipo de líneas aéreas. Los fusibles limitadores de corriente son más caros y se usan principalmente en instalaciones interiores.

3.6 Coordinación

Estudios estadísticos efectuados en los sistemas de distribución aérea, demuestran que el 95% de las fallas son transitorias, la experiencia real de las fallas demuestran que en el primer recierre de los equipos de protección se elimina hasta el 88% de ellas, en el segundo un 5% adicional y en el tercero un 2% más , quedando un promedio del 5% de fallas permanentes.

Como se mencionó anteriormente uno de los principales objetivos de la protección en los sistemas de distribución es tener un mínimo de usuarios sin servicio en el caso de presentarse una falla, eléctricamente esto significa tener el menor número posible de circuitos fuera de servicio en condiciones de falla, para lo cual además de seleccionar los elementos de protección con sus características adecuadas y ubicarlos convenientemente, es necesario tener una selectividad, en la operación de los mismos, de tal forma que operen en forma coordinada..

En los sistemas de distribución actuales la coordinación de los equipos de protección debe hacerse en serie, o como también se le conoce en "cascada", esto es que quedan instalados unos tras otros en forma sucesiva, de la fuente hacia la carga, debido a que la mayoría de estos operan en forma radial.

Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de la alimentación, es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo de respaldo.

El requerimiento indispensable para una adecuada coordinación consiste en que el dispositivo debe operar y despeja la sobrecorriente antes que el dispositivo de respaldo funda (fusible) u opere a bloqueo (restaurador).

Los dispositivos de protección debe tener las características tales que cuando por una falla permanente se presente una suspensión del servicio, la falla deberá restringirse a la mínima área posible tratando de que la suspensión sea del menor tiempo posible.

Para una ubicación correcta del equipo de protecciones deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

El primer punto lógico a proteger será la salida del alimentador, idealmente el origen de cada ramal debería considerarse como punto de seccionalización con el objeto de limitar el retiro de servicio al menor segmento práctico del sistema. Se debe tomar en cuenta que la facilidad de acceso al equipo de protección que se instale. La decisión definitiva sobre el grado de protección debe quedar sujeta a una evaluación técnico-económica que tome en cuenta la inversión inicial en los equipos contra los ahorros en costos y beneficio a largo plazo.

Los factores que deben tomarse en cuenta para la aplicación apropiada del equipo de protección se pueden resumir en :

- Distancia y calibres de conductores a lo largo del circuito que se desea proteger.*
- Voltaje del sistema.*
- Corrientes nominales de carga en las ubicaciones del equipo de protección.*
- Niveles de falla máximas y mínimas en los puntos que se desea proteger.*
- Niveles mínimos de operación.*

- *Características operativas (curvas tiempo-corriente) y secuencia seleccionada en los equipos de protección.*

- *En el equipo de protección se deben considerar ciertos márgenes de capacidad, tales que cubran los futuros crecimientos de carga o probables modificaciones del sistema.*

A medida que se desarrolla un plan de protección contra sobrecorriente, las consideraciones económicas dictan el empleo de diferentes tipos de dispositivos protectores en serie. Normalmente a medida que las distancias desde la subestación aumentan, se utilizan equipos menos caros y menos sofisticados. Este estudio de la correcta aplicación de los dispositivos de protección en serie se llama coordinación.

Cuando se aplican en dos o más sistemas dispositivos de protección, el dispositivo más cercano a la falla (en el lado de la alimentación a la falla), es el dispositivo protector y el adyacente a la alimentación es el de respaldo.

Deben considerarse dos principios de coordinación:

1) El dispositivo protector debe eliminar una falla permanente o temporaria antes de que el dispositivo de respaldo interrumpa el circuito u opere hasta la apertura definitiva.

2) Las paradas por causa de fallas permanentes deben ser restringidas a una sección lo más pequeña posible del sistema por el tiempo más corto posible.

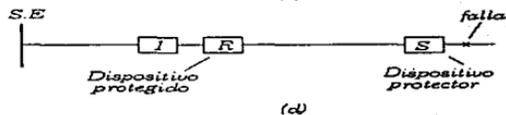
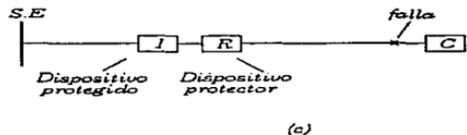
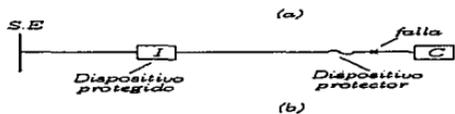
Se pueden identificar diferentes tipos de coordinación entre los dispositivos de protección;

a)-Restaurador-Fusible

b)-Interruptor- Fusible

c)-Interruptor-restaurador

d)-Restaurador-seccionador



CAPITULO

4

4. SECCIONADORES

4.1.- Características de los Seccionadores:

Los seccionadores son dispositivos que sirven principalmente para proteger los circuitos alimentadores contra fallas en ramales, reduciendo de esta forma en lo posible que las redes áreas que queden fuera de servicio por causa de alguna falla en el sistema de distribución . Operan en forma automática aislando de esta forma las secciones contra falla en la línea del resto de la red. Actúa como un contador de operaciones de un dispositivo de recierre en presencia de una falla.

El seccionador es un dispositivo de apertura de un circuito eléctrico que abre sus contactos automáticamente mientras el circuito esta desenergizado, por la operación de un dispositivo de interrupción que puede ser trifásico o monofásico. Los seccionalizadores no están diseñados para interrumpir la corriente de falla, debido a esto se utiliza en serie con y a una distancia remota de un dispositivo de interrupción.

El seccionador detecta la corriente que fluye en la línea y cuenta el número de veces que opera el dispositivo desconexión cuando trata de aislar una falla.

Aunque el seccionador no interrumpe la corriente de falla, puede interrumpir la corriente de carga normal y por lo tanto puede usarse como interruptor de carga.

El seccionador registra un número predeterminado de interrupciones del dispositivo de interrupción, y después abre cuando ha operado este último. Cuando se desenergiza la línea por medio del dispositivo de interrupción la corriente en el seccionalizador es cero.

Cuando se considera que la falla es de carácter permanente (que persiste cuando el circuito esta desenergizado), el dispositivo de respaldo opera y el seccionador cuenta cada operación de disparo y después que el dispositivo de interrupción ha realizado su penúltimo disparo, el seccionador abre y aísla la falla.

Cuando la falla es de carácter temporal (La que puede ser librada antes de que ocurra algún daño serio al equipo o instalaciones), la aísla rápidamente el interruptor, ya que ni el seccionador ni el restaurador no han completado su ciclo de operación y por lo tanto regresan a su estado inicial preparándose para otra operación.

No existe interconexión eléctrica o mecánica entre un dispositivo de interrupción y un seccionador. Este último puede controlar tramos de líneas de 4 a 5 Km. y la cantidad de ramales depende de factores como: La impedancia de la carga, índice de descargas atmosféricas , y si su accionamiento es monofásico o trifásico.

Los seccionadores comúnmente son utilizados entre dos dispositivos de protección que tienen curvas de operación tiempo corriente (restauradores, interruptores, fusibles), también son usados en lugares en donde la corriente de falla es elevada ya que este dispositivo no interrumpe corrientes de falla y por su capacidad de corriente de carga también sirve como un dispositivo de seccionamiento económico.

Las capacidades de corriente van de 5 a 400 amperes y las clases de voltaje de 2.4 a 34.5 Kv. La clasificación de los seccionadores depende de su tipo de control, medio de aislamiento y número de fases.

Tipo de control {
Hidráulico
Electrónico

Medio de Aislamiento {
Aceite
Vacío
Aire

Número de Fases {
Monofásicos
Trifásicos

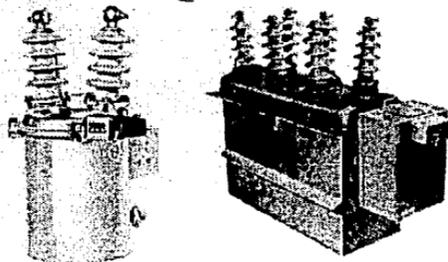


fig. 4.1

4.2 Operación

La operación de los seccionadores implica el tipo de control (hidráulico o electrónico). Es importante considerar que un seccionalizador cuenta la cantidad de veces que la corriente superior a su mínima actuante es interrumpida por un dispositivo de respaldo, (como puede ser un restaurador o un interruptor). Después de una cantidad específica de recuentos, el seccionador abre sus contactos.

Cuando es debidamente usado , un seccionador abre solamente una línea desenergizada. No tiene capacidad de ruptura en la corriente de falla ni curvas características de operación aunque tiene una capacidad de ruptura suficiente para la corriente de carga.

Operación de control hidráulico. (Seccionadores Hidráulicos)

En el diseño del control hidráulico el aceite se utiliza para la interrupción de la corriente, para funciones de recuento y temporización del mecanismo.

La figura 4.2 muestra un corte del mecanismo de control de un seccionador hidráulico monofásico o de una fase de un seccionador trifásico. El mecanismo incluye:

- Una bobina solenoide*
- Un émbolo solenoide*
- Un pistón de corte*
- Un resorte*
- Dos válvulas de control*

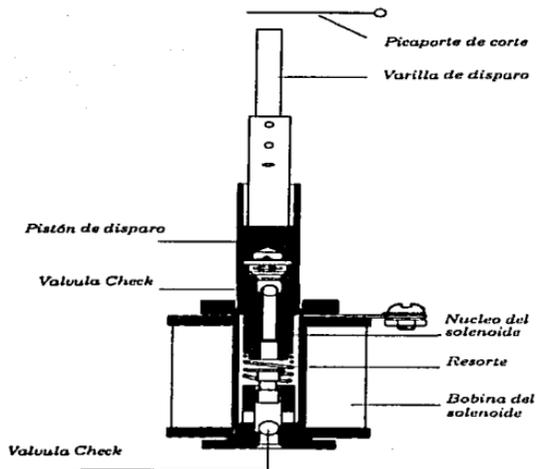


fig.4.2

Un seccionador empieza a desarrollar su ciclo de operación cuando detecta una corriente mayor de un valor predeterminado generalmente cuando excede hasta un 160% de la capacidad de la corriente nominal de la bobina. Cuando fluye esta corriente , la presión del resorte mantiene el núcleo del electroimán que funciona como una bomba.

Cuando la corriente que fluye por la bobina del solenoide llega a su valor de operación, el campo magnético resultante jala hacia abajo el núcleo del electroimán y el resorte es comprimido, el movimiento hacia abajo cierra la válvula check que se encuentra en la base del seccionador. Al mismo tiempo el aceite pasa hacia arriba a través del pasaje central en el embolo del solenoide al espacio dejado vacío por el mismo como se muestra en la figura 4.3. La presión de este chorro de aceite abre la válvula check en la parte superior del pistón y permite el paso del aceite.

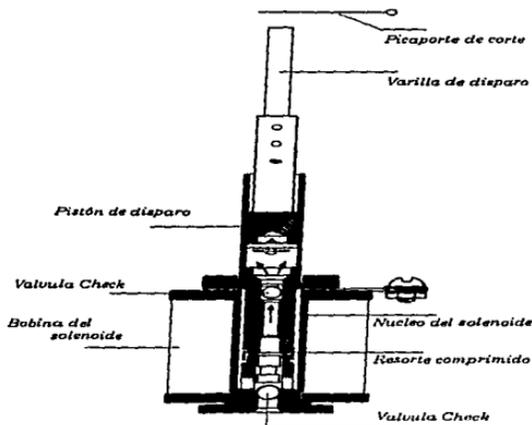


fig. 4.3

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

El pistón se mantiene en la parte mas baja de la cámara hasta que la corriente que pasa por la bobina decae a un valor menor que el de operación. Cuando el dispositivo de respaldo interrumpe la sobrecorriente, la corriente a través de la bobina del seccionador es interrumpida y el resorte empuja al embolo del solenoide hacia arriba su posición original, ya que la bobina se desenergiza y se pierde su campo magnético.

Dado que el aceite no puede pasar hacia abajo a través del émbolo solenoide debido a las dos válvulas de control, esta cantidad medida de aceite eleva un paso el pistón de corte como se ve en la figura 4.4. De esta manera, el mecanismo hidráulico ha contado la primera interrupción de corriente. Es importante señalar que esta operación de recuento tiene lugar cuando el circuito está desenergizado.

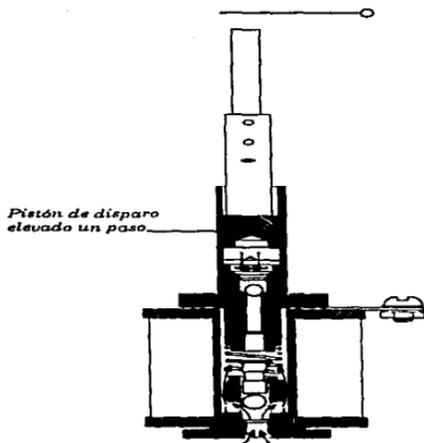


fig. 4.4

Cuando el dispositivo de respaldo cierra, y si la falla persiste, el émbolo del solenoide es tirado hacia abajo otra vez y el aceite pasa nuevamente hacia arriba a través del émbolo al espacio sobre el mismo. Cuando el dispositivo de respaldo corta, el resorte establece al émbolo del solenoide a su posición original y el aceite fuerza al pistón de corte hacia arriba como lo muestra la figura 4.5. El seccionador ha contado su segunda interrupción.

Si la falla persiste hasta una tercera operación, del dispositivo de respaldo, el pistón de corte eleva la varilla de corte lo suficiente para

liberar el picaporte de corte y abrir los contactos del seccionador como lo muestra la figura 4.5 .

Si la falla es de carácter temporal, el pistón de corte se repone lentamente regresando a su posición original olvidando de esta forma los recuentos . El tiempo de reposición para los seccionadores con control hidráulico es aproximadamente de un minuto por recuento, pasando este tiempo el seccionador queda abierto ya que ha contado los recuentos y debe ser cerrado manualmente, para volver a poner en servicio al circuito.

El seccionador puede ser colocado para uno, dos o tres recuentos hasta la apertura, simplemente cambiando la altura de la varilla de corte. La figura 4.5 ilustra este ajuste.

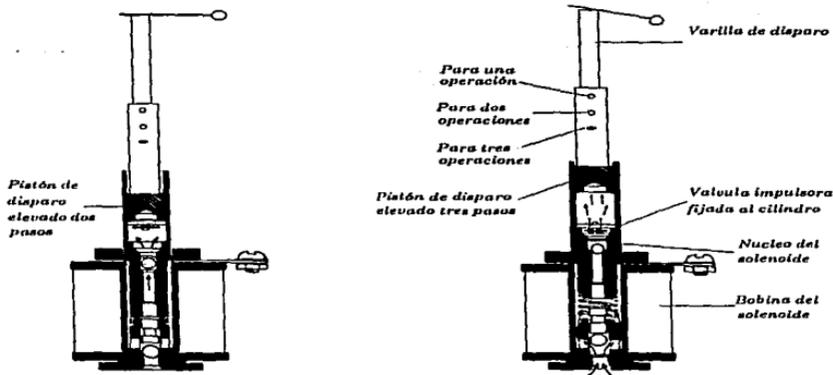


fig. 4.5

Ya que la corriente mínima de cuenta es de 160% de la capacidad de la bobina solenoide, se obtienen diferentes valores de corriente mínima de recuento cambiando la bobina.

Después de cada conteo el pistón empieza a regresar lentamente a su posición original lo cual determina el tiempo de memoria durante el cual "recuerda" el conteo previo.

Operación de Control Electrónico (Seccionadores electrónicos).

Este control es usado en equipos grandes ; se ajustan fácilmente y son más exactos que el control hidráulico.

El control electrónico reemplaza a la bobina serie y el resto del mecanismo de recuento de los seccionadores hidráulicos. El circuito está ubicado sobre una placa de circuito impreso, como el que se muestra en la figura 4.6.

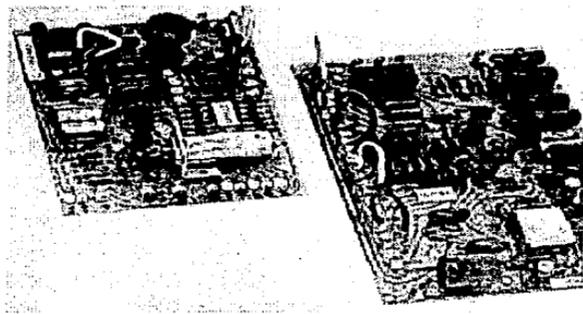


fig.4.6

La corriente que fluye a través del seccionador es detectada por transformadores de corriente tipo aislador con una relación 1000 : 1 la corriente secundaria de los transformadores es pasada a través del transformador de aislamiento y las redes rectificadoras. Esta entrada rectificada pasa por un relevador de recuento, que carga capacitores de transferencia.

Si la falla es permanente el seccionador abrirá después de la cantidad pre-seleccionada de recuentos, si la falla es temporaria, el circuito

retendrá el recuento en su "memoria" electrónica hasta el tiempo pre-seleccionado y luego gradualmente olvidará el recuento.

La figura siguiente ilustra como va dispuesto un seccionador en un circuito de distribución.

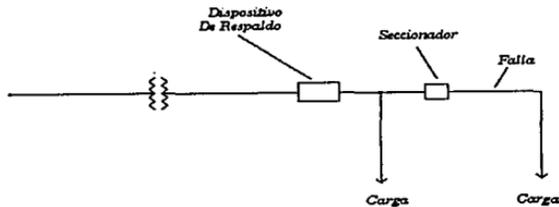


fig. 4.7

Operación con control manual:

El control electrónico de disparo para este tipo de seccionadores (seccionador automático L.A. 23.400 FT), es automático pero además, puede ser controlado manualmente por medio de una pértiga para abrir y cerrar sus contactos con carga, por lo cual, se puede utilizar como cuchilla de operación con carga hasta su valor de corriente nominal permanente.

En el gabinete de operación se localizan los controles para la operación manual del seccionador como lo muestra la figura 4.8

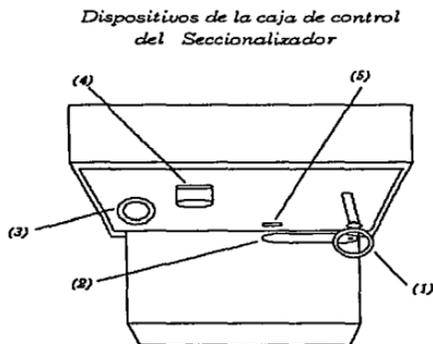


Fig. 4.8

1.- Argolla de cierre (roja):

Al jalar y regresar esta argolla con una pértiga, de 12 a 16 veces, se cierra el seccionador. Conforme se aumenta el número de acciones la resistencia que opone el mecanismo es cada vez mayor, hasta que se escucha el cierre de contactos dentro del tanque y simultáneamente, la bandera indicadora queda en posición de cerrado.

2.-Palanca de "puesta en observación" (amarillo):

Permite la apertura automática al recibir la primera señal de falla en el ramal, por medio de una pértiga se hace girar esta palanca en el sentido contrario a las manecillas del reloj hasta la posición mostrada en la figura 4.9, logrando con esto que el seccionador quede en posibilidad de abrir a la primera operación del equipo de respaldo, para incrementar la seguridad durante trabajos en la línea, impidiendo que el personal quede expuesto a los recierres del interruptor o restaurador ante una mala maniobra o contingencia.



fig. 4.9

3.- Argolla de apertura (amarillo):

Al jalar esta argolla con una pértiga se abre el seccionador, quedando la bandera indicadora en su posición de abierto, como se ve en la figura 4.10

4.- Receptáculo para la alimentación (c.a. 115 volts):

Es el elemento del control que permite conectar la alimentación de baja tensión al seccionador.

5.- Fusible:

Protege contra sobrecorriente a los elementos electrónicos del control del seccionador.

6.- Contador de operaciones:

Registra el número de operaciones del seccionador como se ve en la figura 4.11

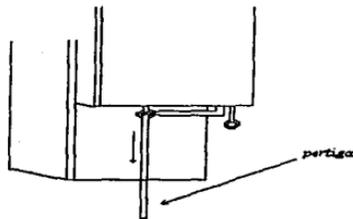


fig. 4.10

7.- Bandera indicadora de cerrado o abierto:

Ver figura 4.11 Permite conocer la posición de los contactos principales del seccionador, (closed=cerrado, open=abierto).

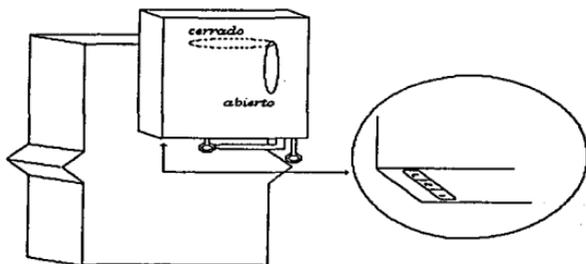


fig. 4.11

Cabe hacer notar que los seccionadores electrónicos e hidráulicos su operación es muy similar en cuanto a teoría . Los seccionadores pudieran activarse para el conteo durante condiciones sin fallas, esto podría suceder, por ejemplo con una corriente de arranque de un motor en caso que ésta sobrepase la corriente mínima actuante.

Los seccionadores con control hidráulico tienen capacidades hasta de 14.4 Kv, en los monofásicos de 140 amp. o trifásicos de 200 amp., pueden ser montados fácilmente en postes y operados con una pértiga común.

Los seccionadores con control electrónico están disponibles para 14.4 Kv. hasta 34.5 Kv., y 400 amperes nominales. La economía es la principal ventaja que se obtiene del uso de los seccionadores automáticos de línea.

Los seccionadores automáticos de línea se instalan para proveer puntos adicionales con el objeto de seccionalizar automáticamente circuitos de distribución económicamente. Estos dispositivos cuestan considerablemente menos que los restauradores automáticos de circuito o los interruptores de circuito con la misma capacidad de corriente nominal.

Accesorio del seccionador:

El accesorio es un dispositivo eléctrico que interconectado al seccionador, registra en la memoria de éste último las corrientes de falla a tierra que excedan el nivel de corriente actuante mínima seleccionada en el accesorio.

Este dispositivo es un gabinete que consta de un tablero con circuitos, un transformador para suministro de energía y un transformador de aislamiento, además cuenta con tres transformadores de corriente de relación 1000:1 montados en la boquilla del seccionador.

El accesorio puede ajustarse para 14 valores de corriente de 4.5 a 448

amperes y necesita una alimentación de 115 volts de c.a., el accesorio se conecta al gabinete operador del seccionador por medio de un cable de 12 conductores.

Los circuitos sensitivos de corriente a tierra del accesorio son independientes de los circuitos sensitivos de corriente en las fases del seccionador, sin embargo, lo que determina que el seccionador abra sus contactos es la suma del número de conteos de fallas ya sea de fase a tierra, o entre fases registradas en el tiempo de memoria del seccionador.

Para poder coordinar el accesorio con un interruptor es necesario que se cumpla con los siguientes requisitos:

- La corriente mínima de falla a tierra debe exceder la corriente actuante mínima seleccionada en el accesorio.

- El ajuste de corriente actuante mínima en el accesorio debe ser aproximadamente 80% del ajuste de corriente de falla a tierra del interruptor.

- Las corrientes de arranque que se presenten en los ramales no debe exceder la corriente actuante mínima seleccionada.

Características eléctricas del accesorio:

- Voltaje de operación 115 volts de c.a.

- Corrientes actuantes mínimas (amperes): 4.5, 7.0, 10, 14, 20, 28, 40, 56, 80, 112, 160, 224, 320, 448.

- Multiplicador de corriente actuante (pick up), 1, 2, 4 o 6 veces.

- Retardo de la corriente actuante aumentada: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 o 0.6 seg.

4.3 Aplicación:

Con la instalación de seccionadores se limita la afectación de cualquier disturbio a solo la cantidad de usuarios conectados al ramal con falla, experimentando el resto de ellas solo interrupciones instantáneas. Por otro lado el tiempo de interrupción por maniobras será casi eliminado, ya que la señalización de apertura del seccionador conjuntamente con la recepción de quejas por falta de servicio, permite identificar el ramal con falla instantes después de la ocurrencia del disturbio.

Como el seccionador actúa en coordinación con un dispositivo de protección, se divide el alimentador en cuatro o cinco partes que son las que protegerá el seccionador, en el momento en que se presente una falla únicamente saldrá fuera de servicio la quinta parte del alimentador ósea que con esto se logra separar la falla.

Esta aplicación de los seccionadores se hace casi siempre conjuntamente con el programa de mantenimiento, ya que se tiene el alimentador dividido (esto depende de la configuración y del agrupamiento que se logra hacer con los ramales del alimentador), siendo más fácil detectar cual es la zona de más conflicto, puesto que el seccionador tiene un contador del número de operaciones, este número determina el ramal que tiene un mayor número fallas e interrupciones.

El seccionador garantiza una mínima interrupción a los servicios agrupados en el ramal que protege, de los disturbios que ocasionan interrupciones permanentes en el ramal afectado.

La elección de la ubicación del seccionador en la estructura se determinó en base al siguiente criterio.

Si el seccionador se ubica en cascada, es decir dividiendo la troncal en diferentes números de operaciones quedando los seccionadores a diferentes números de pasos.

En este caso los seccionadores de los finales quedarán a uno o dos pasos no teniendo oportunidad de discriminar si la falla es de carácter temporal, los seccionadores operan en cualquier falla proporcionando la interrupción total en el ramal ya que se sabe que el 70% de los disturbios son de tiempo momentáneo.

Por tal motivo se decidió que el seccionador tuviera tiempo de efectuar un ciclo de recierres para poder discriminar el tipo de fallas, optándose por que se ubicaron en los ramales, quedando con tres operaciones de conteo.

1a Alternativa: Con seccionadores de 2 pasos.

Ciclo de 2 recierres y 3 aperturas.

Falla temporal (primer caso). La falla se elimina en el recierre instantáneo, el seccionador solo cuenta una operación y avanza un primer paso. El alimentador se restablece completamente después de una interrupción rápida de 0.3 seg. que no causa pérdida de continuidad considerable. Como se ve en la figura 4.12.

Falla temporal (segundo caso). La falla se elimina abriendo el seccionador del ramal afectado que es de dos pasos y abre después del punto t_3 . Como se ve en la figura 4.13, el alimentador restablece el servicio en el resto de los ramales, quedando fuera de servicio el ramal del seccionador que operó.

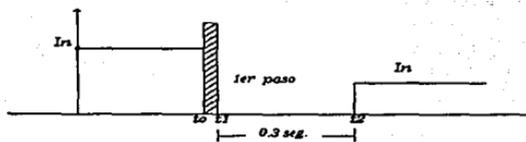


fig. 4.12

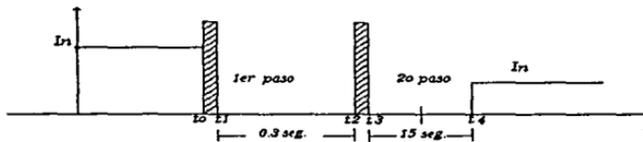


fig. 4.13

2a Alternativa: Con seccionadores de 3 pasos.

Ciclo de 3 recierres y 4 aperturas.

Falla temporal (primer caso): La situación es idéntica a la 1a alternativa, restablecimiento total del servicio en el alimentador no causando pérdida de continuidad considerable. Ver figura 4.12..

Falla temporal (segundo caso): La falla se disipa en la primera interrupción y el servicio se restaura en el segundo recierre sin apertura del seccionador, ya que solo ha contado dos pasos. Ver figura 4.13.

Falla permanente (tercer caso): La falla se elimina abriéndose el seccionador del ramal afectado que es de tres pasos y abre después del punto t_5 . El alimentador restablece el servicio parcialmente, dejando fuera sólo un ramal, como se muestra en la figura 4.14, que tiene una falla permanente, el que será restablecido después de la reparación de la falla.

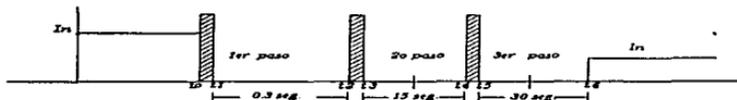


fig. 4.14

Para tener satisfecha esta condición de máximo aprovechamiento de un seccionador, deberá el sistema de protección de respaldo tener un ciclo de recierres tales que permitan discriminar la falla hasta agotar la posibilidad de que ésta se disipe si es de naturaleza temporal. Esto se demuestra en las alternativas 1 y 2. En el segundo caso de la alternativa 1 con el seccionador de dos pasos, se observa que se saca de servicio un ramal de una falla temporal, lo cual pudo disiparse si el seccionador tuviera un ajuste de 3 pasos, como se observa en el segundo caso de la alternativa 2.

La aplicación sin embargo requiere de un estudio técnico-económico, que nos indique primero el tipo de seccionador más adecuado a utilizar, junto con los accesorios indispensables diseñados para garantizar su operación, así como para facilitar la coordinación con otros elementos de protección existentes y por último su potencialidad para integrarse a sistemas de control remoto.

Se debe tener presente que el sistema primario de distribución no esta preparado para la aplicación de seccionadores, debido a que la red ha ido creciendo y modificando se estructura de acuerdo a la demanda o a la importancia de los servicios.

Uno de los propósitos de las compañías suministradoras, es de que las redes primarias debido al crecimiento de estas sufrieran muy pocos cambios en su constitución y principalmente al proyectar la instalación de un seccionador, se eligirá una estructura que a futuro, no se requiera reubicar los seccionadores.

Para poder aplicar un seccionador debemos tener presente que:

- *El seccionador quedará ubicado en un sistema dinámico y debe operar eficientemente de acuerdo a las necesidades del sistema de distribución.*
- *Debe ubicarse en un punto técnicamente analizado de tal manera que en el momento que cambien las condiciones de operación, debido a movimientos de carga ya sea por disturbios o incrementos de servicios en los alimentadores, el seccionador no quede fuera de servicio.*
- *La estructura de las redes aéreas primarias de distribución, deben tener la flexibilidad necesaria para que el seccionador pueda pasar de un alimentador a otro.*

Número óptimo de Seccionalizadores:

Por otro lado para poder aplicar los seccionadores es necesario involucrar los conceptos de costo-confiabilidad para poder determinar el número óptimo de seccionalizadores que debe tener un alimentador de distribución en base a sus condiciones de carga.

Sabemos que la confiabilidad está íntimamente ligada con la calidad del servicio en terminos de la presencia o ausencia de energía en la acometida del usuario.

Con el objeto de facilitar la comprensión de éste trabajo desarrollaremos la metodología para un sistema de distribución a 23 Kv. con alimentadores de 12 MVA., longitud de la troncal constante y con densidades de carga que fluctuan entre 1 y 6 MVA/Km² .

Se puede elaborar una matriz de confiabilidad, en la que se analicen para cada densidad estudiada el índice de duración de interrupciones por usuario y el costo de la falla por usuario.

Densidad (KVA/KM ²)	Cantidad de Seccionadores	d	d*
1000	0	14.79	1.00
	2	18.40	0.52
	4	4.55	0.13
	6	2.59	0.07
	8	1.99	0.05
2000	0	29.69	1.00
	2	15.27	0.51
	4	3.81	0.12
	6	2.21	0.07
	8	1.73	0.05
3000	0	18.67	1.00
	2	9.85	0.52
	4	2.74	0.14
	6	1.76	0.09
	8	1.47	0.07
4000	0	12.20	1.00
	2	6.74	0.53
	4	2.14	1.17
	6	1.51	0.12
	8	1.33	0.10
5000	0	12.47	1.00
	2	6.73	0.53
	4	2.13	0.17
	6	1.49	0.12
	8	1.31	0.10
6000	0	9.45	1.00
	2	5.20	0.55
	4	1.83	0.19
	6	1.37	0.14
	8	1.24	0.13

Tabla A.

Para el modelo considerado y utilizando datos de fallas y fórmulas, se elaboro la tabla A, en donde las columnas 3, muestran los valores de el índice de duración de fallas. En la columna 4 se indica el valor del índice de duración de interrupciones (d^), de acuerdo con la siguiente relación:*

$$d^* = \frac{dn}{do}$$

En donde:

dn = índice de duración de interrupciones por usuario con n seccionadores.

do = índice de duración de interrupciones por usuario con 0 seccionadores.

En el ejemplo descrito, se puede apreciar que para densidades de 1 a 3 MVA/Km² el número óptimo de seccionalizadores automáticos es de 6, mientras que para densidades de 4 a 6 MVA/Km² el número óptimo es 4. Lo anterior resulta lógico debido a que a mayor densidad, menor es la longitud del circuito y mayor el costo por usuario.

4.4 Ajustes:

La selección de los diferentes valores de ajuste se hace por simple reconexión de un cable de conexión, a la terminal correspondiente a un valor de ajuste deseado. En un seccionador los ajustes se efectúan antes de ponerlos en operación y básicamente son los siguientes:

- Corriente mínima actuante: Es la corriente requerida por el seccionador para iniciar una operación de conteo. En los hidráulicos la corriente mínima actuante será 160% del valor nominal de corriente de la bobina serie. Para los electrónicos la corriente mínima actuante es independiente del valor de corriente nominal y su valor se calcula al 80% de la corriente de operación mínima del dispositivo de respaldo.

Los ajustes disponibles en el seccionador son: 80, 112, 160, 224, 320, 448 y 640 amperes (para un seccionador automático LA 23.400 FT).

La corriente actuante mínima se fija en el block de terminales montado en el lado derecho del mecanismo de operación. Esta dividido en tres secciones una para cada fase. Un extremo del cable de conexión es común en cada una de las fases y el otro extremo se conecta a la terminal marcada con la corriente de ajuste requerida.

El ajuste que debe darse a la corriente mínima actuante del seccionador se determina de la siguiente manera:

Una relación de 400/5 en los TC'S del interruptor de respaldo y su relevador de fase ajustado en el tap 4, se tienen 230 amp. por lo que el ajuste del seccionador para estas condiciones de ajuste del interruptor debe ser; $320 \times 0.8 = 256$ amp. Como no se tiene el valor de 256 amp, dentro de los valores de ajuste del seccionador, se selecciona el valor

inmediato inferior que es de 224 amp. En general en el laboratorio de la compañía deberá indicar el ajuste que se tenga en el interruptor de respaldo de la subestación para dar al seccionador el ajuste correspondiente.

Del Seccionador:

- Operación de conteo: Es cada avance de mecanismo de conteo hacia la apertura de los contactos del seccionador.

- Número de operaciones de conteo: El número de operaciones del dispositivo de respaldo que el seccionador registrará para disparar, deberá ser una menos que el número total de operaciones de apertura del ciclo de recierres del dispositivo.

Los ajustes disponibles en el seccionalizador para seleccionar el número de operaciones de conteo son: 1, 2 ó 3 conteos.

Hay dos terminales para seleccionar el número de conteos para disparo localizadas en el circuito impreso del control del tablero, están señaladas con "oper 2" y "3". Se conecta el alambre puente (blanco) a la terminal correspondiente al "conteo para disparo", requerido.

Si solamente se desea un conteo para disparo, solo basta con jalar hacia abajo la palanca de "un conteo" de disparo que se localiza en la parte baja del gabinete de operación.

-Tiempo de memoria: Es el tiempo que el seccionador retendrá en "memoria" un conteo. El tiempo de memoria es usualmente especificado con un valor mínimo y con una tolerancia positiva. Será seleccionado considerando que el tiempo de memoria debe ser mayor al tiempo total acumulado en segundos desde el instante de la primera operación de apertura del interruptor hasta la última operación de apertura anterior al disparo del seccionador.

De acuerdo con el ciclo de disparo de los interruptores, el tiempo de memoria para los seccionadores puede ser seleccionado entre los siguientes tres valores: 30, 45 ó 90 segundos.

Las terminales para seleccionar el tiempo de memoria se localizan en la parte superior del circuito impreso del control de el tablero y junto están grabados los valores: 30, 45 y 90. La selección se hace conectando un alambre de color blanco (que forma un puente), a la terminal correspondiente a el tiempo de memoria requerido.

Generalmente el seccionador se ajusta para un tiempo de memoria de 30 segundos.

- Tiempo de restablecimiento: Es el tiempo requerido después de que una o más operaciones de conteo se han realizado para que los mecanismos de conteo vuelvan a la posición inicial.

Del Accesorio de Falla de Fase a Tierra:

- Corriente actuante mínima: Se recomienda el 80% del valor de la corriente de disparo primaria de los valores más comunes del relevador de fase a tierra del interruptor de respaldo.

Los ajustes disponibles en el accesorio son: 4.5, 7.0, 10, 14, 20, 28, 40, 56, 80, 112, 160, 224, 320 y 448 amperes.

El ajuste que debe darse a la corriente mínima actuante del accesorio de fallas de fase a tierra se determina de la siguiente manera:

ejemplo:

Para una relación de 80/1 en los transformadores de corriente del interruptor de respaldo y el relevador de fase a tierra ajustado en el tap 0.5; se tienen 40 amperes, por lo que el ajuste del accesorio de fallas de fase a tierra para estas condiciones de ajuste del interruptor debe ser:

$$40 \times 0.80 = 32 \text{ amp.}$$

Como no tenemos 32 amp. dentro de los valores de ajuste del accesorio; seleccionamos el valor inmediato inferior que es de 28 amp. La compañía debe especificar el ajuste que deberá tener el interruptor de respaldo de la subestación para dar al accesorio de fallas de fase a tierra el ajuste correspondiente.

- Multiplicador de corriente actuante: Los valores que se disponen son: 1X, 2X, 4X y 6X.

el ajuste depende del valor de la corriente de arranque que se presente en los ramales de los alimentadores.

- Tiempo de duración de la corriente actuante aumentada: Los tiempos de que se dispone son: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 segundos.

El cable para el ajuste del tiempo, conectarlo a la terminal marcada con 0.0 seg.

4.5 Coordinación:

Como se menciona anteriormente la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en cascada (serie), ya que los sistemas de distribución generalmente operan en forma radial.

Como se sabe el seccionador es un dispositivo automático de seccionamiento que no cuenta con curvas de operación tiempo corriente, y que simplemente sensa una corriente mínima actuante de 160% de la capacidad nominal de su bobina; registra las operaciones del dispositivo de respaldo y efectúa a su vez un conteo en caso de persistir la falla hasta llegar a una cantidad preseleccionada en que abre sus contactos. Para una adecuada coordinación se requerirá ajustarlo a un recierre menos que el dispositivo de respaldo.

- Coordinación Restaurador/Seccionador Hidráulico:

Ya que los seccionadores no tienen curva característica tiempo-corriente, esta coordinación no requiere de un estudio de curvas. Usualmente la cantidad de cuentas del seccionador es uno menos que el número total de operaciones para la apertura definitiva del restaurador de respaldo. Cada seccionalizador adicional en serie está ajustado para una cuenta menos para el corte.

La corriente mínima actuante en los seccionalizadores hidráulicos es 160% del régimen de la bobina. Con un restaurador controlado hidráulicamente, se asegura la coordinación cuando tanto el restaurador como el seccionador utilizan bobinas con el mismo régimen continuo.

Por ejemplo con ambos dispositivos usando bobinas de 50 amp., la corriente mínima de corte del restaurador es de 100 amp. y la corriente actuadora mínima del seccionador es de 80 amp. (ver figura 4.15).

La suma de los tiempos de corte y recierre del restaurador no debe exceder el tiempo de memoria del seccionador.

En el caso de que una falla temporaria sea despejada por el restaurador de respaldo antes de que el seccionador complete su número preajustado de operaciones de conteo hasta el corte, el seccionador se "olvida" de sus operaciones de conteo y repone a su estado original.

El tiempo requerido para que el seccionador "olvide" una operación de conteo, se llama tiempo de retención de conteo o tiempo de memoria. El proceso de reposición comienza en el mismo instante en que el seccionador hace su primera cuenta. Esto coincide con la primera interrupción del restaurador de respaldo.

Para mantener la coordinación entre el restaurador y el seccionador bajo condición de falla permanente, la suma de los tiempos de corte y recierre del restaurador experimentados por el seccionador no debe exceder del tiempo de memoria del seccionador. Si el tiempo acumulado del restaurador es mayor que el tiempo de memoria del seccionador, este puede hacer operaciones de conteo adicionales que pueden ser causa de que el restaurador de respaldo corte innecesariamente.

En caso de coordinación entre un seccionador controlado hidráulicamente y un restaurador de respaldo controlado electrónicamente, la coordinación puede obtenerse cuando la corriente mínima actuadora del seccionador es menor que la corriente mínima de corte del restaurador de respaldo.

Como en el caso de los seccionadores hidráulicos, el número de cuentas del seccionador hasta el corte es generalmente de uno menos que el total de operaciones hasta la apertura definitiva del restaurador de respaldo. Cada seccionador adicional en serie se ajusta para una cuenta menos para el corte.

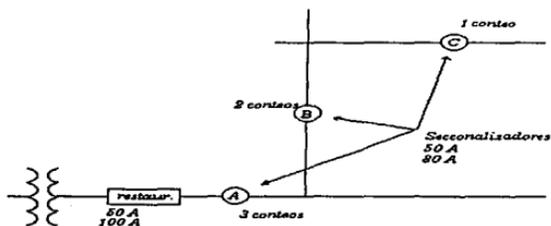


fig. 4.15

No teniendo los seccionadores características de tiempo-corriente la coordinación del sistema se ve en gran parte simplificada. Si un seccionador corta se pone rápidamente de nuevo en servicio simplemente accionando una palanca operado por medio de una pértiga. Además al no haber remplazo de elementos, se elimina la posibilidad de error que podría alterar la coordinación del sistema.

Un seccionador es un dispositivo durable que requiere muy poco mantenimiento. Además un seccionador coordinado con un restaurador de respaldo operan rápidamente, por lo tanto se reduce la posibilidad de que se quemé un conductor o se produzca daño.

- Coordinación Restaurador/Seccionador Electronico:

La coordinación entre un seccionador electrónico y un restaurador se obtiene cuando la corriente actuadora mínima del seccionador esta por de bajo del valor mínimo de corte del restaurador de respaldo. Además el tiempo total acumulado del restaurador no debe exceder del tiempo de memoria del seccionador.

Las corrientes actuadoras del seccionador electrónico, valores específicos de 80, 112, 160, 224, 320, 448 y 640 amperes, se han diseñado para coordinar directamente con los valores mínimos de corte estándar ya sea del restaurador electrónico o hidráulico cada ajuste del seccionador es 80% del valor mínimo de corte del restaurador estándar.

Los tiempos de memoria son valores específicos de 30, 45 o 90 segundos, estos prolongados tiempos de memoria amplían considerablemente las posibilidades de coordinación del seccionador. Frecuentemente los restauradores electrónicos tienen largos intervalos de recierre, con el resultado de que su tiempo total acumulado es demasiado largo como para permitir se coordinación con seccionadores hidráulicos.

La limitación es que un seccionador trifásico, no puede usarse si el restaurador de respaldo consiste de tres restauradores monofásicos o uno trifásico operado con bobinas serie, como es el caso de ciertos tipos de restauradores, que cortan solamente en la fase o fases falladas. Por lo

tanto en caso de una falla monofásico o fase a fase, el seccionador podría abrir con una o dos fases todavía energizadas. Esto no podría causar ningún problema porque el seccionador es una llave de interrupción de carga. Sin embargo existe la posibilidad de que una falla pueda ocurrir en la fase o fases energizadas en el mismo instante en que se abre el seccionador.

El seccionador no está diseñado para interrumpir corriente de falla por lo tanto, los seccionadores trifásicos están limitados a aplicaciones con un dispositivo de respaldo que interrumpa las tres fases simultáneamente cualquiera que sea la naturaleza de la falla.

En caso de corriente de entrada, cuando ésta excede la corriente actuadora del seccionador pero esta aun por de bajo del valor mínimo del restaurador, el seccionador cuenta y puede abrir el circuito innecesariamente. Este problema se elimina seleccionando las bobinas por encima de cualquier corriente de entrada posible. Si esto no es posible, puede agregarse accesorios al seccionador para controlar cortes indeseados bajo condiciones de corriente de entrada.

Por medio de un accesorio de restricción de voltaje para seccionadores trifásicos se hace posible una mayor flexibilidad en la seccionalización de línea. Cuando se aplica a seccionadores hidráulicos el corte queda bloqueado mientras exista voltaje en el lado de alimentación del seccionador. Cuando se aplica a seccionadores electrónicos, el conteo y en consecuencia el corte quedan bloqueados mientras el voltaje en el lado de alimentación del seccionador. Con este accesorio, puede instalarse un seccionador entre dos restauradores.

Para seccionadores ajustados para una cuenta, la eliminación en algunos casos de cortes indeseados ocasionados por corriente de entrada también se obtiene con la restricción de voltaje.

Ahora que si la corriente de entrada hace que el restaurador corte el voltaje al seccionador se perderá y abrirá innecesariamente. Si se instala un accesorio de restricción de corriente de entrada en el seccionador el problema se elimina, ya que detecta la falla que ocurre antes o después del seccionador para que en caso de que sea después de ésta pueda operar normalmente pero si la falla está entre el restaurador y el seccionador se bloquee su operación.

Para la reposición con control de tiempo se cuenta con un tercer accesorio para el seccionador. Con el tiempo de reposición del seccionador luego de una falla transitoria, puede variar de 5 a 22 minutos, comparado con 10 a 180 segundos de los restauradores controlados electrónicamente, puede perderse la coordinación resultando una paralización innecesaria. Si ocurren fallas transitorias adicionales durante el tiempo de reposición del seccionador, el accesorio de reposición con control de tiempo provee una reposición rápida del circuito de memoria en un tiempo seleccionado, después de un recierre exitoso del dispositivo de respaldo.

- Coordinación Restaurador/Seccionador/fusible:

La coordinación entre un restaurador, un seccionador y un fusible en serie requiere consideración adicional. Primeramente el restaurador y el elemento fusible coordinados del lado de carga para el fusible.

Si el restaurador está ajustado para una operación rápida seguida por tres operaciones demoradas, el seccionador y el restaurador se coordinan como se describió previamente.

Si el restaurador está ajustado para dos operaciones rápidas seguidas de dos demoradas y hay una falla persistente o permanente más allá del fusible el restaurador operará dos veces en su curva rápida, el seccionador contará dos veces y el elemento fusible no se fundirá. Pero antes de que el restaurador opere por primera vez su curva demorada, el elemento fusible se fundirá para interrumpir el circuito. El seccionador contará la fusión del fusible como tercera interrupción de una corriente de falla en exceso de su corriente mínima actuadora o de conteo y el seccionador abrirá sus contactos al mismo tiempo. En consecuencia no habrá mantenido una coordinación apropiada.

Con una secuencia de operación rápida seguida de tres demoradas al ocurrir una falla más allá del elemento fusible, el restaurador operará una vez y despejara la falla en un 80 a 85% de los casos. Si la falla persiste el elemento fusible se fundirá antes de la primera operación demorada del restaurador y el seccionador contará la segunda interrupción de corriente de falla por el fusible. Luego que el elemento fusible ha despejado la falla los mecanismos del seccionador y el restaurador se repondrán para otra secuencia completa de operaciones.

El accesorio de restricción de voltaje para seccionadores trifásicos controlados hidráulica y electrónicamente, es posible mantener la coordinación restaurador-seccionador-fusible reteniendo al mismo tiempo la secuencia operativa común del restaurador de dos operaciones rápidas seguidas de dos demoradas. La operación de un fusible más allá

del seccionador no hará que este último corte o cuente debido a que habrá voltaje todavía en el lado de alimentación del seccionador.

- Coordinación Interruptor/Seccionador:

Para poder coordinar un seccionador con el interruptor se deben seguir ciertos requisitos:

- La corriente mínima de falla debe exceder la corriente actuante mínima del seccionador.

- El valor de la corriente actuante mínima del seccionador debe ser aproximadamente el 80% de la corriente mínima de disparo del interruptor.

- La corriente de carga normal no debe exceder el valor de la corriente actuante del seccionador para eliminar falsos conteos y disparos.

- Cuando existe una falla permanente los tiempos de apertura más los tiempos de recierre del interruptor no debe exceder el tiempo de memoria del seccionador.

- El seccionador debe ser preparado para disparar con una operación de apertura menos que la del ciclo de recierre del interruptor.

- El seccionador trifásico será coordinado con interruptores de operación simultánea de las tres fases.



CAPITULO

5

5. PROYECTO PARA LA APLICACIÓN DE SECCIONADORES

5.1 Análisis de la Red

La utilización de seccionadores requiere un análisis de la red en la cual se piensa aplicar, por esto debemos tener presente el comportamiento y las características de la misma, dónde se va a instalar, así como las consideraciones que en un futuro podrían desubicarlo y operar en forma deficiente. Entre los factores que con mayor frecuencia se presentan y que deben ser considerados podemos mencionar: las ampliaciones a las redes, ya que es muy común que en un futuro, y con el crecimiento de la población se requiere mayor demanda de la energía eléctrica, y por lo tanto aumentar las redes de distribución y asimismo la confiabilidad en ellas; las obras publicas, por ejemplo el incremento en el alumbrado público para brindar seguridad en calles y avenidas, en consecuencia ocasionaría mayor carga para el alimentador, cambios de voltaje, puesto que en algunas zonas todavía existen alimentadores de 6 Kv que no se dan abasto con los servicios que proporciona y debido a esto Luz y Fuerza del Centro (L.yF.C.),ha tenido que cambiar el voltaje a 23 Kv., alimentadores nuevos debido a la demanda que cada vez va aumentando, etc.

Comenzaremos por analizar una parte de la zona que abarca la delegación Iztapalapa, localizada al oriente del D. F., donde se encuentra una parte considerable de la población de la ciudad de México, y que por lo tanto existe gran demanda de energía eléctrica, y a su vez requiere mayor calidad de servicio, y por lo tanto mayor confiabilidad y continuidad.

En la lámina 5.1, se observa la subestación Iztapalapa, la subestación Santa Cruz y algunos alimentadores que recorren la zona. Como se puede apreciar las subestaciones son grandes, ya que principalmente estas suministran energía eléctrica a una gran parte de esta delegación.

Analizando las características de la Subestación Iztapalapa proporcionadas por Luz y Fuerza del Centro (L. y F.C.), se sabe que ésta es telecontrolada (este sistema se utiliza en subestaciones donde no existe personal de operación permanente y se controlan desde un centro de operación remoto), a la intemperie, de tipo convencional y con un arreglo de interruptor y medio (anillo) en el lado de distribución (en este arreglo hay perfecta continuidad de servicio y cada juego de barras tiene su propia protección diferencial y en caso de falla en cualquier juego de barras, ésta desconecta todos los interruptores que llevan energía al juego de barras afectado sin dejar fuera de servicio ninguna línea).

La S.E. esta formada por tres bancos de transformadores, **221-A, 221-B y 221-C** (con una relación de transformación de 230/23/13.2.), teniendo una capacidad nominal por banco de **60 MVA**, conectados en estrella-estrella y 4 alimentadores por banco de **15 MVA** cada uno.

La capacidad instalada de la subestación Iztapalapa es de **180 MVA** con un total de 12 alimentadores denominados:

- IZT 21	- IZT 24	- IZT 27	- IZT 23X
- IZT 22	- IZT 25	- IZT 28	- IZT 25X
- IZT 23	- IZT 26	- IZT 21X	- IZT 27X

Cada banco tiene en el lado de alta tensión (A.T.) una corriente nominal de **150 amperes**, ya que sabemos:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{60 \times 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3}(230 \times 10^3 \text{ V})} = 150 \text{ A}$$

donde: $S = \text{potencia en MVA.}$

$V = \text{voltaje en Kv.}$

$I_s = \text{corriente nominal en el secundario.}$

En el lado de baja tensión (B.T.) la corriente nominal es de 1500 amperes.

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{60 \times 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3}(23 \times 10^3 \text{ V})} = 1500 \text{ A}$$

En el diagrama unifilar mostrado en la lamina 5.2 se pueden observar algunas de las características de la subestación antes mencionadas.

El IZT 24 es uno de los 12 alimentadores de la subestación Iztapalapa, de acuerdo a estadísticas y datos del comportamiento proporcionados por L. y F.C de este alimentador se sabe que tiene una extensión de 5 Km² suministrando energía eléctrica a las colonias: El manto, El molinito, Edo. de Veracruz, Estrella del Sur y Santa Cruz del Monte. Localizadas en las faldas del Cerro de la Estrella en la delegación política Iztapalapa (como se observa en la lámina 5.3), ya que es una zona en donde se aplican los tres tipos de carga existentes:

- Industrial.

- Comercial.

- Residencial.

El alimentador suministra energía eléctrica a estas colonias donde encontramos fábricas, comercios, unidades habitacionales, casas habitación, etc.

El alimentador tiene una densidad de carga de 2.88 MVA/Km² .

Dicho alimentador (IZT 24), en su sistema primario opera en forma radial, puesto que alimenta a las cargas con una sola trayectoria, empleando interruptores de enlace y cuchillas de seccionamiento, para efectuar movimientos de carga o maniobras de seccionamiento para el mantenimiento, o bien para aislar fallas.

Para el siguiente proyecto se ha elaborado el diagrama unifilar del alimentador IZT 24 con líneas de 23 Kv y calibres existentes en la red por analizar, como se muestra en la lámina 5.3.

Con una capacidad instalada de 14.4 MVA a 361.5 Amp. distribuidos en:

- 48 Transformadores de 75 KVA.*
- 3 Transformadores de 100 KVA.*
- 76 Transformadores de 112.5 KVA.*
- 5 Transformadores de 300 KVA.*
- 2 Transformadores de 225 KVA.*

haciendo un total de 128 transformadores a lo largo del alimentador, tanto en la troncal como en los ramales.

El tipo de conductor que lleva el alimentador IZT 24 es el siguiente:

- Para la troncal ALD 336 MCM*
- Para los ramales ASCR con calibre 2 AWG.*
- Para los ramales de amarre ASCR calibre 1/0 AWG.*

Los cuales sus características se analizaron en el capítulo uno de este trabajo.

Para fines prácticos de cálculo utilizamos el factor de utilización, que es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal, y éste nos indica la capacidad del sistema que realmente está siendo utilizada. Se puede expresar en función de la corriente (amperes), o en función de la potencia (VA, W).

$$F_U = \frac{D_{\max}}{C_{\text{nom}}}$$

La corriente máxima demandada durante 1996, en promedio fue de 392 Amp. (dato proporcionado por L. y F.C), y la capacidad nominal del alimentador es de 372 Amp., por lo tanto:

$$F_U = \frac{392}{376} = 1.04$$

Tomando en cuenta que se tiene un alimentador con longitud de 23.6 Km. y 14 893 usuarios conectados al mismo.

El alimentador IZT 24, durante 1996, registro un total de 285 fallas de las cuales 6 fueron instantáneas, 6 fueron mayores (permanentes) y 273 fallas menores. Con un tiempo de interrupción por usuario de 98 minutos al mes.

En base a esto se propondrá el uso de seccionadores, además de acuerdo con los datos anteriores se observa que hay una sobrecarga en el alimentador con un excedente de 4%, lo cual se soluciona haciendo movimientos de carga.

5.2 Movimientos de Carga

Estos consisten en analizar todos los alimentadores de la subestación, observando cuales están sobrecargados y cuales les falta carga, haciendo operaciones con los equipos de seccionamiento (interruptores de enlace, switches separadores, cuchillas desconectoras, etc.).

La corriente máxima demandada en 1996 de la subestación iztapalapa, en cada uno de sus alimentadores se muestra en la siguiente tabla:

año	S. E.	alimentador	corr. max. demandada
1	Iztapalapa	IZT 21	308
		IZT 22	430
		IZT 23	271
IZT 24		392	
9		IZT 25	415
9		IZT 26	206
6		IZT 27	215
		IZT 28	334
		IZT 21X	350
		IZT 23X	247
	IZT 25X	370	
	IZT 27X	180	

De la tabla se puede observar que los alimentadores: IZT 21, 23, 26, 27, 23X, y 27X les falta carga ya que la corriente máxima demandada en el año esta por debajo de la corriente nominal.

Los alimentadores: IZT 22, 24, y 25 están sobrecargados ya que rebasan la corriente nominal. Y los alimentadores IZT 28, 21X, 25X son los que estan bien balanceado ya que la corriente máxima demandada es la más aproximada a la corriente nominal.

Los medios de seccionamiento con que disponen los 12 alimentadores de la subestación iztapalapa con los que se podrían hacer los movimientos de carga, principalmente son interruptores y cuchillas desconectoras.

Como ejemplo de un movimiento de carga se analizara el alimentador **IZT 27X** ya que como se puede observar en la tabla anterior le falta carga. Para esto es necesario que le cedan carga alimentadores que estén sobrados y además que estén adyacentes o tengan interconexión por medio de interruptores de enlace con él.

Como se puede observar en la lámina 5.1, el alimentador **IZT 24** cumple con estas características, a su vez el **IZT 22** se puede enlazar con el anterior por medio de interruptores de enlace. Como estos dos alimentadores están sobrecargados se puede hacer los movimientos de carga de la siguiente manera:

Alimentador	Carga (A)	Carga a		Carga resultante (A)
		tomar (A)	del alimentador	
IZT 24	392	54 x 1.1	IZT 22	-51.4
IZT 27X	189	75.4 x 1.04	IZT 24	267.4

De la tabla observamos que se hacen dos movimientos de cargas; una del alimentador IZT 22 que cede carga al IZT 24 sobrecargandolo más, este a su vez cede carga al IZT 27X quedando en un valor adecuado haciendo así movimientos en cadena. Quedando con el alimentador IZT 24 con 372 amperes.

Es importante señalar que para poder balancear las cargas de los demás alimentadores de la subestación Iztapalapa, se pueden hacer movimientos con alimentadores de otras subestaciones.

5.3 Trabajos a Ejecutar

Para la instalación de seccionadores, consistirá en verificar en el terreno el punto exacto donde se quiere instalar analizando el tipo de red y determinar el tipo de terreno de algunas obras que puedan afectar de acuerdo a la geografía del alimentador, ajustando los valores de operación de los seccionadores que se requieran instalar, coordinándolos si así se requiere con algún otro dispositivo de protección.

Como el alimentador IZT 24 tiene flexibilidad en su estructura, puesto que tiene instalados interruptores y cuchillas, en los puntos donde concurren suministros de energía de diferentes alimentadores y por amarras en el mismo alimentador y puesto que en los ramales de amarre se tiene carga considerable e importantes se puede colocar los seccionadores en los puntos X y Y (lámina 5.3), considerando la densidad de carga que lleva el alimentador.

Una vez definido el punto donde se va a instalar, se realiza el proyecto el cual consiste en analizar costos de materiales y trabajos de labor de instalación, obteniendo el total del proyecto. Como también ajustar los valores de operación del seccionador, coordinándolo en este caso con un interruptor del alimentador.

Ajustes:

Del seccionador:

- Corriente mínima actuante: $480 \times 0.8 = 384 \text{ amp.}$

valor seleccionado = 320 amp. (el valor de 480 amp. fue proporcionado por L. y F. C. para una relación de 400/5 en los TC'S del interruptor y su relevador de fase ajustado en el tap 6.).

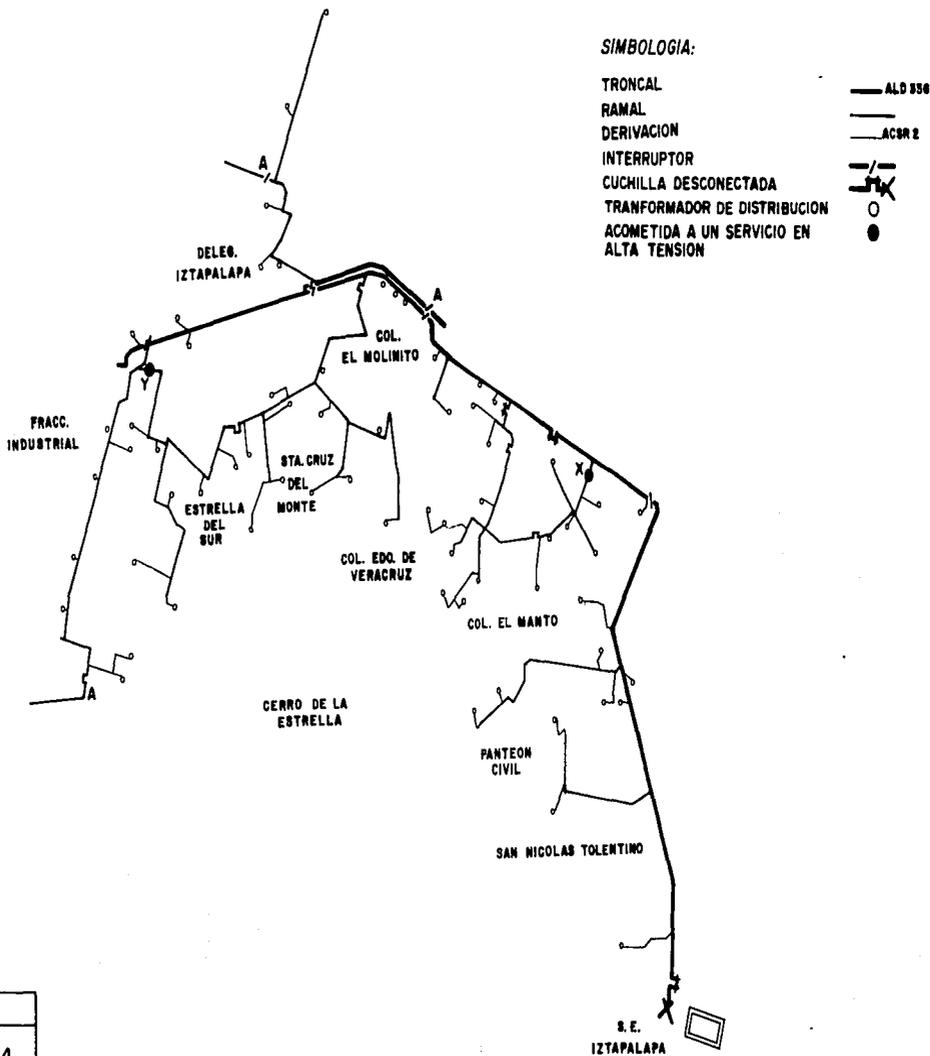
- Número de operaciones de conteo: tres pasos (para un ciclo de recierres del interruptor de respaldo).

- Tiempo de memoria: 30 seg.

Del accesorio de falla de fase a tierra:

- Corriente actuante mínima: $40 \times 0.8 = 32 \text{ amp.}$

valor seleccionado = 28 amp. (el valor de 40 amp. proporcionado por L. y F. C.).



escala 1:1000

F. E. S. CUAUTITLAN

U. N. A. M.

ALIMENTADOR IZTAPALAPA 24

NOMBRE: MARINA ROSALES A.

abril/97

Lamina: 8.3

El costo del proyecto puede variar, dependiendo de los trabajos que se requieran para la correcta operación de los seccionadores, en algunos casos la red ya esta y simplemente se tiene que instalar el seccionador. En este proyecto se considera desde la colocación del poste, herrajes, seccionador y accesorios. El costo estos materiales fuerón proporcionados por L. y F. C. así como los de labor de instalación y los de transportación. La figura 5.4 a muestra un diagrama de conexión de la instalación del seccionador, la figura 5.4 b muestra como va montado un seccionador de: LA 23.400 FT (donde: LA = líneas aéreas, 23 = 23 Kv tensión entre fases, 400 = 400 A. corriente nominal, FT = accesorio para fallas de fase a tierra.) sobre su plataforma sujeta al poste así como algunas conexiones externas y materiales de montaje como: abrazaderas, cable, zapatas, cruceta, aptarrayos, conectores, etc.

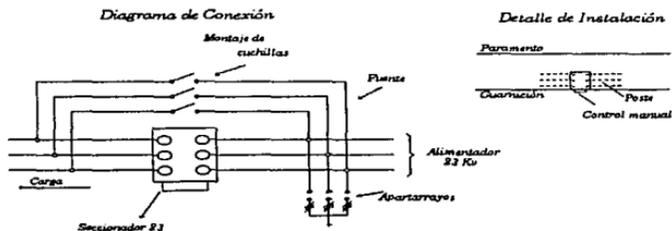


fig. 5.4 a.

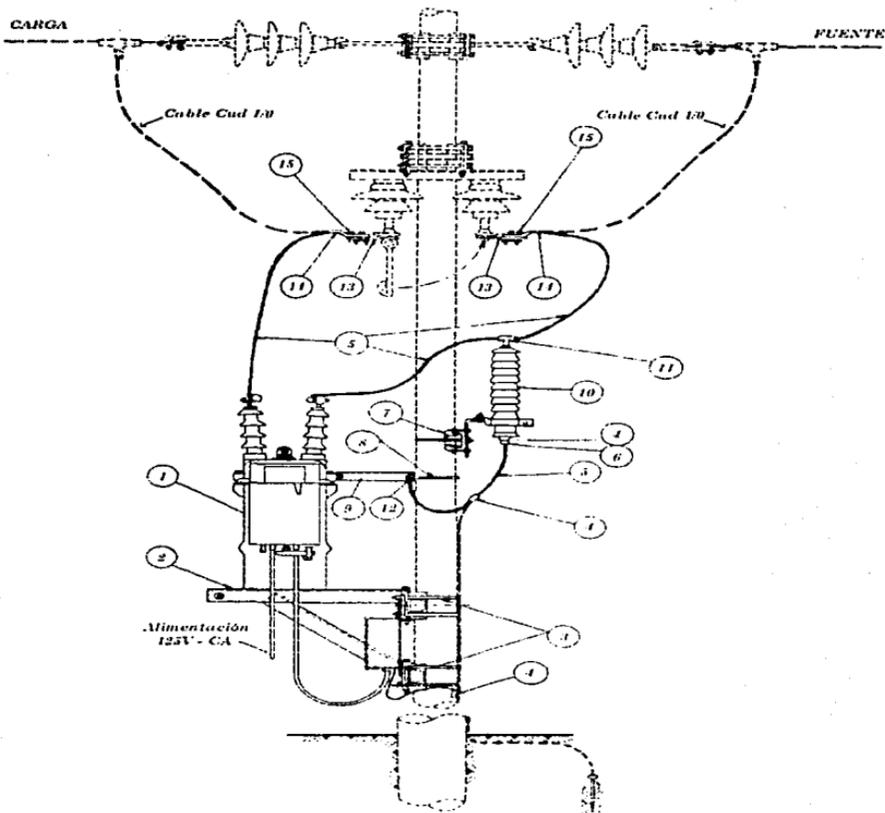


fig. 5.4 b.

Donde:

- 1.- Seccionador automático L.A. 400 FT.*
- 2.- Plataforma*
- 3.- Abrazadera U*
- 4.- Conector canal*
- 5.- Cable cud 1/0*
- 6.- Zapata tierra*
- 7.- Cruceta*
- 8.- Abrazadera U*
- 9.- Sujetador R-S 23*
- 10.- Apartarrayos*
- 11.- Conector canal T*
- 12.- Zapata tierra*
- 13.- Solera puente*
- 14.- Zapata*
- 15.- Tornillo máquina.*

A continuación se presenta una tabla con la estimación de los costos de materiales que se requieren para el montaje de un seccionador, otra para los costos de los trabajos de labor y el total de la instalación tomando en cuenta los costos de transporte de la instalación.

MATERIAL DE INSTALACION

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Seccionador automático LA 23.100 FT	1	pza.	\$75,000.00	\$75,000.00
Apartarayos DOM 23	3	pza.	\$726.29	\$4,357.71
Cuchillas 23601	3	pza.	\$1,760.00	\$5,280.00
Plataforma 2	1	pza.	\$457.39	\$457.39
Poste CR 12 E	1	pza.	\$1,816.60	\$1,816.60
Tierra 1	1	pza.	\$70.75	\$70.75
Material de herraje				\$4,729.22

T O T A L

\$91,771.70

LABORES DE INSTALACION

Descripción	Costo Unitario	Costo Total
Cuchillas 23 H	\$1,609.00	\$1,609.00
Poste CR 12 E	\$801.00	\$801.00
Tierra	\$1,111.00	\$1,111.00
Seccionizador Aut. LA 23.100 FT	\$3,218.00	\$3,218.00
T O T A L		\$6,745.00

TOTAL DE INSTALACION

Total de Material	\$ 91,771.90
Total de Labor de Instalación	\$ 6,745.00
Transporte de instalación	\$ 1,605.00
Total de Labor de Retiro	\$ 0.00
T O T A L	\$100,121.70

Para este proyecto se consideraron dos seccionadores por lo cual se duplica el costo total de la labor de instalación:

COSTO TOTAL DEL PROYECTO \$ 200, 243. 40

*En la lámina 5.5 se observa al alimentador **IZT 24** ya con sus dos seccionadores colocados en los puntos que se estudiaron para su correcta operación.*

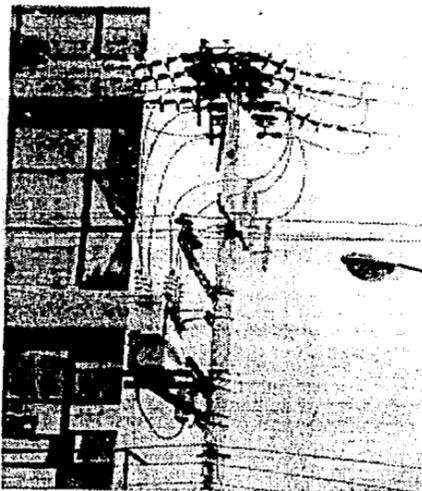
El uso de seccionadores se justifica en parte con la comparación del costo de la instalación del mismo con los Kilowatts-Hora, que la compañía deje de facturar, ya que la compañía tarda en promedio 1.15 hrs en localizar la falla o el disturbio.

Los costos que no se facturan por alimentador, sin la instalación de seccionadores y con la instalación de 5 seccionadores sera la quinta parte del costo por alimentador.

En un alimentador de 15 MVA ó 12750 Kw, la cantidad no facturada por alimentador en un año se calculó multiplicando los Kw-H/dist. ($12750 \times 1.15 = 14662.5$). por el costo promedio por Kwh (para fines de calculo se consideró el costo por Kwh, de 1.14 porque en el sistema, se tienen mezclados los servicios: doméstico, comercial e industrial predominando en su mayoría el primero.), por 9 que son en promedio los disturbios anuales por alimentador, (desde luego que no todos los alimentadores tienen 9 disturbios al año), por eso es conveniente instalar seccionadores en aquellos alimentadores que presentaron un mayor

número de disturbios. Dando una cantidad no facturada por disturbios de \$ 129, 917.25.

Como se puede apreciar la aplicación de seccionadores automaticos de línea, puede costar desde \$ 100,000.00 aproximadamente, con un solo seccionador hasta alrededor de \$ 1, 000, 000.00 dependiendo de los arreglos que se requieran en el sistema y del número de seccionadores que se necesite.





SIMBOLOGIA:

TRONCAL

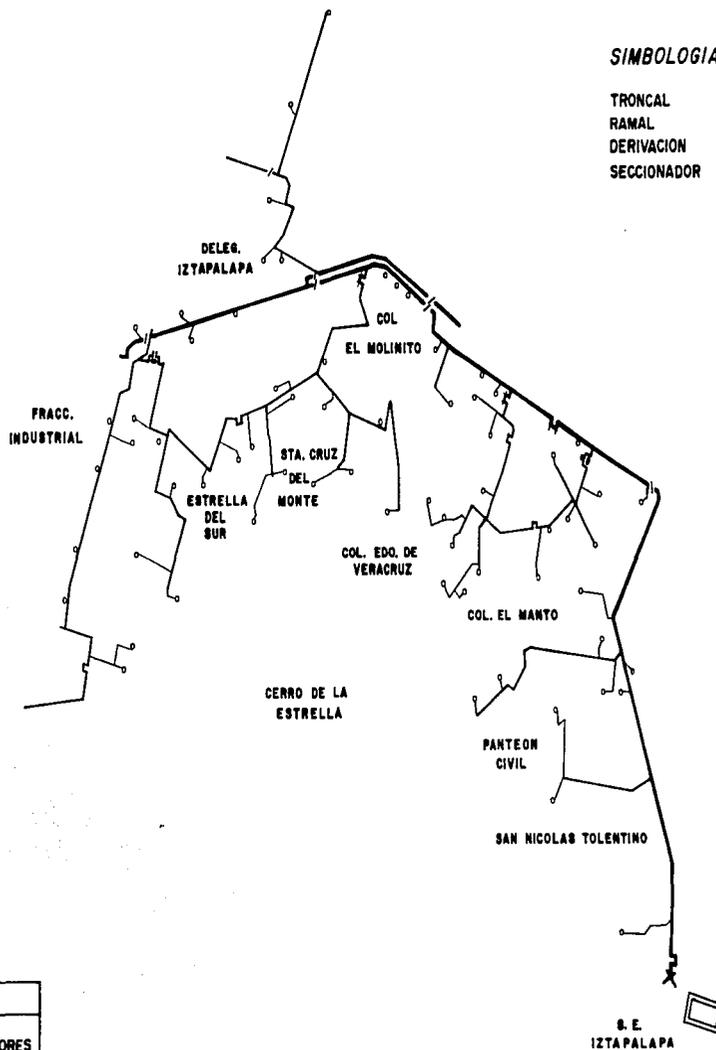
RAMAL

DERIVACION

SECCIONADOR

— ALD 556

— ACSRE



escala 1:1000

F. E. S. CUAUTITLAN	U. N. A. M.
ALIMENTADOR IZT 24 CON SECCIONADORES	
NOMBRE: MARINA ROBALES A.	08/11/97
Lamina: 9.5	



CONCLUSIONES

Conclusiones:

La aplicación de seccionadores como medio de protección en un sistema aereo de distribución es ideal y por lo tanto se puede aprovechar para el mantenimiento en el momento que este operando como es debido, se tendra en el sistema troncales libres, para esto es necesario que su aplicación sea en alimentadores en donde se tenga un gran número de disturbios.

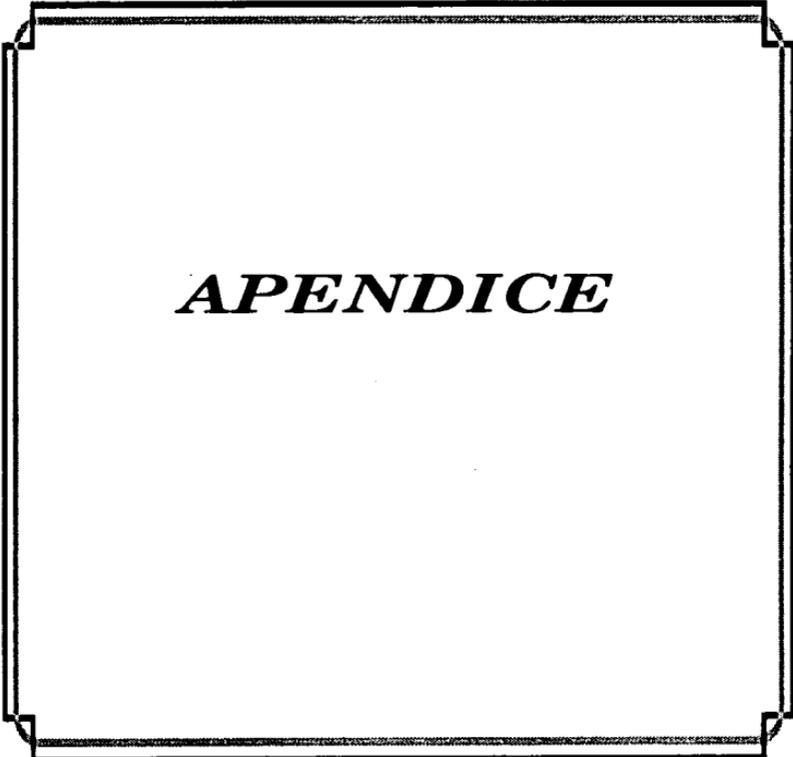
La inversión que se realiza para la adquisición de seccionadores y en general de cualquier equipo, debe analizarse con el objeto de que sea un equipo que se adapte al sistema para su correcto funcionamiento ya que cualquier falla en el suministro de energía eléctrica hoy en día es muy importante para las actividades en la vida cotidiana de cualquier persona. Por esta razón Luz y Fuerza del Centro está comprometido a invertir en los sistemas de distribución para mejorar la calidad del servicio ya que solo aumentando la confiabilidad de sus redes se logra mayor continuidad en el servicio.

La aplicación de seccionadores es un factor importante puesto que se reduce el tiempo en que las cuadrillas tardan en localizar la falla en el sistema, lo cual se refleja en los costos ya que al ser localizada más rápidamente el disturbio estos valores se reducirán y aunque no son fáciles de cuantificar, representan una cifra considerable.

En el proyecto para la aplicación de seccionadores que se propuso en este trabajo el criterio de colocación es el punto clave para poder llevar a cabo la condición de aprovechamiento del equipo ya que con solo dos seccionadores protegen y aíslan las zonas cuando ocurren fallas dejando

así solo a una parte de los consumidores del alimentador IZT 24 no afectando a los demás consumidores de dicho alimentador, puesto que este alimentador excede un poco su carga.

En algunas ocasiones donde es necesario hacer movimientos de carga, los seccionadores cambian de alimentador, modificando así sus valores de ajuste por lo cual es importante que el personal que realice estos movimientos este capacitado sobre la función y operación de los seccionadores para su funcionamiento correcto.



APENDICE

FACTORES DE PÉRDIDAS PARA CONDUCTORES ACSR

Calibre Conductor ANG 6 MCM	Resistencia OHMS a 300°C 100 M.	Reactancia 60 Hz Esp. 973 MM OHMS/100 M	PÉRDIDAS PARA CONDUCTORES DE ALUMINIO Y CON ALMA DE ACERO											
			FACTOR DE POTENCIA											
	R	X	100	98	95	90	85	80	75	70	65	60	50	
8	0.3625	0.0518	1.73	1.72	1.74	1.80	1.95	1.95	2.05	2.16	2.27	2.42	2.70	
6	0.2260	0.0489	1.72	1.70	1.71	1.73	1.87	1.87	1.93	2.05	2.12	2.23	2.52	
4	0.1476	0.0493	1.73	1.66	1.65	1.66	1.73	1.73	1.78	1.85	1.91	2.00	2.22	
2	0.0913	0.0502	1.73	1.59	1.54	1.52	1.53	1.53	1.56	1.59	1.62	1.67	1.70	
1/0	0.0575	0.0495	1.73	1.51	1.42	1.36	1.33	1.32	1.31	1.32	1.33	1.34	1.30	
3/0	0.0362	0.0476	1.73	1.40	1.27	1.18	1.12	1.09	1.07	1.06	1.05	1.05	1.00	
1/0	0.0287	0.0459	1.73	1.24	1.21	1.10	1.04	1.00	0.97	0.95	0.94	0.94	0.90	
000	0.0225	0.0377	1.73	1.22	1.17	1.06	1.00	0.96	0.93	0.91	0.90	0.89	0.85	
400	0.0181	0.0371	1.73	1.25	1.09	0.97	0.90	0.85	0.82	0.80	0.79	0.77	0.76	
2/0	0.0158	0.0189	1.73	1.45	1.35	1.27	1.23	1.20	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	
			FACTORES DE PÉRDIDA. (C _p)											

APÉNDICE

FACTORES DE PÉRDIDAS PARA CONDUCTORES DE COBRE

Calibre Conductor AWG ó MCM	Resistencia OHMS a 300° C 100.M.	Reactancia 60 Hz Exp 973 MM OHMS/100 M	PERDIDAS PARA CONDUCTORES DE COBRE									
			FACTOR DE POTENCIA									
	R	X	100	98	95	90	85	80	70	60	50	
10	0.3569	0.0518	1.732	1.715	1.737	1.794	1.868	1.949	2.132	2.418	2.768	
8	0.2240	0.0439	1.732	1.694	1.701	1.739	1.793	1.857	2.019	2.228	2.498	
6	0.1410	0.0480	1.732	1.655	1.641	1.656	1.685	1.726	1.839	1.988	2.183	
4	0.0906	0.0462	1.732	1.602	1.562	1.543	1.545	1.565	1.627	1.718	1.838	
3	0.0716	0.0454	1.732	1.563	1.512	1.472	1.402	1.455	1.495	1.563	1.640	
2	0.0569	0.0444	1.732	1.526	1.450	1.397	1.374	1.367	1.379	1.415	1.475	
1	0.0451	0.0425	1.732	1.479	1.384	1.312	1.275	1.257	1.248	1.262	1.290	
1/0	0.0258	0.0427	1.732	1.423	1.311	1.218	1.173	1.144	1.116	1.114	1.130	
2/0	0.0284	0.0419	1.732	1.362	1.228	1.125	1.068	1.029	0.989	0.975	0.970	
3/0	0.0212	0.0410	1.732	1.269	1.116	0.994	0.927	0.883	0.832	0.807	0.79	
4/0	0.0163	0.0400	1.732	1.189	1.022	0.895	0.822	0.796	0.722	0.691	0.67	
			FACTORES DE PERDIDA. (Cp)									

- Normas NEMA de los relevadores:

Los relevadores pueden identificarse mediante el código de número NEMA (National Electrical Manufactures Association):

No. de código

Descripción

50-1 y 50-2

*Relevadores de sobrecorriente entre fases.
(Cuya respuesta es instantánea: ante
magnitudes de corriente elevadas).*

51-1

*Relevadores de sobrecorriente entre fases
(ajuste de tiempo), para sensar
sobrecorrientes (cuyo valor se atenúa por
la impedancia de la línea) hacia el punto
más alejado de la S.E. o bien para detectar
sobrecargas.*

50-N

*Relevador de sobrecorriente a tierra
(instantánea).*

51-N

Relevador de sobrecorriente a tierra (unidad de tiempo), para detectar corto circuito a tierra, desbalanceo de carga, discontinuidad de una o dos fases, proporcionar respaldo a los relevadores para falla entre fases por la ubicación residual que guarda respecto a ellos; detección de fallas a tierra a través de una impedancia.



BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- *Procedimiento Para Coordinación de Protecciones De Sobrecorriente en Sistemas de Distribución. Gerencia de distribución. Comisión Federal de Electricidad, 1983.*
- *Diseño de Subestaciones Electricas. Raul Martín. Mc Graw Hill, 1992.*
- *Estaciones Transformadoras y de Distribución. Zoppetti. Gustavo Gili, S. A.*
- *Sistemas de Distribución. Roberto Espinoza y Lara.*
- *Manual " Selección , Uso y Mantenimiento de Reconectores Automáticos de Circuito". Mc Graw- Edison Company. 1978.*
- *Líneas de Transmisión y Distribución. E. Harper. Limusa.*

- *Protección por Relevadores e Interruptores.*
E. Harper.
Limusa.

- *Aplicación de Seccionadores Automáticos para
Eleva la Confiabilidad de las Redes de Distribución.*
H. Solorzano, Basave C.
C. L. F. C., 1981.

- *Manual de Operación del Seccionador de 23 Kv.*
C. L. F. C.

- *Manual "Ajustes y Operación del Seccionador
Automático LA 23.400 F.T."*
C. L. F. C.

SIMBOLOGIA

	<i>Conexión delta</i>
	<i>Conexión estrella</i>
	<i>Conexión estrella aterrizada</i>
	<i>Cuchillas desconectadoras</i>
	<i>Fusible</i>
	<i>Interruptor de potencia</i>
<i>A</i>	<i>Interruptores y cuchillas normalmente abiertas</i>
<i>X</i>	<i>Juego de terminales</i>
	<i>Seccionador</i>
	<i>Subestación de distribución</i>
	<i>Transformador</i>
	<i>Transformador de corriente</i>

