



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

FACULTAD DE INGENIERIA

**METODOS PARA LA LOCALIZACION DE FALLAS EN
CABLES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA
SUBTERRANEA EN MEDIA Y BAJA TENSION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ERNESTO RICARDO ASIAIN ZAYAS

DIRECTOR DE TESIS: ING ALEJANDRO SOSA FUENTES

MEXICO, DF.

2004



INDICE.

	<i>Página</i>
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I	
TIPOS DE SISTEMAS	
1.1. Clasificación de las redes de distribución de energía eléctrica	6
CAPÍTULO II	
CABLES SUBTERRÁNEOS	
2.1. Información General	18
2.2 Condiciones de servicio de los cables subterráneos	19
2.2.1 Normas para la elección de un cable subterráneo	19
2.2.2 Tensiones de la Red y régimen de explotación	19
2.2.3 Intensidad máxima de servicio	21
2.2.4 Corrientes de corto circuito en los cables subterráneos	22
2.2.5 Caída de tensión máxima prevista en los cables subterráneos	24
2.3 Calibres de Conductores	24
2.4 Comprobación de cables	25
2.4.1 Comprobación de los cables subterráneos	26
2.5 Requisitos, equipos y herramientas necesarias para el cableado	33
2.5.1 Instalación del cable	35
2.6 Tensiones de jalado para cables	38
CAPÍTULO III	
NATURALEZA Y DIFERENTES GÉNEROS DE FALLAS	
3.1 Lineamientos básicos	40
3.2 Naturaleza de las fallas	41
3.2.1 Fallas de naturaleza transitoria	41
3.2.2 Fallas de naturaleza permanente	42
3.3 Fallas por defectos de los cables subterráneos	42
3.3.1 Clases de defectos que pueden presentarse en los cables subterráneos	43
3.4 Características de las fallas	45
3.4.1 Representación esquemática de las fallas	47
3.5 Causas de fallas	48
3.5.1 Causas que motivan fallas en cables subterráneos	49
3.6 Tipos de fallas y metodología a seguir	54
3.7 Deducciones técnicas	58

CAPÍTULO IV LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS DE MEDIA TENSIÓN Y BAJA TENSIÓN.

Página

4.1 Localización de fallas	59
4.1.1 Procedimiento general para la localización de fallas	59
4.1.2 Métodos de localización	61
4.1.3 Localización de la falla	76
4.2 Ejemplos de una localización de falla	79
4.3 Reporte de la localización de una falla	84
4.4 Localización de fallas en cables subterráneos en baja tensión	87
4.4.1 Introducción	87
4.4.2 Métodos de aplicación	88
4.4.3 Lámparas de prueba	90

CAPÍTULO V GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO Y EQUIPO PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS

5.1 Generalidades del mantenimiento	95
5.1.1 Mantenimiento preventivo en cables subterráneos	97
5.1.2 Mantenimiento correctivo	99
5.2 Equipo Hipot/Burn	101
5.2.1 Información General	101
5.2.2 Instalación, funcionamiento y operación	102
5.3 Equipo TOR	105
5.3.1 Información general	105
5.3.2 Instalación, funcionamiento y operación	106
5.3.2.1 Calibración	108
5.3.3 Operación ARC REFLECTION	109
5.3.4 Operación ARC BURN	112
5.3.5 Operación SURGE PULSE	112
5.3.6 Operación VOLTAJE DECAY	112
5.4 Detector acústico	113
5.4.1 Información general	113
5.4.2 Operación	114

CONCLUSIONES. 117

BIBLIOGRAFIA 119

INTRODUCCIÓN.

Generalidades

La energía eléctrica es parte fundamental del progreso, ya que juega un papel muy importante en el desarrollo económico y social de los países, el incremento de su utilización se debe principalmente a que es fácil de producir, transportar y distribuir.

La generación de la energía eléctrica en la República Mexicana es conferida a una empresa paraestatal: dicha generación se inicia en las centrales generadoras, siendo éstas de varios tipos, como hidroeléctricas, termoeléctricas, nucleares, etc., utilizando transformadores para elevar la tensión generada efectuando así la transmisión (valores de 115 KV., 230 KV., y 440 KV.), en la cual se emplean cables de calibre menor esto debido a la corriente, al no ser tan grande la corriente que circula, el cable presenta menores pérdidas, así mismo menor resistencia al paso de la corriente. Economizando así los costos de instalación, mantenimiento, además de reducir las pérdidas.

Las líneas de transmisión llevan la energía eléctrica a grandes distancias, a donde se concentra la carga como lo son subestaciones reductoras o de maniobra que reducen el voltaje a niveles de 85 KV., 44KV., o llegan directamente a subestaciones de potencia donde se reduce el voltaje a niveles de 34.5 KV., 23KV., 13.2KV. para su distribución.

De las subestaciones de potencia parten líneas que alimentan a la gran mayoría de consumidores industriales y redes de distribución aéreas y subterráneas, las cuales llegan a transformadores y subestaciones de distribución respectivamente, las cuales reducen el voltaje a niveles de 440, 220 y 127 volts con el cual se alimenta a los consumidores.

Sistemas de distribución subterráneos

Los sistemas de distribución se han desarrollado históricamente utilizando parámetros de diseños de sistemas relativamente estables. Sin embargo en los últimos años se han presentado cambios acelerados en los diseños de dichos sistemas. Las presiones económicas, de seguridad, confianza y estética, unidas con el crecimiento de la carga, han orillado a las compañías suministradoras a instalar sistemas de distribución subterránea en razón creciente.

Es cierto que los proyectos de redes de distribución subterráneas, no son novedosos, ya que se han utilizado desde hace muchos años, aunque sus alcances eran limitados debido a su alto costo y a la poca diferencia que se les atribuía con respecto a las redes aéreas. Debido a su poco uso el desarrollo técnico de esta especialidad se vió limitado, en la actualidad y desde hace algunas décadas, las compañías suministradoras de energía eléctrica han considerado los beneficios a largo plazo que proporcionan estas redes, sobretodo en el área de distribución.

Los usuarios son los que se ven beneficiados con éste tipo de sistema de distribución, ya que por su alta confiabilidad, las fallas y por lo tanto la interrupción del servicio se disminuyen considerablemente, aumentando también la productividad.

Consideraciones técnicas y económicas.

Las redes de distribución subterráneas siempre tienen un costo mayor que las redes de distribución aéreas y por lo tanto su uso ha quedado limitado a aquellos casos en que el bajo costo no sea una de las consideraciones primordiales.

Entre las consideraciones de las que generalmente depende el uso de un sistema subterráneo encontramos las siguientes:

- a) La densidad de carga en la zona por servir.
- b) Disponibilidad y costo de los derechos de vía para un sistema aéreo.
- c) La presencia de obstrucciones físicas que es imposible librar con construcción del tipo aéreo.
- d) La importancia y conveniencia de asegurar la línea o red de daños mecánicos.
- e) La estética de los conjuntos (calles, parques, edificios, etc)
- f) Leyes y reglamentos de los organismos oficiales.
- g) Proximidad a aeropuertos y otros casos en que sea necesario el estar libre de construcciones aéreas
- h) Costos de construcción, operación y mantenimiento.

El uso en exceso de un sistema subterráneo solamente por estética o para satisfacer presiones del público en áreas donde es adecuada y económica una instalación aérea debe evitarse para no caer en la necesidad de un aumento de tarifas.

El costo inicial de un sistema subterráneo siempre es alto comparado con el equivalente en el tipo aéreo común, dependiendo de esto: la tensión, número de circuitos, derecho de vía obtenibles, grado de continuidad de servicio deseado y el equipo necesario tal como transformadores, equipo de protección, seccionalizadores, lo cual puede hacer llegar a una relación entre costos de diez a uno o mayor.

Puesto que el costo de la electricidad al consumidor guarda una relación con las inversiones y gastos de explotación es de gran importancia para los servidores públicos, así como de las autoridades que las regulan y el público en general, saber que una empresa de servicios públicos de propiedad del estado o particular, tiene la obligación de llevar a sus consumidores un servicio satisfactorio al costo mínimo; y por consecuencia las decisiones que obliguen a una construcción subterránea, donde es

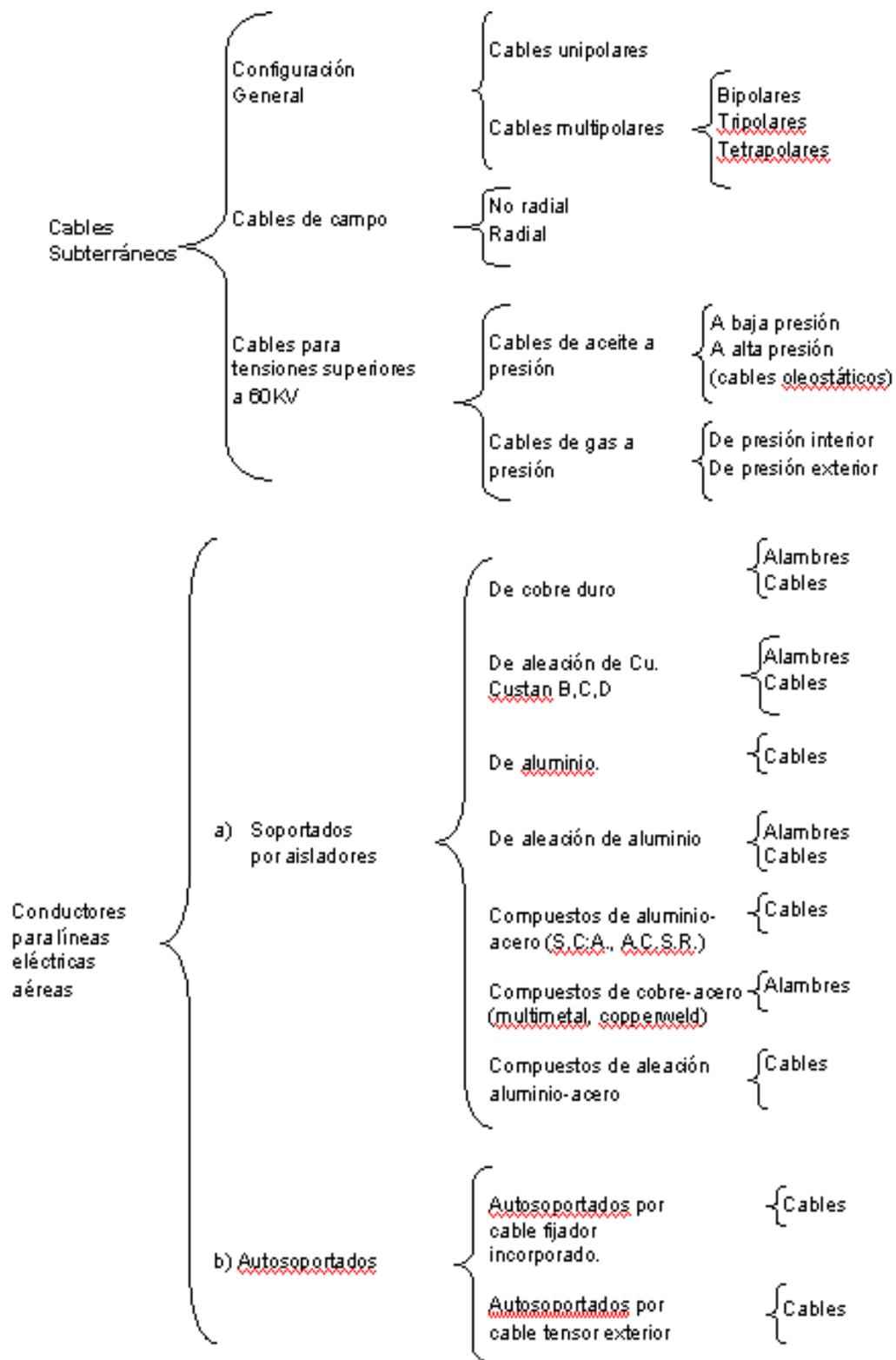
factible un área, deberán demostrar ventajas suficientes para justificar el incremento en el costo.

Las razones del alto costo de éstas instalaciones son obvias; los cables subterráneos tienen capacidad de corriente menor por unidad de sección de conductor, debido a las limitaciones térmicas impuestas por aislamientos y condiciones de los terrenos. Registros, ductos, tuberías conduit o de acero, fosas para transformadores, transformadores y otro equipo propio para servicio subterráneo en conjunto con detalles de ingeniería, diseño, etc., inherentes en éstos sistemas, contribuyen grandemente al incremento del costo.

Un sistema subterráneo correctamente instalado, siempre tendrá menos fallas que un sistema aéreo, aunque normalmente requiere más tiempo localizar y reparar una falla en un sistema subterráneo que en uno aéreo; por lo que es necesario diseñar la estructura y el esquema de protección de dichos sistemas, de tal manera que los puntos de falla se localicen y seccionen fácilmente reestableciendo el servicio en el menor tiempo posible.

Es importante disminuir el costo de una red subterránea, pero teniendo en cuenta el no alterar la calidad del servicio, para esto deben buscarse los equipos, aislamientos y accesorios para tal fin.

A continuación se presentan algunas características técnicas de los conductores para redes subterráneas y aéreas.



CAPÍTULO I

TIPOS DE SISTEMAS

La selección de la estructura adecuada para el desarrollo del sistema de distribución subterránea juega un papel muy importante en la planeación, ya que influirá no sólo en la operación, sino en su costo y confiabilidad a través de la vida útil de la red.

Los parámetros que influyen en la selección de la estructura son:

- Tipo de carga: residencial, comercial, industrial o mixta
- Densidad de la carga
- Localización geográfica
- Forma geométrica de la expansión de la carga
- Continuidad o confiabilidad requerida por los consumidores
- Taza de crecimiento
- Operación
- Mano de obra disponible tanto para la construcción como para la operación de la Red
- Costo

1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Las redes de distribución se clasifican para su estudio:

- a) En función de construcción
- b) En función del valor de la tensión
- c) En función de su operación
- d) En función de su estructura topológica

a) En función de construcción.- A su vez se clasifican en:

a.1. Redes aéreas.

Son aquellas formadas con conductores eléctricos de cobre o aluminio soportadas por medio de aisladores sobre crucetas y en postes. Generalmente se les encuentra en zonas de media o baja densidad de carga (hasta 6MVA/Km²)

Sus principales ventajas son: el reducido costo de instalación y de mantenimiento ya que implica muy poca obra civil al encontrarse visibles los circuitos. Sus principales desventajas son las de sufrir con más frecuencia disturbios ocasionados por choques de vehículos contra postes, afectaciones por fuertes vientos, lluvias, descargas atmosféricas, temblores, caídas de ramas de árboles.

a.2 Redes subterráneas

Son aquellas formadas por conductores eléctricos de cobre o aluminio, aislados por papel impregnado en aceite o por compuestos químicos modernos, que son colocados bajo tierra en ductos y galerías o directamente enterrados, se encuentran en zonas de densidades de carga mayores a 6 MVA/Km² , y sus principales ventajas son: brindan gran confiabilidad y continuidad en el servicio, presentan mejor aspecto estético, ocasionan menos interrupciones (en algunas ocasiones más prolongadas), por no ser afectadas ampliamente por los fenómenos meteorológicos ni por choques de vehículos a postes. Sus principales desventajas son: alto costo de instalación en vista de que hay que realizar bastante obra civil para construir bóvedas, registros, casetas y colocar ductos aunado a las frecuentes dificultades al tener que librar otras instalaciones, su mayor costo en conductores aislados y en equipos especiales para funcionar en forma sumergible, tanto en B.T. como en M.T., y por último aunque las fallas sean esporádicas, su localización presenta mayor dificultad.

a.3. Redes Mixtas

Como su nombre lo indica resultan de la combinación de ambas formas mencionadas.

A partir de las subestaciones eléctricas de distribución, los alimentadores en su primer tramo (de 100 a 500m) pueden ser aéreas o subterráneas y el resto de la red de igual forma puede ser aérea o subterránea, cabe mencionar que este tipo de conformación puede encontrarse en M.T. o B.T., es decir se distribuyen en M.T. en forma aérea y en B.T. en forma subterránea, llamándoseles también redes híbridas.

b) En función del valor de la tensión

- Por la tensión eléctrica las redes de distribución se clasifican en:
- Redes de distribución en mediana tensión (M.T.)
- Redes de distribución en baja tensión (B.T.)

b.1. Redes de distribución en M.T.

Estas redes de distribución o redes primarias, se utilizan para abastecer centros de consumo que demandan grandes cantidades de energía eléctrica o bien para alimentar subestaciones transformadores de media o baja tensión, los voltajes más comunes son: 6.9Kv; 13.8Kv; 23Kv y 34.5Kv

b.2. Redes de distribución en B.T.

Estas redes de distribución o redes secundarias, son las instalaciones eléctricas utilizadas para suministrar energía eléctrica a los consumidores menores, por ejemplo pequeñas industrias, comercios, escuelas y en general a los servicios domésticos. Las tensiones eléctricas son 127/220 volts + -10% ^[1] de fase a tierra y entre fases respectivamente.

c) Por su operación se clasifican en:

c.1. Redes de operación radial

En este caso el flujo de energía tiene una sola trayectoria que es de la fuente a la carga y es normalmente la mas usada, es de relativo bajo costo y de gran simplicidad

c.2. Redes de operación en paralelo

En un sistema de operación en paralelo, el flujo de energía se divide, entre varios elementos, teniendo así más de una trayectoria. Su empleo es sobre todo en redes subterráneas de B.T., por lo que se tiene una estructura sencilla en la red primaria o de M.T. La continuidad de servicio es muy alta en la red de B.T. y las protecciones sólo existen en las salidas de los conductores de la red, a la salida de los transformadores. La eliminación de las fallas en los cables se hace por auto extinción ya que la corriente de cortocircuito es tan grande que la falla queda aislada al cortarse el cable en el punto del cortocircuito, este tipo de estructura se utiliza en sistemas subterráneos.

d) En función de su estructura topológica.- Se clasifican en redes de mediana tensión (M.T.) primarias y redes de baja tensión (B.T.) secundarias

d.1. Redes de M.T. primarias, se clasifican a su vez en:

d.1.1. Redes primarias de estructura en derivación simple

Una red de este tipo esta constituida por alimentadores troncales que salen de una fuente de alimentación (S.E. de potencia) y por ramales en forma transversal que ligan a las troncales por medio de dispositivos seccionadores, siendo uniforme el calibre de los conductores tanto para troncales como ramales. Se recomienda este tipo de red en zonas con alta densidad de carga, con fuertes tendencias de crecimiento y cargas de diferentes tipos. Figura d.1.1

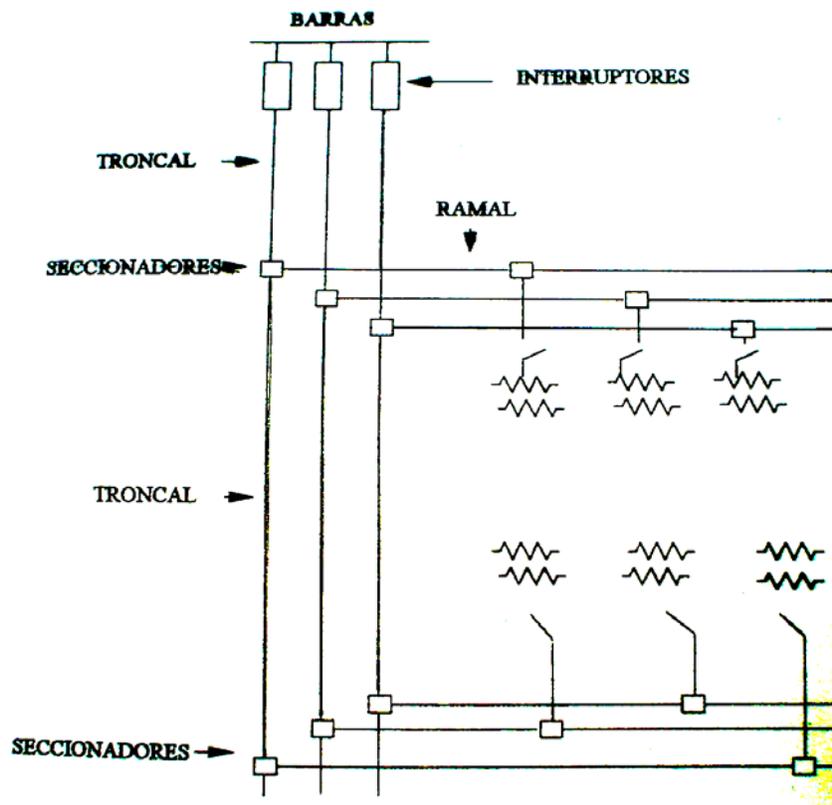


Figura d.1.1 Derivación Simple.

d.1.2. Redes primarias de estructura en derivación doble

En esta estructura, la disposición de los cables troncales se hace por pares, siendo las secciones uniformes para los cables troncales y menores para las derivaciones a las subestaciones y servicios, los cuales quedan alimentados en derivación no teniendo ningún elemento como se muestra en la figura d.1.2.

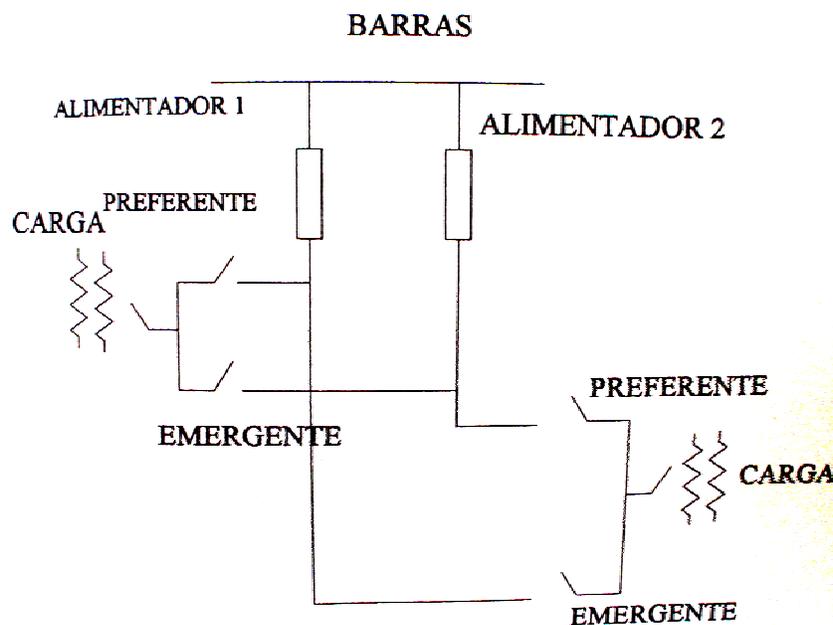


Figura d.1.2. Estructura en doble derivación.

Cada uno de los troncales es capaz de llevar la energía desde la fuente de alimentación hasta la carga por alimentar, siendo uno de ellos alimentador preferente y el otro emergente, además cuenta con elemento de seccionamiento que permite efectuar la transferencia de carga de un alimentador a otro, ya sea de una forma manual o automática.

d.1.3. Redes primarias de estructura en derivación múltiple.

Este tipo de red se constituye por un número determinado de alimentadores que contribuyen simultáneamente a la alimentación de la carga y cada alimentador esta compuesto por conductores de sección combinada en forma decreciente y con cables de no menor calibre para las derivaciones que el que alimentará las subestaciones de distribución, las cuales quedan alimentadas en simple o doble derivación. Los alimentadores troncales recorren toda el área por alimentar y por medio de un dispositivo de seccionamiento e interruptores se derivan los ramales para alimentar los interruptores de transferencia o directamente a los transformadores de distribución. Figura d.1.3.

Su aplicación se recomienda en zonas de urbanismo moderno con Alta densidad de carga (mas de 30 MVA/Km²), en donde se requiere una alta continuidad en el servicio y donde existen grandes cargas concentradas, así como cargas medianas repartidas en forma uniforme y estas redes, se solicitan tanto en mediana tensión como en baja tensión.

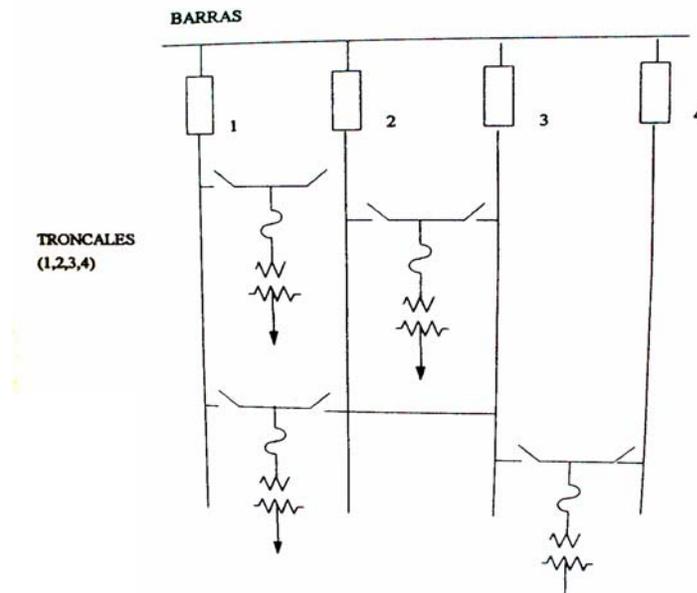


Figura d.1.3. Estructura en derivación múltiple

d.1.4. Red primaria de estructura de anillo.

Este tipo de red esta constituida por un cable troncal que se alimenta desde una S.E. de potencia o bien desde la troncal de otro alimentador localizado cerca de la zona por alimentar, lo cual depende de la magnitud de la carga. La troncal de esta estructura llegará hasta la zona por alimentar, donde será seccionado y partirán desde este punto los ramales que, al recorrer la zona forman un anillo, del cual se alimentarán todos los transformadores de M.T. y B.T. llegando a cerrarse nuevamente en otro punto de seccionamiento el cual se recomienda sea reforzado por otro cable troncal. Figura d.1.4.

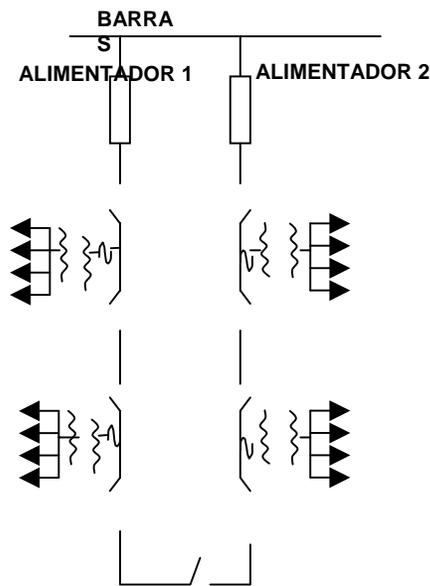


Figura d.1.4. Estructura en anillo.

Esta estructura se recomienda en zonas con densidades de carga de 5 a 15 MVA/Km², en particular en zonas planificadas tales como: conjuntos habitacionales, centros comerciales y zonas urbanas tipo comercial.

d.2) Redes de B.T. secundarias

Las redes secundarias son el último eslabón entre la estación de generación y los consumidores. En general se siguen manteniendo los mismos principios de operación que en las redes de M.T. mencionadas anteriormente, sin embargo, existe una diferencia muy importante que afecta a su operación, que es la de poder trabajar (con las precauciones debidas) con línea viva, dando mayor flexibilidad al sistema.

Estas redes se forman con alimentadores secundarios que tienen su origen en las terminales de B.T. de los transformadores, en cajas de distribución o en las barras de las subestaciones secundarias y llevan la energía hasta el lugar de consumo y se clasifican en:

d.2.1. Redes secundarias radial sin amarres

Esta red esta constituida por conductores de sección apropiada y seleccionados en base a la carga que alimentan, que parten de diferentes direcciones del lugar donde se encuentra instalado el transformador de M.T. / B.T., cajas de distribución o barras, constituyendo los alimentadores secundarios. Figura d.2.1.

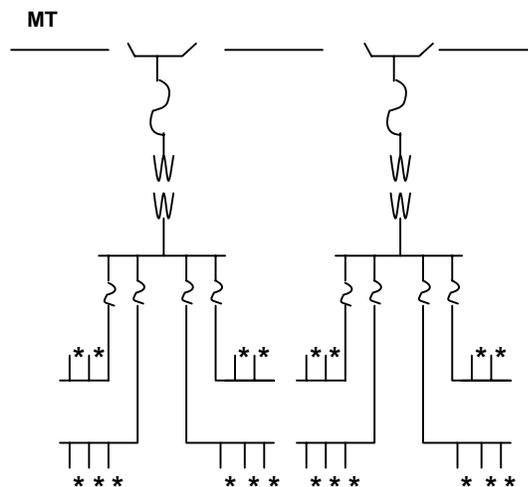


Figura d.2.1. Red secundaria radial sin amarres

Una falla en el transformador o en alguno de los cables dejará sin servicio a todos los consumidores alimentados por esta sección. Aún en este arreglo tan simple se puede seccionar, si la falla ocurre en los alimentadores una vez que se localice la falla, se aísla el tramo en buen estado y si este que alimentado por la fuente permitirá que una parte de los consumidores tenga el servicio mientras se efectúa la reparación total.

d.2.2. Redes secundarias radial con amarres

En la estructura anterior cuando ocurre una falla en el transformador o en el alimentador primario ocasiona interrupción del servicio en toda el área alimentada por éstos, hasta que el transformador es reemplazado o la falla reparada, así mismo, se requiere libramiento prolongado en el mismo, se tendrá igual resultado. Para cubrir esta situación así como cuando se requiere restaurar el servicio o se tiene problemas en los cables secundarios, se prevé a la red de B.T. de medios de amarre que consisten de cajas de seccionamiento intercaladas en los cables que van de un transformador a otro y se instalan normalmente en las esquinas para mayor flexibilidad en su conexión al poder recibir hasta cuatro cables. Este tipo de estructura es utilizado en redes subterráneas. Figura d.2.2.

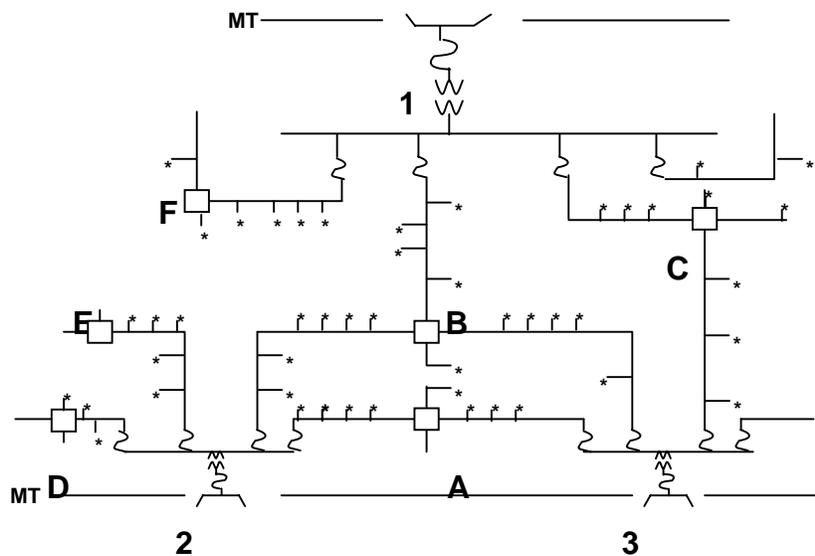


Figura d.2.2. Red secundaria radial con amarres.

Por ejemplo si se estuviera tomando la carga por el transformador No. 1 y se tuviera una falla en él. Toda la zona quedaría sin potencial y lo que se tendría que hacer es tomar la carga por el TR No. 2 ó 3 ó ambos de acuerdo a la capacidad y carga esto operando las cajas de amarre A, B y C y así mismo en caso de tener una falla en una troncal, únicamente se tiene que ver las trayectorias y cerrar los puntos de contacto necesarios para restablecer la energía mientras se corrige la falla o el problema.

Para determinar la localización de estos medios de amarre y seccionalización se requiere un buen estudio de cargas de los servicios para cada transformador y de esta manera, permitir una mayor libertad en la reparación de fallas en M.T. puesto que, la carga del transformador en disturbio puede ser transferida por la B.T. a los transformadores adyacentes.

La sección de los conductores de este tipo de red será uniforme excepto en las acometidas que será en base a la carga del servicio y estarán en la misma secuencia de fase con el fin de poder hacer la transferencia de carga.

Cuando en zonas adyacentes existan estos tipos de redes pero que su alimentación en M.T. sea diferente, por ejemplo: 6KV y 23KV., debe tenerse el cuidado de no poner en paralelo en algún punto sus redes secundarias, pues pueden tener diferente defasamiento de M.T /B.T

d.2.3. Redes secundarias en malla automática

Este sistema de distribución en B.T. es la solución adoptada en muchas ciudades para resolver el problema de un buen servicio y una buena regulación de voltaje en zonas importantes de ellas, donde se tiene una gran concentración de carga, siendo el servicio uniforme y continuo, ya que las fallas en M.T. y B.T. no afectan a los usuarios y son autoextinguibles, al seccionarse el cable en la zona de falla, como se precia en la figura d.2.3.

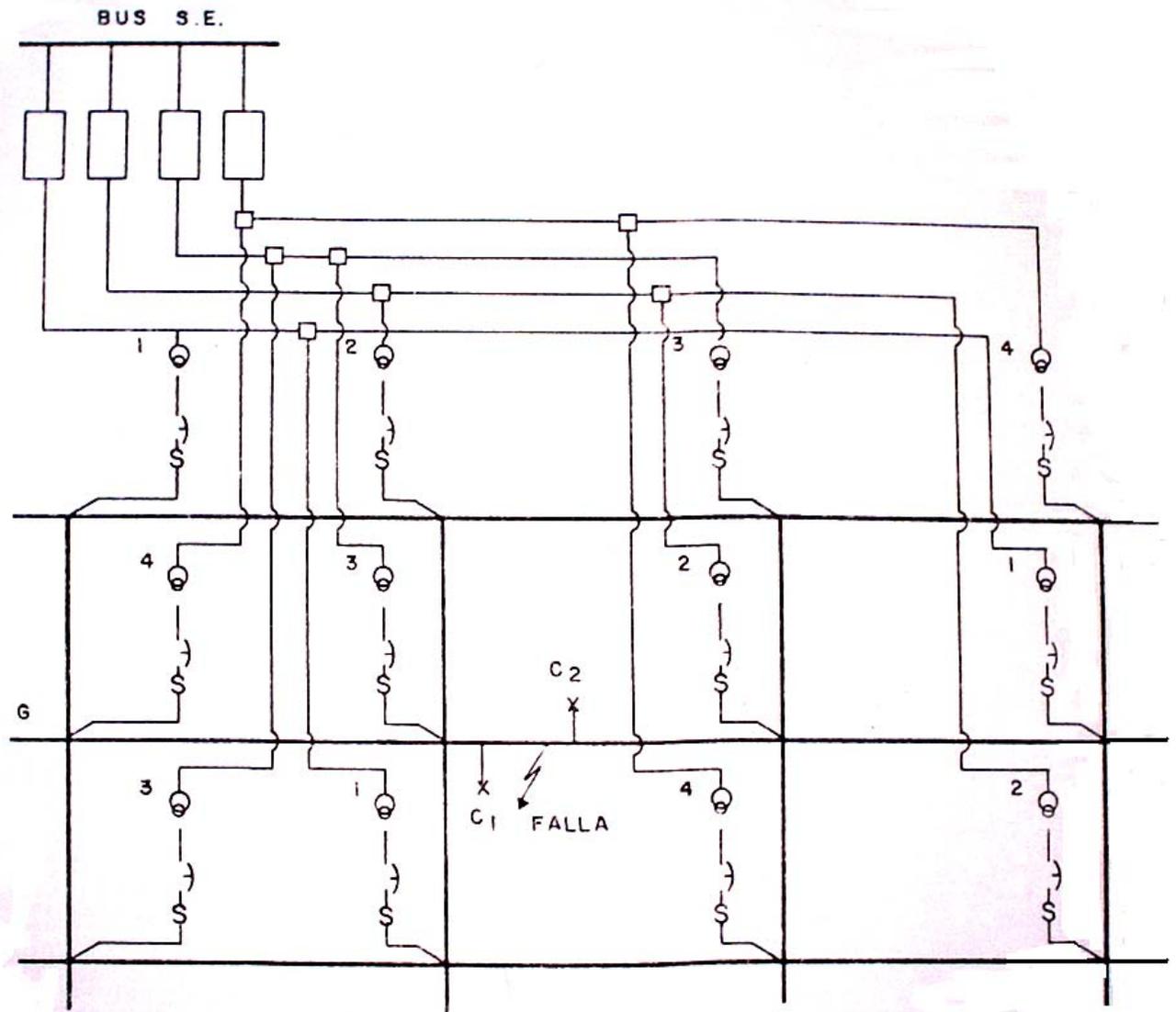


Figura d.2.3. Red secundaria de estructura en malla automática

CAPITULO II

CABLES SUBTERRANEOS.

2.1. INFORMACIÓN GENERAL

El acelerado crecimiento de los sistemas eléctricos requiere del suministro de bienes, equipo y accesorios de reconocida calidad, para garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro del vital fluido eléctrico tan importante en toda la esfera de la actividad humana.

Entre uno de los elementos de los sistemas eléctricos que desempeñan una función de transmisión o distribución de energía eléctrica están los cables de energía que deben cumplir satisfactoriamente con normas y especificaciones tales como:

CFE, LYF, PEMEX, NOM, NMX, AEIC, ICEA y UL.

Para poder superar los requisitos mecánicos, eléctricos y ambientales de hoy en día.

El avance tecnológico de los nuevos elementos para la fabricación de conductores eléctricos, nos ha permitido mejorar las instalaciones subterráneas para alta tensión.

Estos adelantos tecnológicos han permitido la aplicación principalmente de dos aislamientos del tipo seco para cables de alta y baja tensión, mismos que han desplazado a los aislamientos de papel impregnado en aceite. Estos aislamientos han reducido el costo de los conductores, y simplificado su manejo, instalación y elaboración de accesorios.

Estos aislamientos son:

Polietileno de cadena cruzada (XLP).

Etileno Propileno (EP).

2.2. CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS CABLES SUBTERRÁNEOS.

2.2.1. Normas para la elección de un cable subterráneo

Para la elección de un cable subterráneo han de tenerse en cuenta 4 factores fundamentales:

- a) Tensión de la red y régimen de explotación
- b) Corriente que debe transportar el cable (intensidad de servicio)
- c) Cortacircuitos
- d) Caídas de tensión en régimen de intensidad máxima prevista

La importancia de éstos factores depende de la tensión de servicio del calibre. Por ejemplo, para bajas de tensiones de servicio puede ser determinante la caída de tensión, factor que tiene poca importancia en altas tensiones de servicio; sin embargo, en éste último caso tiene gran importancia el régimen de explotación de la red, factor poco importante para bajas tensiones de servicio.

2.2.2. Tensiones de la red y régimen de explotación.

Los cables subterráneos se designan con las letras Eo/E, ^[1] siendo:

Eo = Tensión entre cada uno de los conductores y la pantalla semiconductora o envoltura metálica, que corresponde a la tensión entre fase y tierra de la red.

E= Tensión entre dos conductores cualquiera del cable, que corresponde a la tensión entre fases de la red.

La elección de Eo y E depende de la tensión máxima de la red y de las disposiciones tomadas para su puesta a tierra. Desde este punto de vista las redes se clasifican en dos categorías:

Redes de 1ª Categoría:

Comprende las redes eléctricas que, en caso de defecto a tierra, sólo permite el funcionamiento con una fase a tierra, durante un breve periodo de tiempo. En general, este periodo de tiempo no debe exceder de una hora, aunque en circunstancias excepcionales, y utilizando cables de campo no radial, puede admitirse una duración mayor, aunque en ningún caso, se pueden sobrepasar las 8 horas. El total de funcionamiento de los cables con defecto a tierra, no debe sobrepasar, en total las 100 horas al año.

Redes de 2ª Categoría

Comprende todas las redes eléctricas no incluidas en la 1ª categoría, es decir, aquéllas en las que el funcionamiento con una fase a tierra puede durar más de algunas horas cada vez y más de 100 horas al año.

En la tabla 2.2.2.1. se presenta la elección de cables subterráneos para redes eléctricas.

Tabla 2.2.2.1. Selección de cables para redes electricas.

CARACTERÍSTICAS DE LA RED		CARACTERÍSTICAS DEL CABLE Tensión nominal Eo/E (KV)	
Tensión Nominal Vn. (KV)	Tensión Máxima Vmax. (KV)	Redes de 1ª Categoría	Redes de 2ª Categoría
1	1.2	-	0.6/1
3	3.6	1.7/3	3.5/6
6	7.2	3.5/6	6/10
10	12	6/10	8.7/15
15	17.5	8.7/15	12/20
20	24	12/20	15/25
25	30	15/25	18/30
30	36	18/30	26/45
45	52	26/45	38/66
60	72.5	38/66	

2.2.3. Intensidad máxima de servicio.

Los valores de la intensidad máxima de corriente admisible que un cable subterráneo puede transportar han de ser tales que, en ningún punto de la instalación, la temperatura del conductor exceda a los siguientes valores:

- Inferiores a 70°C para tensiones de servicio de hasta 15KV
- Inferiores a 60°C para tensiones de servicio de 20 y 30 KV
- Inferiores a 55°C para tensiones de servicio de 45 KV

La temperatura del conductor resulta de la temperatura ambiente, incrementada por la correspondiente al calentamiento por el efecto JOULE.

En lo que se refiere al valor de la resistividad térmica exterior o de la evacuación del calor hacia el medio ambiente, se han de tener en cuenta los diversos sistemas de instalación (cables enterrados, cables al aire libre, etc.), y las siguientes circunstancias:

- a) La resistividad térmica del terreno depende de la naturaleza y del grado de humedad en el suelo
- b) El incremento de la resistencia térmica exterior a causa del resecamiento del terreno, cuando el cable presta servicio continuo a plena carga.
- c) Cables cargados, canalizaciones de gas, de vapor, de calefacción, etc., tendidas en las proximidades del cable.
- d) Calor acumulado debido a la presencia de capas de aire bajo las cubiertas de protección en zanjas, conductos, etc.
- e) Menor disipación del calor en el caso de cables dispuestos al aire libre en comparación a los cables enterrados.

2.2.4. Corrientes de cortocircuito en los cables subterráneos.

Los cables subterráneos deben ser capaces de soportar, sin daño permanente, no solamente las corrientes normales de servicio, sino también las elevadas corrientes que se producen cuando hay un defecto en la propia red o en los receptores a ellos conectados, mismos que reciben el nombre en general de cortocircuitos. Estas elevadas corrientes son de corta duración (como máximo algunos segundos) y desaparecen al actuar los dispositivos de protección en la red para proteger estos defectos, pero a pesar de ello, provocan un alto calentamiento en los cables, que puede resultar muy importante ya que, la corriente es muy elevada y el calentamiento según expresa la Ley de Joule,^[2] es proporcional al cuadrado de la corriente.

Las corrientes pueden resultar factores determinantes para la elección de la sección de un cable subterráneo, ya que puede suceder que un cable determinado tenga una sección que sea suficiente, desde el punto de vista térmico, para una intensidad de servicio permanente y que, sin embargo, no resulte suficiente para soportar las corrientes de cortocircuito durante cierto tiempo, dadas las características de la red y de los dispositivos de protección.

Para evaluar el calentamiento admisible en los cables subterráneos, por efecto de las corrientes de cortocircuito, se supone que el conductor trabaja a 70 grados centígrados antes del cortocircuito. En estas condiciones, las temperaturas máximas que pueden alcanzar los distintos tipos de cable son las siguientes:

- Cables aislados con papel impregnado = 140°C
- Cables aislados con polietileno = 150°C
- Cables aislados con caucho butílico = 150°C
- Cables aislados con policloruro de vinilo = 160°C
- Cables aislados con polietileno reticulado = 200°C
- Cables aislados con etileno-propileno = 200°C

Cuando por efecto de un cortocircuito, un cable subterráneo se calienta por encima de los valores anteriores, existen dos soluciones:

- a) Aumentar la sección del cable
- b) Disminuir el tiempo de desconexión del disyuntor de protección, por ajuste a los correspondientes relés.

2.2.5. Caídas de tensión máxima prevista, en los cables subterráneos.

Para instalaciones en baja tensión, este factor determina frecuentemente la sección del cable. La intensidad térmicamente admitida por el cable suele provocar, con bastante frecuencia, caídas de tensión superiores a las admisibles, lo que obliga a emplear cables de mayor sección.

A partir de tensiones de servicio de 3KV, la caída de tensión tiene poca importancia como determinante de la sección del cable, excepto si se trata de líneas de gran longitud. Para estas tensiones de servicio, los factores que determinan la sección del cable son las corrientes máximas de servicio y las corrientes de cortocircuito.

2.3. CALIBRE DE CONDUCTORES.

a) Circuitos de media tensión

Se utilizarán los siguientes calibres. Tabla 2.3.1.a

Tabla 2.3.1.a Calibres para media tensión

CALIBRE AWG Y kCM	CONDUCTOR
1/0	ALUMINIO
3/0	ALUMINIO
500	ALUMINIO O COBRE
750	COBRE

b) Circuitos de baja tensión.

Se utilizarán los siguientes calibres con conductores de aluminio. Tabla 2.3.1.b

Tabla 2.3.1.b calibres para baja tensión

CALIBRE AWG Y kCM	CONDUCTOR
1/0	ALUMINIO
3/0	ALUMINIO
350	ALUMINIO

c) Acometidas en baja tensión

Para proporcionar las acometidas en baja tensión a los usuarios se normalizan los siguientes calibres con conductores de aluminio. Tabla 2.3.1.c

Tabla 2.3.1.c Calibres para acometidas.

CALIBRE AWG Y kCM	CONDUCTOR
4	TRIPLES Y CUADRUPLEX
2	TRIPLES Y CUÁDRUPLES
1/0	TRIPLES Y CUÁDRUPLES
3/0	TRIPLES Y CUÁDRUPLES
350	TRIPLES Y CUADRUPLEX

2.4. COMPROBACIÓN DE CABLES.

Después del montaje de una instalación con cables subterráneos y antes de que entre en funcionamiento, debe comprobarse el buen estado de la instalación. Pero antes de esta comprobación previa deben adoptarse determinadas precauciones para que la realización de las pruebas no resulte peligrosa para el personal.

Las pruebas que se realizan en los cables de nueva instalación, y periódicamente, en los cables ya en funcionamiento, son las siguientes:

- Pruebas de contactos a tierra, o sea, comprobar si existe algún contacto entre un conductor y la envoltura de plomo o la armadura metálica del cable. Para ello, es esencial la medición de la resistencia de aislamiento entre el cable y tierra por los procedimientos que se explican más adelante y según los límites prescritos reglamentariamente.
- Pruebas de corto circuito, es decir, la comprobación de si existen contactos entre conductores. También resulta esencial en este caso la medición de la resistencia de aislamiento, esta vez entre cada par de cables, también existen unos límite prescritos reglamentariamente y que, naturalmente deben respetarse
- Prueba de continuidad de los conductores, es decir, comprobación de que los conductores que constituyen un cable subterráneo no están interrumpidos en alguna parte de su trayectoria.
- Prueba de sucesión de fases, es decir, la comprobación de que la sucesión de la fase es la misma al principio y al final de la trayectoria del cable.

2.4.1. Comprobación de los cables subterráneos.

Durante el montaje de los cables subterráneos y la colocación de cajas de empalme, cajas terminales, etc., debe comprobarse constantemente si se ha producido alguna avería, o existe algún defecto. En las nuevas instalaciones, estas pruebas deben realizarse antes de la conexión de los cables a la red; en las instalaciones ya existentes, las pruebas se realizan periódicamente.

Cuando se han de comprobar cables que han estado en servicio, debe tenerse en cuenta que, debido a la capacidad propia de los cables, éstos aunque estén desconectados de la red, pueden estar cargados durante bastante tiempo, incluso durante horas. Estas cargas estáticas dependen, en su magnitud, de la tensión de servicio y pueden resultar especialmente peligrosas en cables subterráneos para alta tensión. Por esta razón, antes de proceder a efectuar las pruebas correspondientes, estos cables deben ponerse a tierra y en cortocircuito, conectando con las almas de los cables, un conductor unido a una buena toma de tierra; ésta operación debe realizarse utilizando una barra aislante. El conductor de tierra sólo puede retirarse después de que se haya producido la descarga de los cables. Resumiendo, antes de efectuar pruebas sobre cables en servicio, han de adoptarse las siguientes precauciones:

- 1.- Que estén desconectados por todas partes
- 2.- Que estén asegurados contra reconexiones
- 3.- Que estén conectados a tierra y en corto circuito

Las pruebas que se realizan en los cables en servicio (con las precauciones anteriormente expuestas) y en cables de nueva instalación son las siguientes:

- 1.- Contactos a tierra, es decir, si existe algún contacto entre un conductor y la envoltura de plomo o la armadura metálica.
- 2.- Cortocircuitos, es decir, si existe algún contacto entre conductores.
- 3.- Sucesión correcta de fases, en cables de varios conductores.

Para la prueba de contactos a tierra, se mide la resistencia de aislamiento entre un conductor y tierra, empleando un megohmímetro de manivela y de batería incorporada.

La resistencia de aislamiento debe ser:

Resistencia de aislamiento en Mohms \geq Tensión de servicio en KV

Por ejemplo para un cable de 6KV, la resistencia de aislamiento debe ser:

Resistencia de aislamiento \geq 6Mohms.

Y para un cable de 380 V (0.38KV) este valor será:

Resistencia de aislamiento \geq 0.38 Mohms.

Para efectuar la prueba de aislamiento, se realizan las siguientes operaciones de acuerdo con el esquema de la figura 2.4.1 a.

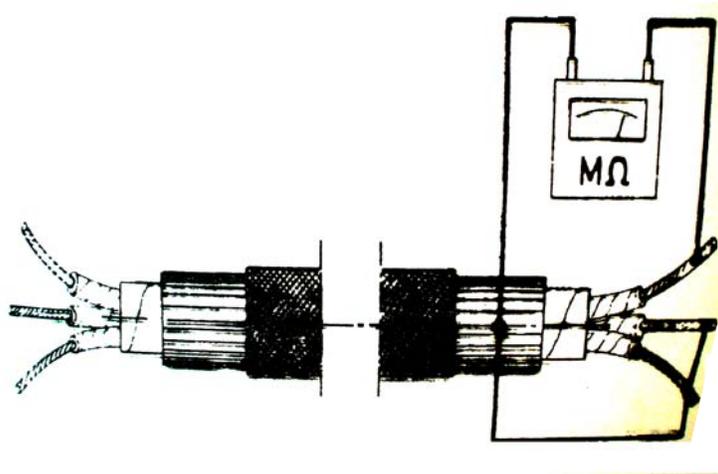


Figura 2.4.1 a. Prueba de aislamiento de un cable subterráneo

- 1.- Se conectan todos los conductores a tierra, excepto, el que se ha de probar. Para ello, se unen estos conductores entre sí y la envoltura de plomo si la hubiere, o la armadura metálica, o al borne de tierra de la caja de empalme, derivación, etc.
- 2.- Se conecta el conductor que se ha de comprobar al megohmímetro
- 3.- Se conecta el otro borne del megohmímetro a tierra
- 4.- Se observa la indicación de la escala; recuérdese que la primera oscilación de la aguja no debe tenerse en cuenta para la medida, ya que se debe a los efectos de capacidad del cable
- 5.- Se repite la operación con los demás conductores del cable

La prueba de cortocircuito, se efectúa midiendo la resistencia de aislamiento entre cada par de conductores del cable, de acuerdo con el esquema de la figura 2.4.1b. para ello, se conectan los 2 bornes del megohmímetro a dos de los conductores y se anota la correspondiente indicación de la aguja; la resistencia de aislamiento ha de ser, como anteriormente:

Resistencia de aislamiento en Mohms \geq Tensión de servicio en KV

Por ejemplo para un cable de 6KV, la resistencia de aislamiento debe ser:

Resistencia de aislamiento \geq 6Mohms.

Y para un cable de 380 V (0.38KV) este valor será:

Resistencia de aislamiento \geq 0.38 Mohms.

Resistencia de aislamiento en Mohms Tensión de servicio en KV.

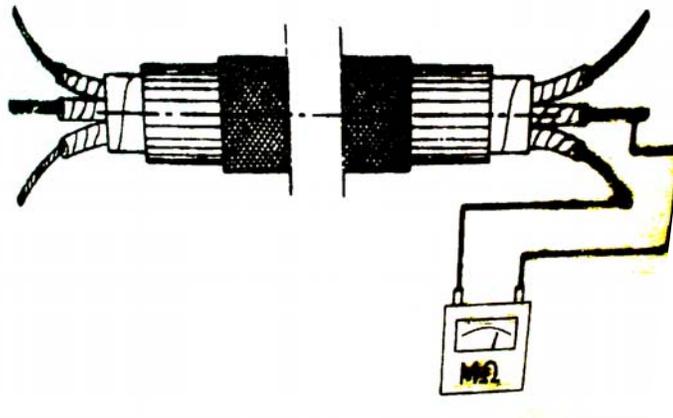


Figura 2.4.1 b. Prueba de cortocircuito de un cable subterráneo

Debe tenerse en cuenta también ahora que la primera oscilación de la aguja no es válida como indicación de la resistencia de aislamiento. Para la prueba de interrupciones, el dispositivo más sencillo se expresa en la figura 2.4.1c, en la figura 2.4.1d se representa un modelo de ese dispositivo. Consta de una lámpara de pequeño consumo, en serie con una resistencia y con una pila incorporada; se completa el conjunto con cordones flexibles provistos de puntas de prueba, en cuyo interior se encuentra el fusible. Antes de empalmar una lámpara de prueba, debe comprobarse su buen estado de funcionamiento sobre un circuito conocido en servicio.

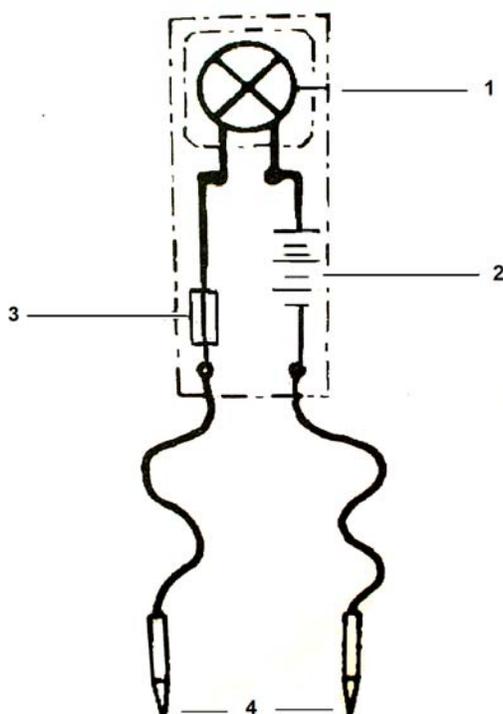


Figura 2.4.1.c Conexión de una lámpara de prueba para cable subterráneo.
1.- Lámpara de prueba, 2.- Batería de alimentación, 3.- Fusible, 4.-Puntas de prueba

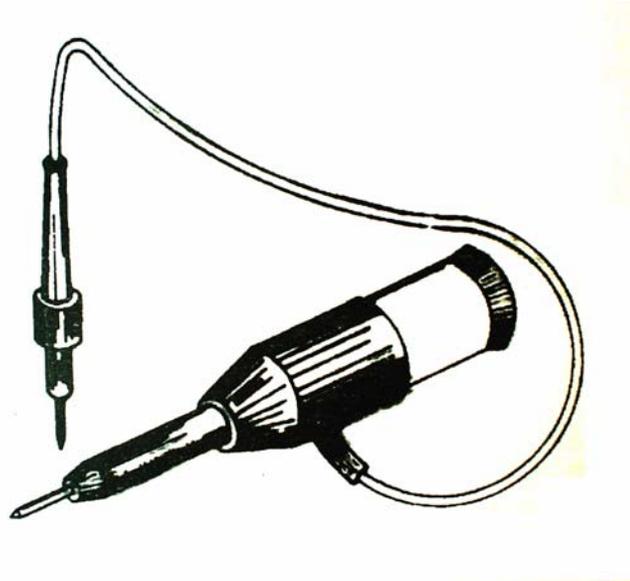


Figura 2.4.1.d Modelo de lámpara de prueba para cable subterráneo

Esta prueba se efectúa de acuerdo con el esquema de la figura 2.4.1e, es decir, conectando todos los conductores entre sí, en un extremo del cable, y la lámpara de prueba entre 2 de estos conductores, en el otro extremo. Si la lámpara se enciende es que existe continuidad en ambos conductores; si permanece apagada, es que uno de ellos está interrumpido.

Para la prueba de sucesión de fases, también se emplea la lámpara de prueba, descrita en el párrafo anterior. Esta prueba se efectúa, de acuerdo con el esquema de la figura 2.4.1.f uniendo sucesivamente cada uno de los conductores a la envoltura de plomo o armadura metálica en uno de los extremos del cable y conectando en el otro extremo uno de los bornes de la lámpara de prueba a la propia envoltura o, en su caso a la armadura metálica; con la punta de prueba se van tanteando los conductores y cuando la lámpara se encienda, es que se trata del mismo conductor empalmado en el otro extremo del cable.

Cuando se han realizado todas las operaciones de comprobación, deben descargarse los cables a tierra, para evitar los efectos de capacidad al conectar éstos a la red.

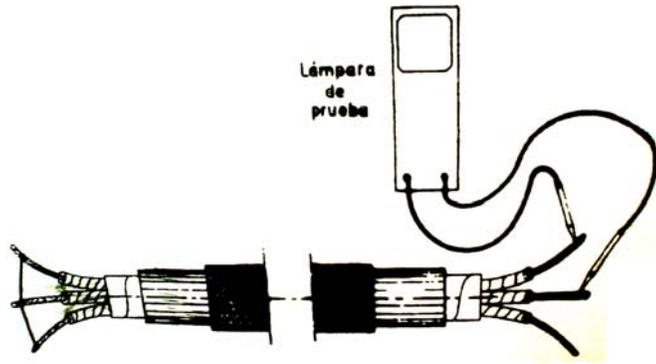


Figura 2.4.1e Prueba de interrupciones de un cable subterráneo

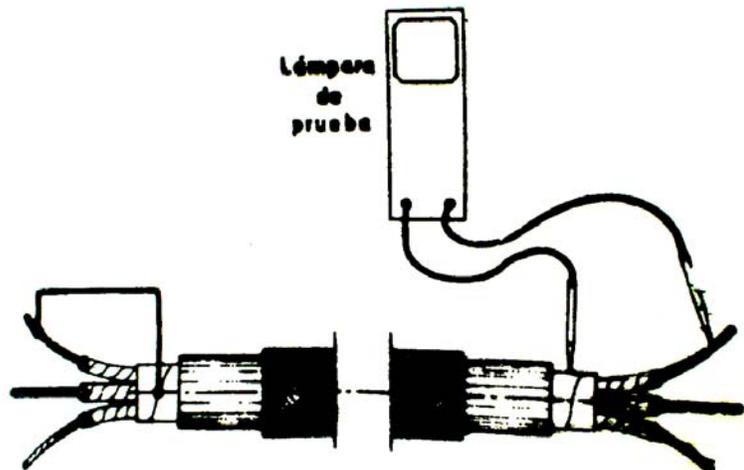


Figura 2.4.1f Prueba de sucesión de fases de un cable subterráneo

2.5. REQUISITOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL CABLEADO.

Los tramos de cable entre equipos (transformadores, seccionadores, barras derivadoras, etc.), serán de una sola pieza sin empalmes, en caso de que la distancia sea mayor a 500m se podrán emplear empalmes pero tipo premoldeados o termocontráctiles, por lo que es recomendable que una vez autorizado el proyecto, el fraccionador o encargado del Departamento de Distribución Subterránea tomen las medidas de cada tramo y se consideren los desperdicios para la instalación de los accesorios y los excedentes necesarios en los registros, como a continuación se indica:

- Si la distancia es menor de 100m, entre equipos se deberán dejar un excedente de cable igual al perímetro del registro donde se ubica la base de cada equipo
- Si la distancia es de 100 a 200m, entre equipo además de dejar un excedente (coca) en cada equipo se deberá dejar una coca más en el registro intermedio entre ambos equipos.
- Si el tramo de cables es mayor de 200m sin ninguna conexión a equipos se deberá considerar una coca de 50m por fase.

La trayectoria de los circuitos deberá ser como lo indica el proyecto probado. Una vez concluida la instalación del soporte, limpieza del ducto, registros y verificado que el cable se haya fabricado de acuerdo a normas, se podrá iniciar el tendido. La instalación del cable normalmente se realiza en forma manual, ya que los calibres normalizados de aluminio no son pesados, y los tramos tienen que ser menores a 500m para lo que se debe utilizar una malla de acero en la punta para jalarlo, la cual se conoce como "calcetín".

Si en algún caso se tiene que instalar un tramo mayor a 500m y se dispone del equipo mecánico para cablear, se deberá contar con lo siguiente:

- 1) Grúa con capacidad mínima de 200 Kg., para carga y descarga de los carretes de cable
- 2) Devanadora con capacidad mínima de 2000 Kg., y con una tolerancia de altura entre 100 y 150 cm.
- 3) El utilizar un perno de tracción, el cual debe ser instalado de preferencia de fábrica.
- 4) Destorcedor para absorber los giros aplicados por el malacate.
- 5) Conos de manta o vasos de plástico con un diámetro un poco menor al ducto para meter la guía
- 6) Hilos de plástico para que sea jalado por el cono o por el vaso
- 7) Compresora de aire para desplazar el cono dentro del ducto para guiar
- 8) Malacate de capacidad mínima de 3000kg
- 9) Rodamientos, curvas, poleas y polines para troquelar las curvas y cambios de dirección y niveles en el trayecto del tendido.
- 10) Tubos flexibles abocinados para proteger el cable a la entrada y a la salida de los ductos.
- 11) Dinamómetro de escala 0-3000kg
- 12) Bentonita o lubricante equivalente para reducir la fricción entre el ducto y el cable
- 13) Barreras de seguridad y avisos para evitar se accidente cualquier persona y el daño posible al cable.

En este caso cuando se jala el cable directamente sobre el perno de tracción se puede aplicar como máximo 2500kg de tensión.

Se puede utilizar para el jalado, una malla de acero (calcetín), en este caso se deberá tener presente que el esfuerzo de tracción se aplica directamente sobre la cubierta exterior por lo que la tensión aplicada no deberá exceder de 450kg.

En los tramos con curva, es necesario calcular la presión que ejercerá el conductor sobre las paredes de la curva, la cual no debe exceder de 446 Kg/m.

El tendido del conductor se debe supervisar con especial cuidado, ya que una mala instalación lo podría dañar, provocando fallas, ya sea en la puesta en servicio o posteriormente durante su operación, tomando en cuenta que lo que no se vea durante la instalación quedará oculto en los ductos hasta el momento de la falla.

En base a lo anterior, es importante que quien vaya a ejecutar la obra cuente con todos los elementos necesarios para realizar los trabajos adecuadamente.

2.5.1. Instalación del cable.

El cable se puede instalar manualmente o con un medio motorizado que es el malacate, a continuación se describen brevemente las dos formas para dicha instalación.

a) Instalación del cable por medio manual

Se deberá contar con todo lo indicado para este método, se colocará el carrete en el registro que por trayectoria cuente con el menor número de deflexiones, en donde, se deberán ubicar por lo menos tres personas, una en el carrete para desenrollar el cable o frenar el carrete, otra entre el registro y el carrete y una tercera dentro del registro o pozo de visita por donde entrará el cable.

Se deberán ubicar una persona en cada registro o pozo de visita por donde se va a pasar el cable y dos personas más a la salida dependiendo de la longitud del cable.

Una será la que organice la instalación, verificando y coordinando a las demás personas para que el jalado sea parejo en todo trayecto. Cada persona deberá cuidar que el cable no sufra dobleces y deberá contar con bentonita u otro lubricante especial para cableado en cada punto del trabajo.

Una vez terminado el cableado, se procederá a cortar las puntas, vigilando dejar el número de cocas necesarios y sellar las puntas perfectamente con un tapón termocontráctil, procurando dejarlas armadas en alto en tanto no se instalen los accesorios, para que en caso de lluvia no estén en contacto con el agua.

Después de la instalación del cable, es importante sellar tanto los ductos de reserva, como los que contienen cables, ya sea con selloductos o con estopa y una mezcla pobre en concreto y un impermeabilizante, para evitar que se asolven con las lluvias.

Se deberán identificar las fases o troncales si estos fueran más de uno para evitar problemas para su conexión.

b) Instalación de cable con malacate

Una vez que se cuente con todo lo mencionado anteriormente, se colocará el carrete del cable en el registro previamente escogido de acuerdo a los cálculos de tensión en el jalado. El carrete con el conductor se deberá colocar de tal forma, que al estar desenrollándose durante el tendido, no sufra más de una deflexión, antes de entrar al ducto de alojamiento.

Es recomendable el instalar el malacate un registro más delante de la terminación del tramo a cablear, teniendo cuidado de anclar perfectamente el equipo para soportar la tensión de jalado.

Si la guía de nylon que se tiene es muy delgada, deberá jalarsse con ella una guía de polipropileno de 12.7mm, para con esta jalar el cable de acero del malacate.

Si existen cambios de dirección en el tramo, es necesario instalar poleas o rodillos que permitan al cable absorber ese cambio de dirección con suavidad, manteniendo el radio de curvatura dentro del valor permisible. Para tener una idea de la curvatura permisible esta no debe ser menor al diámetro del carrete original.

En cada registro intermedio en el tramo a cablear, es necesario distribuir al personal, con el objeto de vigilar el jalado y avisar a tiempo de cualquier obstáculo que pudiera presentarse, para detener el malacate antes de que se dañe el conductor o se reviente el propio cable del malacate, también estas podrán ir lubricando en cada punto.

Se deberá colocar el dinamómetro en un lugar visible, lo mas cercano posible al malacate con el fin de medir la tensión de jalado que se esta desarrollando, destinando para ello a una persona exclusivamente a estar verificando la tensión que se aplique durante el tendido

La comunicación entre el personal del malacate y el personal ubicado en el carrete debe ser efectiva y constante mientras dure el proceso de jalado, igualmente durante todo el proceso de cableado, es necesario aplicar suficiente lubricante en el tubo flexible alimentador, así como también directamente sobre el cable a la entrada de los ductos en los registros intermedios con el fin de reducir la fricción que se presentará al momento del jalado.

Deberán de evitarse las paradas y arranques bruscos del malacate con el objeto de disminuir tensiones altas de jalado en el conductor, si por alguna razón el tendido del cable se interrumpió, se deberá de iniciar lentamente

procurando que en ningún momento la velocidad del tendido de jalado rebase los valores previamente calculados.

Al finalizar el cableado, es necesario llevar la punta del cableado lo mas alejado posible del registro, con objeto de cortar la parte que se hubiese llamado en el punto de tracción y confirmar que se tiene la suficiente longitud para la instalación de la terminal o empalme.

Por último, los cables deberán ser acomodados correctamente en la soportería previamente instalada en cada registro, cuidando que los extremos del cable queden perfectamente sellados con tapones termocontráctiles para protegerlos del ingreso de humedad, además de identificar los cables para no tener errores con su conexión.

2.6. TENSIONES DE JALADO PARA CABLES.

- a) Para tensiones de jalado de cables se deben de considerar los siguientes factores.
 - a.1. La longitud máxima de jalado que depende de la trayectoria y del tipo de cable a instalar
 - a.2. La tensión máxima permisible recomendada por lo fabricantes

- b) La forma de sujetar los cables para la instalación en ductos subterráneos se deberá efectuar de las siguientes maneras:
 - b.1. Tensión de jalado para cable con perno de tracción colocado en el conductor.

La tensión no deberá exceder el valor obtenido de la siguiente fórmula:

$$T_m = T \times n \times A$$

Donde:

T_m = Tensión máxima permisible en Kg.

T = Tensión en Kg/mm² Para el material que se trate

n = Número de conductores

A = Área de cada conductor en mm.

La tensión máxima no debe ser mayor de 2200Kg, para cables monopolares o 2700Kg para cables triples o cuádruples

b.2. Tensión de jalados con malla de acero (calcetín) sobre la cubierta obteniendo la tensión máxima de la siguiente fórmula:

$$T_m = K T (d - t)$$

Donde:

T_m = Tensión máxima sobre la cubierta Kg.

$K = 3.31$ para cables con cubierta de plomo y 2.21 para otra cubierta en mm.

T = Tensión en Kg/mm², para el material que se trate.

t = Espesor de la cubierta en mm.

D = Diámetro sobre la cubierta en mm.

Cables sin cubierta de plomo, la tensión máxima de jalado no deberá ser mayor que 0.7 en la sección transversal de la cubierta en Kg/mm² y no deberá exceder a la tensión calculada en la fórmula anterior siendo la máxima 450 Kg.

CAPITULO III

NATURALEZA Y DIFERENTES GENEROS DE FALLAS

3.1. LINEAMIENTOS BÁSICOS.

La distribución subterránea de energía se ha ido desarrollando cada vez con mayor intensidad tanto en la evolución de los materiales empleados para su construcción como en las técnicas y sistemas utilizados en su diseño.

Como cualquier sistema eléctrico, las redes subterráneas están expuestas a la ocurrencia de fallas, muchas de ellas originadas por problemas diversos, algunos de ellos distintos de los que ocurren en las redes aéreas, y cuyas consecuencias pueden crear interrupciones de un mayor tiempo o daño en las instalaciones cuando éstas o su protección no están debidamente calculadas y diseñadas.

Los principales motivos de fallas en los sistemas subterráneos que se pueden mencionar son:

- 1.- Reducción o pérdida del aislamiento debido principalmente a humedad.
- 2.- Daños físicos del aislamiento debido a esfuerzos mecánicos.
- 3.- Esfuerzos eléctricos de sobretensión a que se somete el aislamiento, provocado por voltajes transitorios.
- 4.- Envejecimiento del aislamiento, producido principalmente por sobre carga permanente o de corta duración, creado por transitorios eléctricos de corto circuito.

Cada uno de los motivos de falla expuestos, en términos generales involucran la totalidad de causas de interrupción o daños en estos sistemas y por lo tanto deben ser vigilados para evitar incurrir en ellos.

3.2. NATURALEZA DE LAS FALLAS.

En los sistemas de distribución pueden presentarse principalmente dos tipos de fallas según su naturaleza.

3.2.1. Fallas de naturaleza transitoria.

Son aquellas donde la pérdida de aislamiento de los elementos del sistema sometidos a tensión eléctrica, es momentánea, es decir, que se trata de aislamientos de tipos “recuperable”, algunos tipos de fallas transitorias incluyen contactos momentáneos con ramas de árboles, flameo por contaminación o arqueo del aislamiento por descargas atmosféricas, mezclándose en este último caso las ondas de la sobretensión de forma no sostenida con la corriente de frecuencia nominal.

Dado el corto tiempo de presencia de este fenómeno aproximadamente 3 ciclos, incluso en algunas ocasiones los dispositivos de protección contra sobrecorriente no llegan a operar dependiendo de la capacidad de auto-recuperación del aislamiento, por lo que podría establecer una “auto-liberación” de la falla sin la acción de una protección.

Otros tipos de fallas, de las cuales resultan corrientes altas a la nominal pueden ser de naturaleza transitoria si la tensión del elemento fallado es interrumpida rápidamente por la acción de un dispositivo de protección y luego restablecida después de que el aislamiento ha recuperado su capacidad dieléctrica. Tales fallas pueden resultar de descarga atmosféricas con flameo de aislamiento, contacto de aves o animales, movimiento de conductores cercanos, etc.

Este tipo de fallas no se presenta en los sistemas de distribución subterránea.

3.2.2. Fallas de naturaleza permanente.

Son aquellas donde la pérdida de aislamiento del elemento fallado es permanente, al tratarse tanto de aislamientos de tipo “no recuperable”, como de aislamientos recuperables en donde su capacidad dieléctrica es drásticamente reducida. Las fallas permanentes son aquellas que requieren reparación, mantenimiento o reposición del equipo antes de que la tensión eléctrica pueda ser restablecida en el punto de falla. Su ocurrencia generalmente origina una pérdida irreversible del aislamiento cuando éste es del tipo “no recuperable”, si se trata de aislamientos de tipos “recuperables”, tales como el aire, la pérdida del aislamiento es debida a contacto de elementos conductores, ya sea entre ellos o a tierra, provocados normalmente como consecuencia de fallas mecánicas o estructurales.

3.3. FALLAS POR DEFECTOS DE LOS CABLES SUBTERRANEOS.

Las líneas eléctricas subterráneas pueden sufrir averías que resultan en su momentánea puesta fuera de servicio. En la mayoría de los casos, estas averías no pueden localizarse rápidamente, al contrario de lo que sucede en las líneas aéreas; generalmente, lo único que puede constatarse es que la línea no puede ponerse otra vez bajo tensión. Por lo tanto, es preciso investigar el emplazamiento del defecto lo más rápidamente posible, para efectuar la correspondiente operación.

La investigación de un defecto en una línea subterránea de varios kilómetros de longitud, plantea un problema que debe resolverse. Este problema se complica aún más porque los defectos pueden ser de naturaleza diferente a cada tipo de avería en la línea.

Por lo tanto, interesa determinar, en primer lugar, la naturaleza del defecto; después, investigar su emplazamiento, utilizando los procedimientos de localización propios para cada clase de defecto.

3.3.1 Clases de defectos que pueden presentarse en los cables subterráneos.

Según su emplazamiento, los defectos de los cables subterráneos pueden dividirse en dos clases:

- a) Defectos en pleno cable
- b) Defectos en los elementos de instalación (cuerpos de empalme, de derivación, etc.)

Los defectos en pleno cable pueden proceder de una causa exterior que provoque la rotura de la cubierta de plomo. Entonces, la humedad penetra en el cable por el sitio afectado y llega hasta las capas de papel aislante, al cabo de un tiempo más o menos largo. El aislamiento disminuye, y cuando, resulta insuficiente, se produce un encebamiento entre la envoltura de plomo y uno o más de los conductores. Las causas que pueden provocar la rotura de la cubierta de plomo son las siguientes:

- 1.- El rozamiento del cable sobre una parte dura (por ejemplo, entrada en una tubería) que desgasta la cubierta exterior y la envoltura de plomo. El rozamiento puede estar provocado por vibraciones, como sucede en el caso de un cruce de cable bajo una vía férrea o una carretera.
- 2.- La cristalización del plomo a consecuencia de vibraciones. Por ejemplo, si la canalización atraviesa un puente, un viaducto, etc.
- 3.- La electrólisis del plomo producida por las corrientes errantes que atraviesan la cubierta de plomo del cable. Se produce un desprendimiento del metal en el sitio donde las corrientes parásitas abandonan la envoltura de plomo.

Por lo tanto, en estos dos casos tendremos defectos por puesta a tierra de uno o más conductores.

Los defectos en pleno cable también pueden proceder de una causa interior. Por ejemplo, en caso de ionización, de las bolsas de aire creadas en algunos cables subterráneos en su elaboración. Esta ionización provoca

una carbonización lenta de los aislamientos (arborescencias), y finalmente su destrucción a esto se le conoce como descargas parciales.^[1] También una mala colocación puede deformar el cable o provocar un principio de ruptura de los aislamientos lo que, a la larga, puede ser una causa de defecto.

Los defectos provocados por una causa interior, generalmente se presentarán bajo la forma de un cortocircuito entre conductores o entre conductores y plomo. Si la potencia desarrollada en el cortocircuito es importante y cuando los conductores son de pequeña sección, algunas veces se puede producir la fusión de éstos sobre cierta longitud.

Cuando se trata de cables apantallados o triplomo, las rupturas de aislamiento provocan obligatoriamente la puesta a tierra de los conductores ya que éstos están rodeados de una envoltura metálica puesta a tierra.

Los defectos en los elementos de instalación (cuerpos de empalme, de derivación y terminales) constituyen la gran mayoría de las averías de las canalizaciones subterráneas.

Se pueden presentar bajo diversas formas: cortocircuito entre conductores con o sin puesta a tierra, ruptura de continuidad, cortocircuitos intermitentes, etc.

Algunos de estos defectos se manifiestan solamente por encima de un cierto valor de la tensión; para una tensión inferior a esta tensión crítica, la canalización presenta las características de un cable sano. Generalmente, este defecto procede de una bolsa de aire que puede existir entre dos empalmes o un empalme y el cuerpo del empalme, entre los cuales, debido a la ionización del aire ocluido, puede saltar un arco cuando la tensión alcanza cierto valor. Esta bolsa de aire puede haberse producido durante el llenado del cuerpo con pasta aislante, a causa de una defectuosa evacuación del aire o por un enfriamiento demasiado brusco, o finalmente,

por un llenado insuficiente con pasta aislante. Por último puede suceder que, después de un primer defecto, se refrigere la materia aislante, reconstituyendo un aislamiento suficiente para hacer desaparecer el defecto; en este caso, el cable puede ponerse bajo tensión al cabo de cierto tiempo.

3.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS FALLAS.

En instalaciones subterráneas diseñadas con cables de energía, se puede presentar los siguientes tipos de falla:

- a) Falla de fase a tierra (B.T)
- b) Falla de conductor abierto (A.T y B.T)
- c) Falla de alta resistencia de contacto en el conductor (A.T y B.T)
- d) Falla entre fases (A.T y B.T)
- e) Falla de fase abierta y a tierra (B.T)

El tipo de falla más común, y aquel que variaría sus características mayormente es la falla de fase a tierra en baja tensión. Los otros tipos de falla aunque también pueden presentarse, son menos frecuentes.

Desde el punto de vista eléctrico que nos servirá como base para considerar los principios en la localización de fallas, se presenta a continuación el diagrama típico de una falla. Figura 3.4



Figura 3.4. Diagrama típico de una falla

En donde:

R = Resistencia ohmica de la falla, que podría ser entre cero y valores casi infinitos. Sabiendo que la resistencia eléctrica es la oposición al paso de la corriente en un conductor y se mide en ohmios que es la unidad que se utiliza para medir la resistencia.

G = Espacio entre conductor y tierra o pantalla (GAP), que puede variar de cero hasta una distancia más grande que el grueso original del aislamiento esto se modela como un capacitor actuando los conductores y pantallas como sus placas, mas o menos separadas.

Este espaciamiento (GAP) en el momento que se presenta una falla, se puede llenar con gas, agua o aceite. Los resultados que se obtengan en la localización de la falla, dependerán de la facilidad con que se rompa este GAP, y se pueda conducir una corriente eléctrica, donde por ejemplo, se podría provocar un arqueo mediante una onda de impulso determinando el valor de tensión requerido, utilizando un equipo de alta tensión de C.D.

3.4.1. Representación esquemática de las fallas.

Con los datos obtenidos en las medidas de resistencia de aislamiento y de continuidad, se puede establecer la representación esquemática de la falla.

Se representan los conductores y la cubierta de plomo según una vista longitudinal y se indican las resistencias de aislamiento anormales entre los conductores o entre los conductores y la cubierta de plomo. También se representan, si es necesario, los cortes de conductores y los aislamientos a una y otra parte del corte.

A cada extremo del cable así esquematizado se dibuja un corte esquemático del cable y las resistencias de aislamiento anormales medidas en estos extremos. Constituida de esta forma la representación esquemática del defecto, se pueden elegir los procedimientos de localización más apropiados.

La figura 3.4.1. representa esquemáticamente algunos de los defectos que se presentan más frecuentemente en los cables subterráneos. Los números de esta figura expresan:

- 1.- conductores en cortocircuito y a tierra.
- 2.- conductores en cortocircuito.
- 3.- conductores en cortocircuito y a tierra.
- 4.- conductor cortado y a tierra.
- 5.- conductores cortados, en cortocircuito y a tierra.

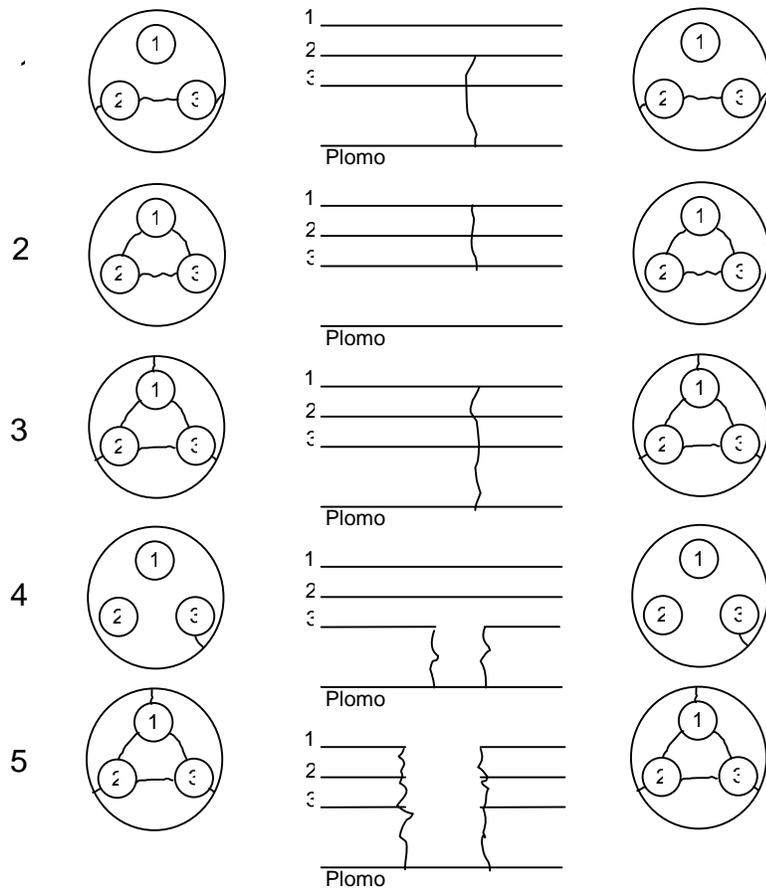


Figura 3.4.1. Esquemas elementales de algunos defectos que se presentan en cables subterráneos. (1) conductores en cortocircuito y a tierra. (2) conductores en cortocircuito. (3) conductores en cortocircuito y a tierra. (4) conductor cortado y a tierra. (5) conductores cortados, en cortocircuito y a tierra.

3.5. CAUSAS DE FALLAS.

Un sistema eléctrico a prueba de fallas no es económico, Los sistemas eléctricos modernos que como práctica son construidos con altos niveles de aislamiento, tienen suficiente flexibilidad para que uno o más de sus componentes puedan estar fuera de operación afectando en forma mínima la continuidad del servicio. Adicionalmente a las deficiencias de aislamiento,

las fallas pueden ser resultados de problemas eléctricos, mecánicos y térmicos o de cualquier combinación de éstos.

Para asegurar una adecuada protección, las condiciones existentes en un sistema durante la ocurrencia de diversos tipos de fallas deben ser comprendidas claramente. Estas condiciones anormales proporcionan los medios de discriminación para la operación de los dispositivos de protección.

3.5.1. Causas que motivan falla en cables subterráneos.

A continuación se dará una lista de las causas que pueden motivar la falla en un cable subterráneo.

1. Piquete mecánico.- Generalmente al efectuarse obras de urbanización se practican excavaciones, es muy común que un operario por confusión o descuido dañe el cable, produciéndose indirectamente o después de algún tiempo su falla.
2. Corrosión química.- La presencia de determinados ácidos o álcalis o de sustancias que combinadas, pueden atacar las cubiertas de plomo y perforarlas.
3. Incrustación de pantalla metálica.- Esta se produce al almacenar los carretes inadecuadamente, por lo que es necesario alinear los carretes durante su almacenamiento para evitar que se golpeen unos con otros al rodar, se recomienda no apoyarse contra el cable cuando rueda los carretes, evite cualquier tipo de impacto o sobrepeso contra el carrete.
4. Cristalización.- El continuo movimiento del cable dentro del ducto, debido a las dilataciones y contracciones de éste a consecuencia de su régimen de carga, terminan por orientar las moléculas del forro de plomo, agrietándose éste en longitudes considerables.

5. Razonamiento o ralladuras.- La falta de cuidado en el tiraje, la suciedad en los ductos o la falta de precaución en lugares filosos, producen incisiones o cortaduras de las cubiertas de plomo.
6. Asentamientos del subsuelo.- Esto es muy frecuente en la Ciudad de México, por tanta construcción actual y tan poco compacto al terreno, produce restiramientos en las cubiertas de plomo, que llegan a reventarse, produciéndose ahí una degolladura.
7. Tierrazos.- Los fenómenos transitorios debidos a cortocircuitos, fallas a tierra, aperturas bruscas (maniobras), etc., producen corrientes residuales que fluyen por las cubiertas de plomo, elevándose en ocasiones el potencial de una cubierta respecto a las otras, de ahí que en lugares donde una cubierta con potencial toca o pasa cerca de otra o de una estructura que propicie una diferencia de potencial adecuado a la descarga, éste se produce formando el “tierrazo”, que perfora las cubiertas de plomo.
8. Introducción de agua o humedad.- Algunos de los fenómenos anteriores, dan lugar a la introducción de agua o humedad en el cable que trae siempre como resultado, la falla inmediata por agua o humedad en el cable, al hacer descuidadamente la confección de una junta o derivación, por ejemplo, el mal empacado permite vías de agua o humedad, que repercuten invariablemente en la falla del cable en ese lugar.
9. Sobrecargas.- Un cable que trabaja todo el tiempo sobrecargado, llega a quemarse su aislamiento, perdiendo sus cualidades dieléctricas y provocando su falla.

10. Falsas maniobras.- Una falsa maniobra en la operación puede dar lugar a producir un cortocircuito que retueste por completo los aislamientos del cable.
11. Flujo de aceite en la posición vertical.- En un cable dispuesto verticalmente, es forzoso que el aceite por gravedad, fluya a las partes bajas del cable, dejando en la parte superior un vacío que favorece notablemente la ionización del cable y por consiguiente su falla.
12. Vejez.- Con el tiempo el resecamiento de los aislamientos de un cable, da lugar sin duda a la formación del fenómeno de ionización, que aumenta sus pérdidas.
13. Defecto de fabricación.- También un defecto en el encintado, impregnación o en la aplicación de la cubierta de plomo, puede dar lugar a ionización, vías de humedad posteriores que haga fallar el cable.
14. Defectos de manipulación.- Manos sucias o sudorosas, reventado de aislamientos al forzarlos en curvaturas, o pocas precauciones al confeccionar una junta, una terminal, traen irremisiblemente la falla.
15. Roída de rata.- La rata no come el plomo de los cables, pero le gusta afilarse los dientes en él, de ahí que resulten a veces incisiones bastante considerables.

16. Incendio exterior.- En un siniestro, se eleva tanto la temperatura exterior, que llega a fundirse el plomo del cable y a quemarse los aislamientos.

De las explicaciones anteriores, se deduce fácilmente cuáles son los puntos vulnerables en las instalaciones subterráneas:

Juntas, derivaciones, terminales, pozo de visita, instalaciones de tranvías, cruce de vías de ferrocarril, lugares salitrosos, obras públicas en construcción, aglomeraciones de cables en galerías, etc.

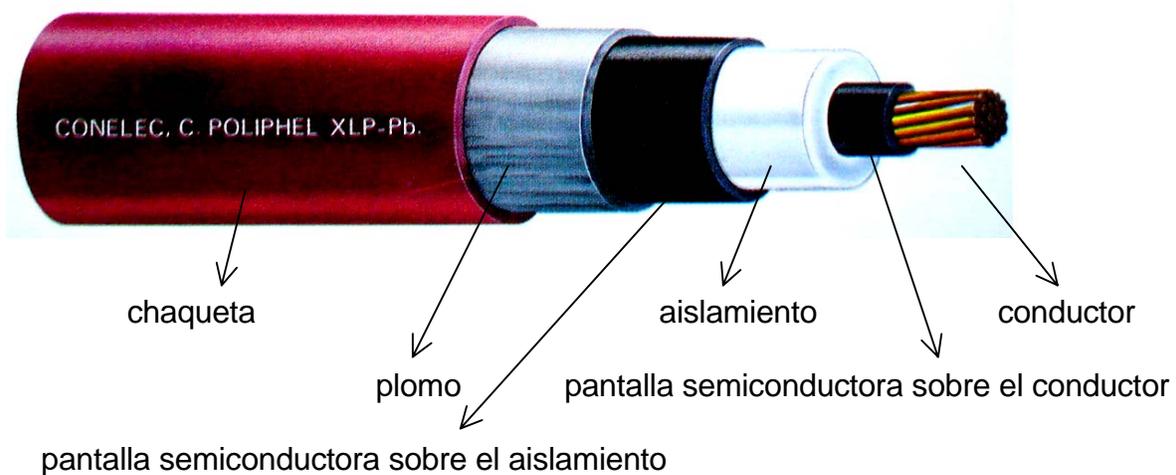


Figura 3.5.1.a Conductor de Cobre suave cableado clase B compacto o compacto, pantalla semiconductora extruída sobre el conductor, aislamiento extruído de Polietileno de cadena cruzada (XLP) pantalla semiconductora extruída sobre aislamiento fácilmente desprendible, pantalla metálica a base de plomo y cubierta exterior de Policloruro de vinilo (PVC). La Pantalla de Plomo provee hermeticidad al cable además de ser resistente a humedad, alcalisis, ácidos y agentes químicos.

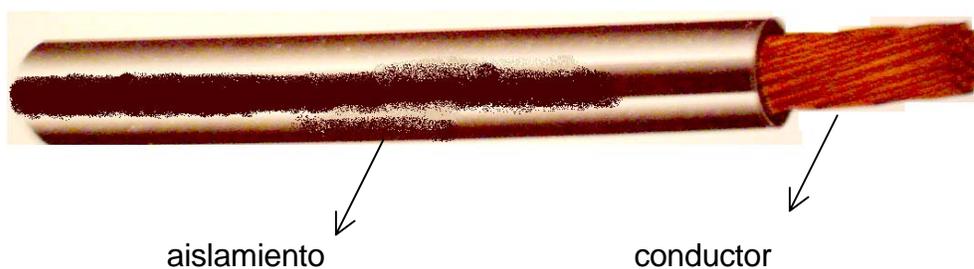
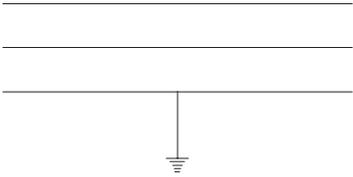
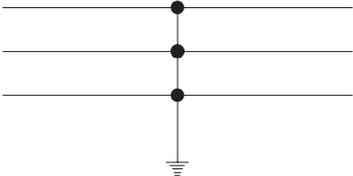
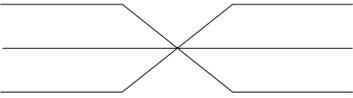
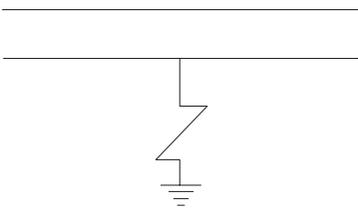
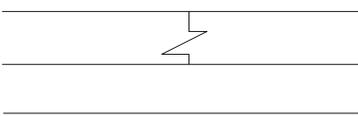
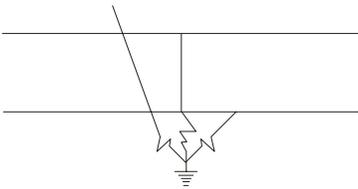
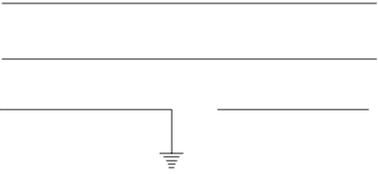
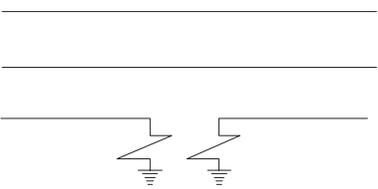
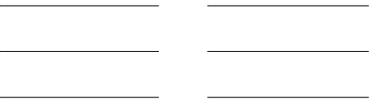


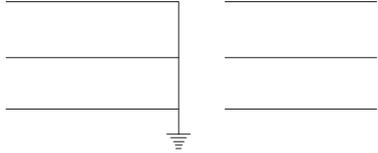
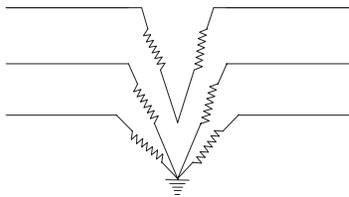
Figura 3.5.1.b Conductor de Cobre semiduro o duro, pantalla semiconductora extruída sobre el conductor, aislamiento de polietileno de cadena cruzada(BTC).

3.6. TIPOS DE FALLAS Y METODOLOGIA A SEGUIR.

TIPOS DE FALLAS	MÉTODOS A SEGUIR
<p>Falla Franca Fase - Tierra</p> 	<p>Ensayo Murray, utilizando la cubierta de plomo como regreso de Tierra. El generador de ondas estacionarias</p>
<p>Cortocircuito Franco entre Fase</p> 	<p>Ensayo Murray, utilizando un conductor averiado como regreso de Tierra. El generador de ondas estacionarias</p>
<p>Falla Franca tres Fases a Tierra</p> 	<p>Ensayo Fischer y el generador de ondas estacionarias</p>
<p>Cortocircuito Franco Triple</p> 	<p>Ensayo Fischer y el generador de ondas estacionarias</p>

TIPOS DE FALLAS	MÉTODOS A SEGUIR
<p>Falla resistente fase - tierra</p> 	<p>Intento de franqueo, ensayo Murray.</p>
<p>Cortocircuito resistente</p> 	<p>Intento de franqueo ensayo Murray, El generador de ondas estacionarias.</p>
<p>Falla triple resistente a tierra</p> 	<p>Intentar el franqueo, si se logra aplicar el generador de ondas estacionarias.</p>
<p>Conductor trozado</p> 	<p>Ensayo con el puente de capacitancia, comparar la capacidad del cable sano con la del cable defectuoso. El generador de ondas estacionarias.</p>

TIPOS DE FALLAS	MÉTODOS A SEGUIR
<p>Conductor trozado pero unido con una resistencia (Carbón)</p> 	<p>Ensayar, despegarlo con dos o tres ondas de impulso, después aplicar el puente de capacitancia. El generador de ondas estacionarias.</p>
<p>Conductor trozado y puesto a tierra resistente a los dos lados</p> 	<p>Ensayo del puente de capacitancia por el lado aislado del conductor. El generador de ondas estacionarias.</p>
<p>Conductor trozado y puesto a tierra resistente a los dos lados</p> 	<p>Ensayar, despegarlo con tres impulsos, luego el puente de capacitancias. Franqueo a dos extremos y la medición del generador de ondas estacionarias.</p>
<p>Los tres conductores trozados</p> 	<p>Con el puente de capacitancias, medir las capacitancias parciales y proporcionar longitudes con la suma de las parcialidades y la longitud total. El generador de ondas estacionarias.</p>

TIPOS DE FALLAS	MÉTODOS A SEGUIR
<p data-bbox="261 386 760 443">Los tres conductores trozados y puestos a tierra con un solo extremo</p> 	<p data-bbox="826 390 1308 516">Con el puente de capacitancias por el extremo aislado. El generador de ondas estacionarias desde cualquier extremo.</p>
<p data-bbox="261 758 769 814">Los tres conductores trozados y resistentes a tierra por los dos lados</p> 	<p data-bbox="826 762 1349 825">Intento riguroso de franqueo para aplicar el generador de ondas estacionarias.</p>

Aún quedan un sin número de tipos diferentes de fallas, que resultan aún de la combinación de los casos anteriores.

A continuación se mencionarán algunas pistas o señales que haga suponer la presencia de la falla:

- a) Olor a cable quemado en la boca de los ductos o en la tierra de excavación, puede acusar la presencia de la falla por ahí cerca.
- b) El tizne en las paredes del pozo de visita, en la boca de los ductos o en la tierra de excavación. Sólo debe tomarse el buen cuidado de limpiar el tizne una vez terminado el trabajo, para que no se convierta en un engaño en la próxima localización.

- c) La presencia de humo en un pozo de visita, no da lugar a dudas de que ahí se encuentra la falla.
- d) Cuando un pozo de visita está inundado de agua, quedando los cables ahogados, la presencia del agua, pone también de manifiesto la existencia de una falla en algunos de esos cables.

3.7. DEDUCCIONES TÉCNICAS.

De los resultados de los análisis del tipo de fallas y del conocimiento de las condiciones y trazado de las canalizaciones subterráneas, se puede deducir de manera aproximada, si la falla se encuentra en lugar seco o húmedo, de acuerdo con el valor de la resistencia de falla inicial, si la falla está cerca o lejos de la subestación principal, de acuerdo con las banderas del detector de fallas que tiró o algunas otras especulaciones.

Para que el técnico lleve a cabo con acierto su localización, conviene entre otras cosas, que siga al pie de la letra el reporte enunciado mas adelante en el capítulo 4.3 y que no tiene más objeto que el de repasarle en la memoria lo que debe hacer y por otro lado, este reporte puede archivar para que sirva de experiencia en localizaciones futuras.

CAPÍTULO IV

LOCALIZACION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS DE MEDIA TENSION Y BAJA TENSION

4.1. LOCALIZACIÓN DE FALLAS

La localización de fallas, es más un arte que una ciencia, pero la experiencia y habilidad que se requiere debe complementarse con métodos y técnicas que requieren de un buen conocimiento de fenómenos eléctricos.

- a) No existe método para la localización de fallas que se pueda aplicar a todo tipo de fallas de cualquier sistema de cables ni a un solo tipo de falla ocurriendo en varios cables
- b) El éxito que se tenga en la localización de la falla, depende por lo general del método que se seleccione, combinado con la experiencia de campo que se tenga.
- c) Podría justificarse algún método específico solamente, cuando se tenga un alto promedio de éxitos bajo condiciones muy variadas de campo y falla.

4.1.1. Procedimiento general para la localización de fallas

Para localizar una falla se debe de seguir el siguiente procedimiento:

- a) Desenergizar completamente el circuito.- Se hace necesario desenergizar el circuito si el sistema es trifásico o sólo la fase fallada si el sistema es monofásico, teniendo la precaución en este último de que no existe algún transformador trifásico conectado con configuración Delta-Estrella, que pudiera provocar retorno.
- b) Probar ausencia de tensión.- No se deberá efectuar ninguna maniobra sin antes verificar ausencia de tensión en las terminales de ambos lados del tramo fallado.
- c) Desconectar y aislar las terminales.- Una vez que se confirmó que no hay tensión y aterrizada la línea, se procede a desconectar las terminales para aislar el tramo fallado, dejándolas desconectadas hasta que se decida que método se va utilizar en la localización de la falla, efectuando previamente las maniobras necesarias para alimentar la mayor carga posible por medio de otro circuito.
- d) Determinar o caracterizar el tipo de falla mediante un Megger de aislamiento. Con esta prueba preliminar se da una idea del tipo de falla presentada, si es franca o de alta resistencia.
- e) Localización aproximada de la falla. Una vez que se confirma que la falla existe en el tramo desconectado con la utilización del Megger de Aislamiento, se procede a la localización exacta de la falla con los métodos que se verán más adelante.
- f) Localización exacta de la falla. Posteriormente a la localización de la falla en forma aproximada, se continúa con la localización exacta de la misma, si el conductor está directamente enterrado, o bien que sea submarino, en caso de que el tramo fallado este alojado en ductos, se deberá sacar el tramo fallado recorriendo el cable hasta el registro más próximo.
- g) Reparación de la falla. Por último, se procede a la reparación de la falla con los métodos existentes, de los diferentes tipos y clases de empalmes utilizados para este fin.

4.1.2. Métodos de localización

- a) Método de Terminal.- Es aquel en que las pruebas efectuadas para la determinación de la falla se hace a una o más de las terminales del cable. Este método únicamente nos determina si existe falla o no.

- b) Método de Rastreo.- Es el método en el que una señal eléctrica es aplicable al cable en una de las terminales, siendo rastreada esta señal a lo largo del cable con un detector usado como sensor, hasta llegar al punto exacto de la falla.

Antes de describir cada uno de los métodos utilizados en la localización de fallas se hará un análisis de éstas, con el objeto de formarse un concepto de cada una de ellas.

En el caso de sistemas subterráneos con neutro aterrizado, una falla entre conductor y tierra debe causar el disparo del interruptor correspondiente al activarse el relevador de sobre corriente. Los sistemas no aterrizados presentan un problema diferente, ya que en caso de presentarse una falla de fase a tierra, ésta puede pasar desapercibida a menos que se instalen detectores, de tierra, hasta que una segunda falla a tierra de otra fase se presente. Es por esto que este último sistema no debe de diseñarse.

Se han presentado fallas en las cuales una corriente de corto circuito resultante de una falla, hace desaparecer el defecto, en el sentido de que la "R" como se muestra en la figura 4.1.2., puede ser lo suficientemente grande de tal forma que permita la continuación de la operación. Esto es que una prueba de resistencia de aislamiento a bajo voltaje, pudiera no indicar claramente que la falla todavía existe.

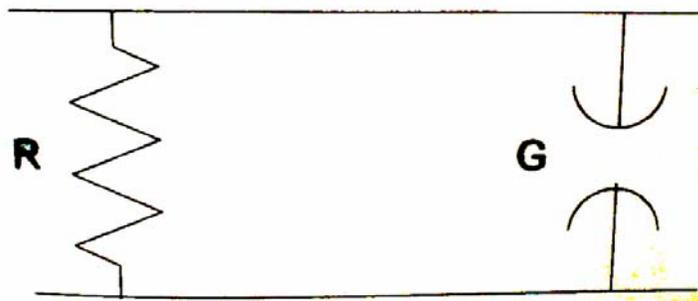


Figura 4.1.2 Diagrama típico de una falla

Debido a que siempre existe la posibilidad de que la falla inicial a tierra abra el conductor al quemarlo, la prueba de resistencia de aislamiento deberá hacerse ya sea desde ambos extremos del cable, o probarse desde el extremo más cercano repitiendo con el extremo más lejano “aterrizado”.

Aún así una prueba de resistencia de aislamiento a bajo voltaje puede no ser convincente, en cuyo caso deberá hacerse una prueba de resistencia de aislamiento a alto voltaje o una prueba de resistencia de muy alto voltaje.

Si el método de localización de la falla que se utilice, puede aplicar un voltaje en la abertura (GAP) de la falla de suficiente magnitud, para que se produzca un arco y además se produzca una señal utilizable, la magnitud de la “R” carecerá de importancia. En caso contrario, si no se logra producir el arco, la “R” de la falla resulta muy importante para que el método utilizado tenga éxito.

En algunos casos puede ser necesario reducir la magnitud de la “R”, para que ciertos métodos resulten utilizables. Esto se conoce como “Reducción de la Falla”.

Por lo antes expuesto en el análisis de las fallas, antes de discutir cualquier método, habrá que averiguar primero si las fallas se pueden reducir a niveles que hagan posible la aplicación de los métodos con éxito. Esta reducción, de la falla puede requerir de mucho tiempo y de un equipo costoso, no siendo siempre una operación sencilla. Por consecuencia se prefiere no reducir la “R” más allá de lo absolutamente necesario.

Es conveniente observar que en muchas ocasiones al aplicar un voltaje inicial para reducir la “R” o bien para localizar la falla, la “R” se incrementa.

Esto puede pasar si el voltaje de prueba es demasiado alto y la energía disponible es también lo suficientemente grande para liberar la falla.

La reducción de la falla requiere de una liberación relativamente lenta de calor en la falla para carbonizar las superficies o paredes, reduciendo así la “R”. Esto es que a veces se requiere una cantidad considerable de energía que se usará durante algún tiempo considerable.

Algunas veces se ha recurrido a la energización de los circuitos, a fin de reducir la “R”, o bien para tratar de abrir el circuito en el punto de falla.

Como ejemplo, en el caso de instalaciones pequeñas, particularmente en las industrias privadas se colocan trabajadores a lo largo de la instalación y se le hace una prueba de energizar el circuito para detectar las señales de la falla. En el caso de cables aéreos, este método facilita la rápida localización de la falla, careciendo en tal caso de importancia la “R”.

Hay objeciones sin embargo, a este procedimiento, en particular en el caso de construcción de líneas en ductos.

- 1.- El recierre sobre una falla puede agregar choques o esfuerzos adicionales en el sistema, trátase de cables aéreos o subterráneos.
- 2.- Existe la posibilidad de que se produzcan explosiones o incendios en los registros que no hayan ocurrido en primera instancia, como consecuencia de gases acumulados.
- 3.- La causa de la falla puede desaparecer, eliminando la posibilidad de su identificación.
- 4.- La resistencia de la falla puede aumentar debido a los efectos explosivos del segundo choque.

Antes de pasar ya a los métodos de localización de fallas, no deberá olvidarse, que la distancia hasta la falla es nuestra preocupación primordial y no la longitud total del cable. Es importante recordar también que la distancia hasta la falla es la incógnita en nuestro problema, y que lo que puede ser una distancia corta desde un extremo del cable puede ser una distancia muy larga desde el otro extremo.

Método de Terminal.

Este método consiste en instalar un equipo en uno de los extremos del cable dañado para obtener en forma aproximada la distancia de esa terminal al punto de falla.

Los equipos utilizados en este método son:

Megger de Aislamiento

Este equipo no es un localizador de fallas, es un medidor de resistencia ohmica que puede ser utilizado para caracterizar o determinar el tipo de falla.

En algunos casos, con la medición de la resistencia entre conductor y pantalla, dos conductores o conductor y tierra pueden definirse las características de las fallas, especialmente las de baja resistencia.

Radar

Este método es una técnica desarrollada en Canadá hace aproximadamente 40 años en las líneas de transmisión aéreas.

Básicamente radica en transmitir un pulso por el cable y cuando el mismo llega a una discontinuidad o falla se produce una reflexión peculiar del tipo de falla.

Conociendo la velocidad de propagación del pulso, la distancia a la falla se determinará fácilmente.

El equipo de prueba usado para hacer las mediciones, es esencialmente un generador de pulsos y un osciloscopio de rayos catódicos.

El oscilamiento puede ser complementado con un contador de frecuencia o un contador de tiempo – intervalos.

Este método es conocido por varios nombres:

- Megger Pulso – Reflexión
- Método Pulso – Eco
- Método de Radar
- Reflectometría

Como se mencionó antes, con el radar se puede localizar en forma aproximada una falla mediante la aplicación de un pulso, el cual se propaga a lo largo de un cable y se refleja al encontrar una discontinuidad tal como: un conductor abierto, a tierra, en corto circuito, empalmes, derivaciones, etc.

El tipo de onda reflejada, indicará en un osciloscopio el tipo de falla y el tiempo utilizado por la onda para reflejarse, se traduce en la distancia que hay desde la terminal en donde se conecta el radar y el punto de falla.

Coeficiente de velocidad de propagación (V.P.C.)

MATERIAL	V.P.C.	VELOCIDAD DE LA LUZ
Vacío	1,000	100
Papel Y Plomo (PILC)	0.500 – 0.560	50 – 56
Polietileno Vulcanizado (XLPE)	0.520 – 0.580	52 – 58
Etileno Propileno (EPR)	0.450	45
Polietileno Alto Peso Molecular (HMW)	0.560 – 0.620	56 - 62

Utilización:

El radar puede ser utilizado para localizar los siguientes tipos de falla: conductores abiertos, fallas de fase a tierra y cortos circuitos de dos conductores en cables de media y alta tensión con pantallas de cintas o alambres de cobre y cables con neutro concéntrico, instalados en ducto,

directamente enterrados, submarinos o en tubería de acero, siempre y cuando la resistencia de la falla sea inferior a 500 ohms.

Este método tiene algunas limitaciones en su aplicación, las que a continuación se mencionan:

1.- El pulso generado pasará a través de una falla de alta resistencia a tierra sin reflexión, a menos que el voltaje del pulso sea suficientemente alto y de suficiente duración para originar una corriente de falla significativa. En equipos comerciales este caso es raro, ya que el pulso generado es normalmente inferior a 200 volts pico.

2.- Si la resistencia de falla está muy por encima de la impedancia característica del cable (más de 50 ohms) puede ocurrir una reflexión no identificable a menos que el voltaje de pulso reduzca la impedancia de la falla

3.- Otra limitación es que el pulso generado en una línea de transmisión se reflejará para cualquier tipo de discontinuidad, ya sea que se trate de derivaciones, circuitos secundarios, cambios en la medida del conductor, cortes, transformadores conectados, cambios en el material aislante y otras inconsistencias. Estos tipos de reflexiones pueden causar confusión y ocultar la reflexión que está buscando.

4.- Puede haber interferencias del exterior, tales como un voltaje inducido, a 60 Hz, aunque casi todos los instrumentos comerciales tienen un filtraje para Evitarlos.

5.- La distancia a la falla tiene que ver con los resultados de las medidas. Si la distancia es excesivamente larga y el aislamiento es muy reducido la señal, reflejada, será excesivamente pequeña y aplanada en forma tal que será muy difícil detectarla.

6.- Hay que recordar que ésta es una medida “Terminal” y por lo tanto la exactitud está basada en el rango y la exactitud del mismo instrumento. La mayoría de estos equipos pueden medir con precisiones en el rango de 1 a 1%. Por ejemplo para 1,000 pies de distancia, se tendría una tolerancia de +/-10 pies. Este no es el caso de los métodos “Rastreadores”, donde se puede localizar con toda exactitud la falla.

Ventajas:

1.- Casi todos los equipos son ligeros y portátiles, y pueden trabajar con alimentaciones de baja tensión de corriente alterna o mediante baterías internas recargables.

2.- Pueden utilizarse en combinación con otros dispositivos, como los generadores de impulso y detectores. Algunos equipos encontrarán la falla con radar aproximando su localización, después producirán impulsos directamente al área localizada y “escucharán” cuando se produzca el arqueo o desaparición de la falla

3.- El equipo de radar como instrumento terminal es de los más exactos y no es desusual estar entre 10 a 20 pies de la falla en medidas de 1,000 a 3,000 pies.

Puente de Murray de alta resistencia

Antecedentes:

A pesar de ser uno de los primeros Métodos desarrollados para la localización de fallas, el método de “Malla o Puente”, es aplicado todavía con mucha frecuencia. Desde que se diseñó por primera vez este método ha sido mejorado tanto en su aplicación como en su instrumentación, a tal grado que se continúa aplicando con un alto grado de éxitos.

Descripción:

El instrumento mostrado en la figura 4.1.2.a, es una versión del así llamado “Puente de Murray”, en la forma que se usa para cables de energía en distribución. Puede usarse para determinar la distancia de una terminal a una falla de fase a fase, de fase a tierra, en cables de potencia, control y calefacción. El instrumento tiene terminales para puntas de prueba para el cable y para una batería de alimentación externa. Las principales características son un detector del cero y un botón de control continuo con un cuadrante que se usa para ajustar el puente a cero a fin de tomar una medida que se leerá en el cuadrante. Cuando el puente se opera y conecta apropiadamente la distancia a la falla se podrá determinar fácilmente por medio de la siguiente ecuación:

$$L_x = 2Ly$$

Donde:

L_x = Distancia de la falla

L = Longitud del cable

Y = Lectura del aparato (relación de la posición del contacto deslizable del puente al llegar al equilibrio, según y como se lee en el cuadrante o contador)

El puente utilizado trabaja de acuerdo con el diagrama mostrado en la figura 4.1.2a

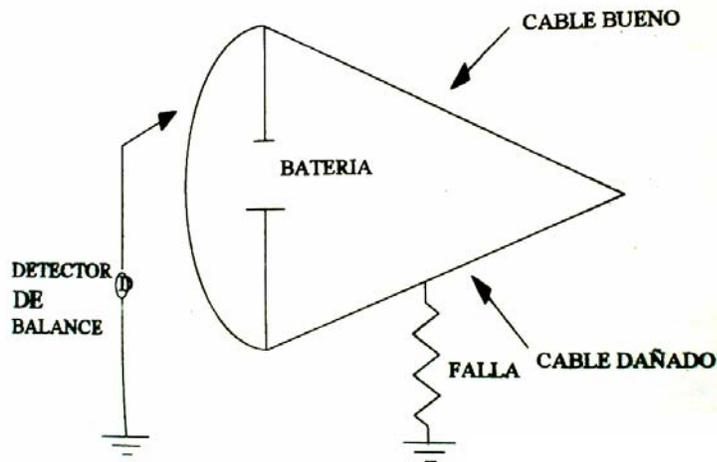


Figura 4.1.2 a. Puente de Murray

Este equipo puede localizar fallas con un rango de resistencias de 0 a 200 Mhoms.

Aplicación:

El Puente de Murray,^[1] se aplica específicamente para fallas a tierra caracterizadas por una marcada reducción en la resistencia de aislamiento comparada con la de un conductor sano.

Debido a la naturaleza de este método se puede aplicar fácilmente donde haya un conductor paralelo de la misma medida para formar un regreso en el circuito. Si no existe conductor de regreso disponible, es necesario instalar temporalmente un conductor exterior para cerrar el circuito.

Una de las ventajas del puente es que es prácticamente independiente de la resistencia del cable, por lo que no es necesario conocer sus características ni tampoco obtener una calibración.

Comparado con otros métodos terminales es efectivo en fallas de resistencia relativamente alta sin necesidad de recurrir a costosos intentos preliminares para hacer desaparecer la falla con descargas de energía.

Desventajas:

Las objeciones al Puente de Murray, están basadas en ciertas críticas que a continuación se enuncian:

- a) Es inefectivo en fallas de alta resistencia típicas en cables de potencia, pero como ya se indicó, esta limitación se ha desechado con el uso de puentes de alto voltaje y con detectores electrónicos. Desde este punto de vista el puente es el más efectivo de los métodos terminales.
- b) Requiere de entrenamiento especial.- ciertamente, pero esto es aplicable a cualquier método de localización de fallas si se desea alcanzar una alta eficiencia. Por otra parte, requiere menos habilidad y tiene un porcentaje más alto de éxitos que los otros métodos terminales.
- c) Consume mucho tiempo en su aplicación, efectivamente, pero frecuentemente consume menos tiempo que los otros métodos terminales y su uso en realidad ahorra tiempo cuando se utiliza en el proceso de "Tres pasos", para localizar una falla antes de utilizar un método de rastreo.
- d) No es tan exacto como otros métodos, pero sólo comparándose con los métodos de rastreo.
- e) Es más difícil en circuitos derivados que en circuitos directos. Ciertamente, pero lo mismo sucede con cualquier método, ya sea de rastreo o terminal, ahorrándose en cambio tiempo cuando se usa como método de aproximación.

Entre los métodos terminales este método es el más exacto, pues cualquiera de ellos está limitado por la exactitud de la longitud conocida del cable usado para calcular la distancia.

Método de Rastreo.- en este método de rastreo se requiere el acoplar o estar en contacto con el cable a lo largo de toda su longitud, un emisor de ondas, para el envío de señales a diferentes frecuencias, que pueden ser a intervalos cortos, a intervalos espaciados o a sonido continuo.

De tal forma que sea fácil distinguirlo de otros ruidos propios del subsuelo, mediante el uso de receptores.

Los equipos utilizados en este método son:

- Generador de tono o trazador de ruta
- Generador de impulso

Método del generador de tono o trazador de ruta.- Uno de los primeros generadores de tono desarrollados, fue el Pájaro Carpintero de Mathews, que era un simple zumbador de puerta que envía una señal eléctrica de audio-frecuencia intermitente y una bobina de recepción con audífonos para seguir la señal hasta la falla.

Los equipos actuales son muchos más sofisticados, pero están sujetos a la misma limitación, o sea que la resistencia de falla debe ser casi cero, esto es, que este método se aplicará eficientemente si se tiene equipo para reducir la resistencia de falla a un nivel muy bajo (quemador), particularmente cuando se trate de circuitos de bajo voltaje que no tengan protección metálica.

Estos equipos son actualmente ofrecidos básicamente para encontrar la ruta del cable, más que para localizar fallas.

La audio-frecuencia que se utiliza normalmente es de 1,000 Hz que se considera óptima para cables de energía en los términos de tono, requerimientos de potencia y características de transmisión.

El transmisor es un oscilador de onda senoidal y frecuencia simple operado con baterías o corriente alterna, estando provisto de un interruptor para dar una señal de salida constante o intermitente.

El detector consta de una bobina de recepción electromagnética, que alimenta a unos audífonos a través de un amplificador. Los audífonos en algunos casos se reemplazan por un instrumento indicador. La sensibilidad que tienen los detectores es normalmente muy buena de tal forma que las señales pueden detectarse desde la superficie, para cables enterrados varios metros bajo tierra.

Debido a que se tiene la probabilidad de que algunos ruidos eléctricos extraños puedan interferir en la detección de la señal, los transmisores comerciales se diseñan para proveer una señal intermitente de fácil identificación.

En caso de fallas de conductor a tierra en cables que tengan cubierta metálica en contacto con tierra, se presentan ciertas limitaciones en la utilización de éste método, en tal caso sólo se utiliza para aproximarse a la zona de la falla, la razón de esto es que la señal de corriente al pasar a través de la falla hacia tierra, seguirá caminos de menor impedancia. Esto es que algo de la corriente seguirá el camino metálico de baja resistencia al regresar al transmisor. Debido a que los caminos metálicos están muy acoplados al cable fallado electromagnéticamente, no habrá un corte de

señal brusco en la falla. Esta limitación existe para cualquier método de rastreo que dependa de una recepción electromagnética para detectar la señal.

Generador de Impulsos, (Quemador de fallas).- Con este equipo, se aplica un impulso de media tensión a un cable mediante la descarga de un capacitor que se conecta entre conductor y pantalla, entre conductor y tierra y entre dos conductores. Figura 4.1.2.b

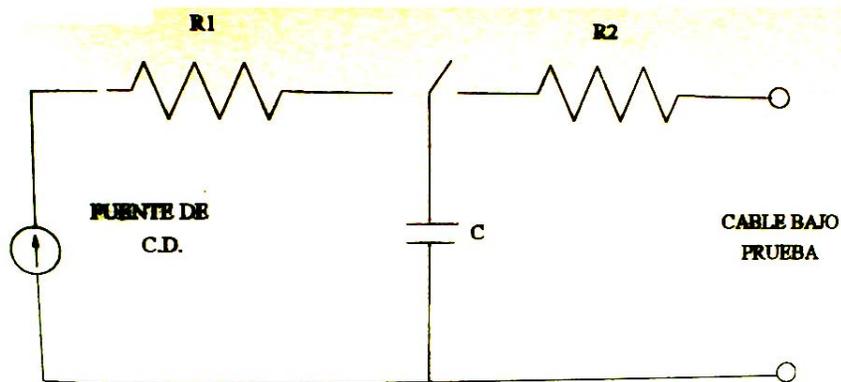


Figura 4.1.2 b. Generador de Impulsos

R1 = Resistencia de Carga

R2 = Resistencia de Descarga

C = Capacitor

La primera consideración para aplicar un impulso a un cable, es determinar el valor pico de la tensión que debe ser aplicada para provocar un arqueo en el GAP (G) de la falla.

Para determinar lo anterior, con el equipo de pruebas de A.T. de C.D. se aplica una tensión que se va incrementando hasta lograr la descarga en el

punto de falla (G). En ésta forma se puede determinar la curva teórica de descarga en el GAP. Figura 4.1.2.c

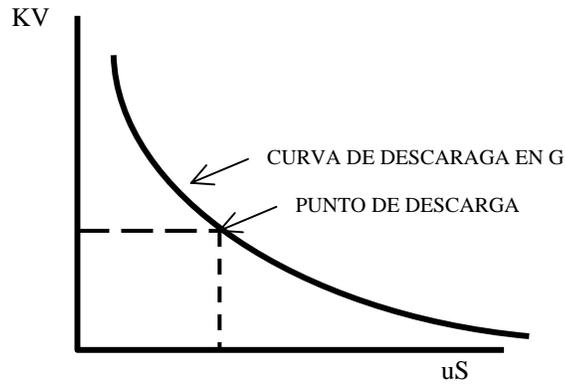


Figura 4.1.2 c. una vez que se alcance la curva de descarga del capacitor (de acuerdo con el fabricante) se producirá el punto de referencia de descarga para poder realizar la medición, esto es al estar incrementando la señal de alto voltaje

Una vez conocida esta característica, se aplica un impulso con un valor máximo de pico que no rebase la tensión de prueba del cable y los accesorios conectados

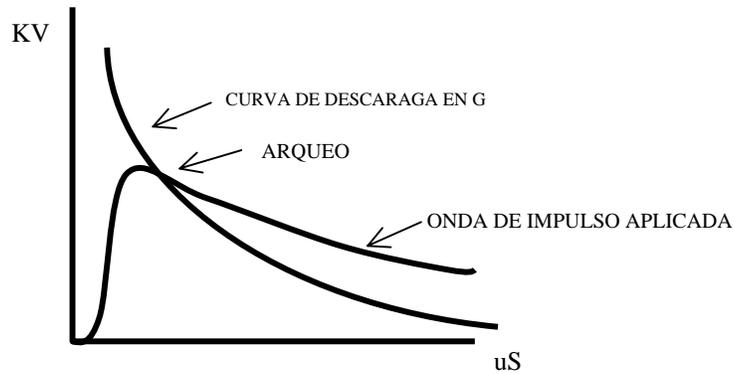


Figura 4.1.2 d. El impulso aplicado arquea en el punto de falla (G), sólo si se logra la intersección de estas dos curvas. Figura 4.1.2.d

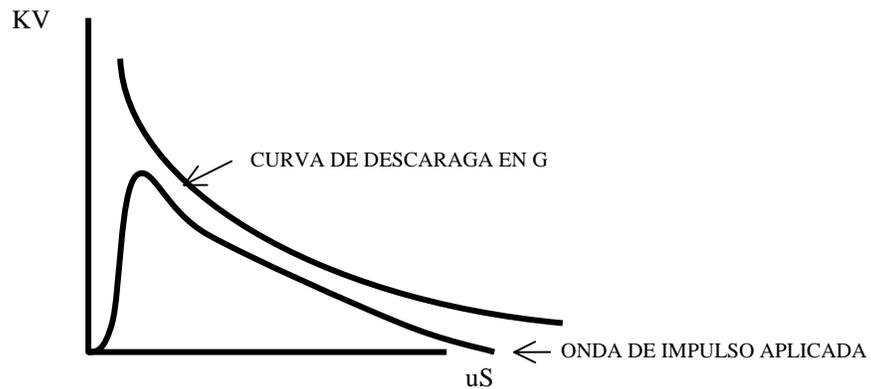


Figura 4.1.2 e Si la tensión de pico del impulso no es suficiente, no se logrará el arqueo en el punto de falla.

En este caso, será necesario aumentar la tensión del impulso aplicado, o quemar la resistencia de falla para bajar la curva característica de arqueo de la falla.

4.1.3. Localización de la falla

Para localizar el punto exacto de la falla en el cable al que se le están aplicando los impulsos capacitivos, se utilizan los siguientes detectores:

- a) Detector balístico.^[1] la onda de impulso que se está aplicando al cable fallado produce un campo, magnético alrededor del cable, cuya dirección depende del sentido de circulación de la mencionada onda de impulso (figura 4.1.3.a)

El detector balístico detecta mediante una bobina de rastreo el campo magnético, dando una indicación por medio de la deflexión de una aguja en

la carátula señalizadora de la intensidad del campo magnético, y la dirección de la deflexión de la aguja nos indicará la dirección relativa de la circulación de la onda de impulso.

En sistemas trifásicos o monofásicos, con cables unipolares tipo DS con pantalla metálica instaladas en ducto o directamente enterrados, se realiza de acuerdo a lo mostrado en la figura 4.1.3 b

Se utiliza un cable auxiliar en buenas condiciones y se interconectan los conductores centrales de ambos, igualmente se interconectan las pantallas metálicas. Se procede a colocar la bobina de contacto del detector balístico sobre la cubierta de PVC del cable, dentro de los registros disponibles, indicando la flecha de la bobina, siempre en la misma dirección. Una vez hecho esto, se detecta la señal producida por el impulso en el cable dañado, se va siguiendo la trayectoria del cable y cuando invierte el giro de la aguja indicadora significa que ya se rebasó el punto de la falla. En esta forma podrá definirse entre que registros se encuentra la falla.

Al detector balístico se le pueden adaptar los siguientes accesorios:

- Bobina para aplicación directa sobre cables de media tensión con pantalla metálica instaladas en ductos.
- Bobina de superficie para trazar la trayectoria de cables directamente enterrados y localizar fallas de baja resistencia
- Gradiente de tierra para localizar fallas en cables directamente enterrados de baja tensión, sin pantalla o de media tensión con neutro concéntrico.

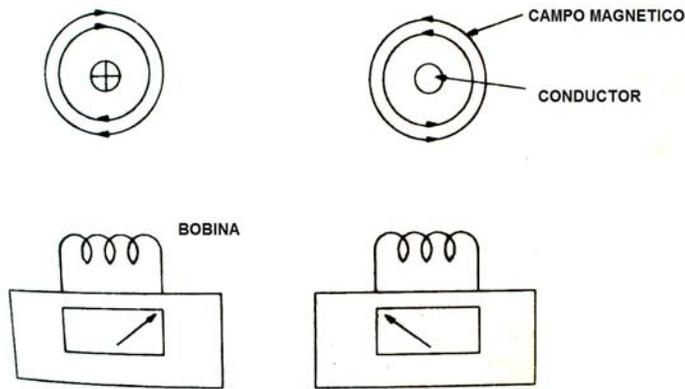
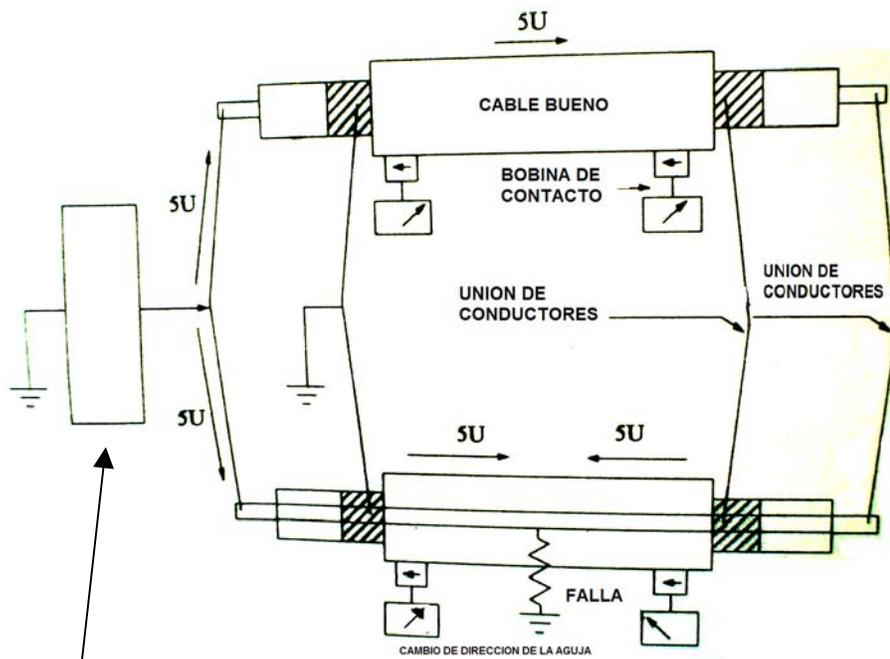


Figura 4.1.3 a. Detector Balístico.

Se observa que el sentido de la carátula señalizadora esta en función del sentido del campo magnético alrededor del conductor. Esto es para la carátula señalizadora del lado izquierdo, el sentido del campo magnético es en sentido de las manecillas del reloj y la aguja se desplaza hacia la derecha. Así mismo la carátula señalizadora del lado derecho el sentido del campo magnético es en sentido contrario a las manecillas del reloj y la aguja se desplaza hacia la izquierda.



Detector balístico.

Figura 4.1.3 b. Prueba con detector balístico.

Podemos apreciar que en la carátula señalizadora inferior izquierda existe un cambio de dirección con respecto a las demás carátulas señalizadoras por tal motivo podemos determinar que la falla se encuentra entre estos dos puntos.

b) Detector acústico.^[2] este detector se utiliza para localizar exactamente el punto de la falla en cables de media tensión directamente enterrados

Su funcionamiento está basado en la vibración del terreno, producida por el impulso aplicado al cable al momento de arquear en el punto de falla entre el conductor y tierra.

Esta vibración es captada por un par de detectores acústicos, señal que es enviada a una caja de control para ser amplificada, dicha señal es captada por el oído a través de audífonos.

La limitación del detector acústico, es cuando la resistencia de la falla R es igual a 0 (no existe GAP), y por lo tanto el impulso no procede ni arquea ni vibración en el punto de falla.

El detector acústico se puede utilizar también, para trazar la ruta de un cable directamente enterrado, mediante el uso de la bobina opcional.

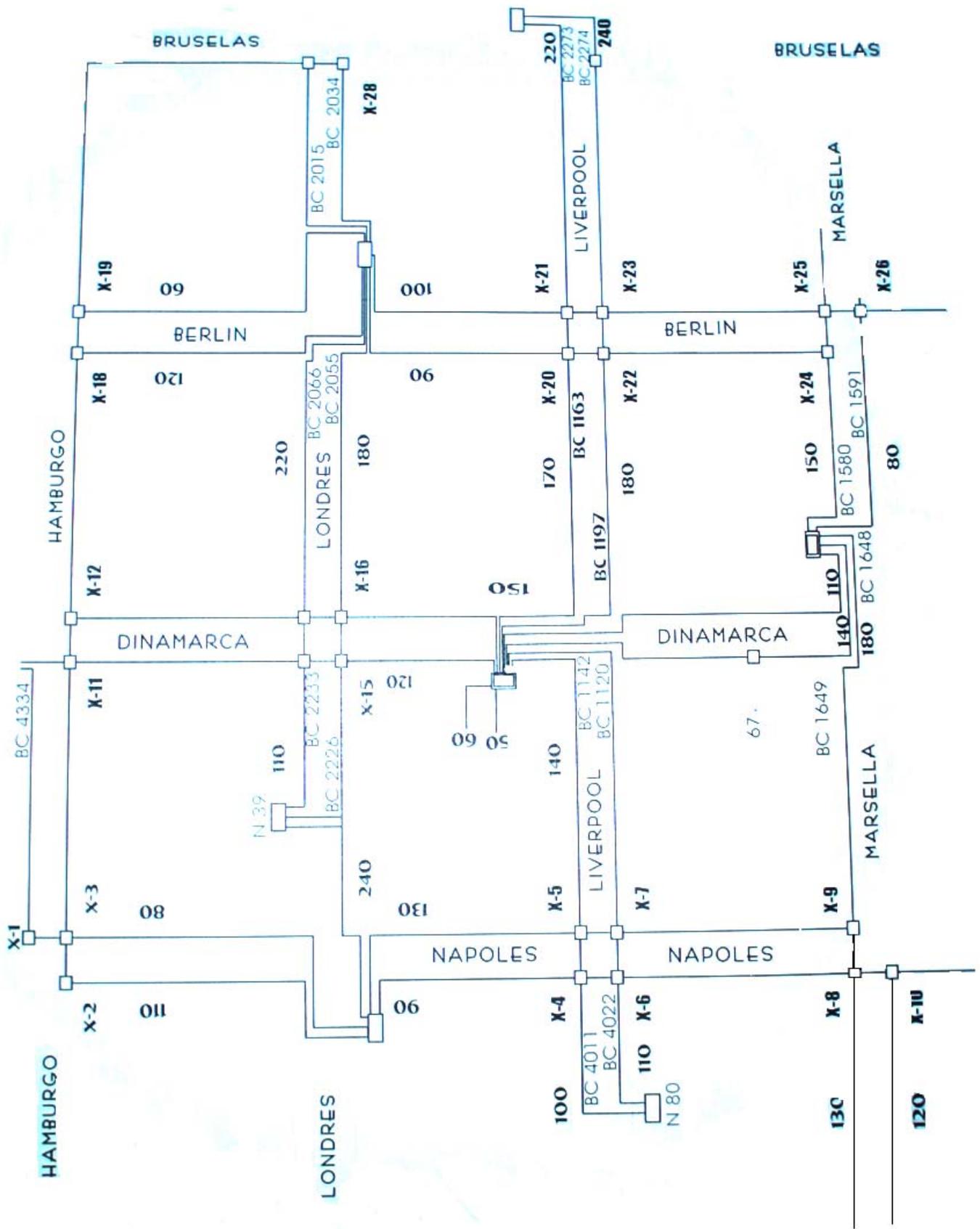
El equipo detector acústico consta de los siguientes accesorios:

- Un amplificador con audífonos
- Dos detectores acústicos
- Una bobina de superficie opcional.

4.2. EJEMPLO DE UNA LOCALIZACIÓN DE FALLA.

Se recibe el informe del operador de turno que se presentó el disparo del relevador de tierra de la subestación de salida Verónica.

Determinar la distancia de la falla.



Solución:

1. Características del Cable:

Tensión = 6,000 volts.
Calibre = 200 MCM (tres conductores).
Longitud = 1800 metros (al primer seleccionador).
Trazado = Conocido, va en ducto; pasa por la calle de Dinamarca, Liverpool, Hamburgo, Berlín hasta Marsella.

2. Análisis de la naturaleza de la falla:

Se tiene acceso a los dos extremos de los cables. Las mediciones hechas con el Megger en un extremo (A) son:

A tierra: Fase A = 200 megohms.
Fase B = 200 megohms.
Fase C = 0 megohms.

Entre fases:

Fases AB = 200 megohms.
Fases AC = 50 megohms.
Fases BC = 50 megohms.

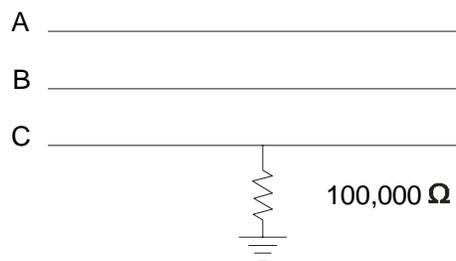
Al tener una lectura de 0 megohms en la fase C, se efectúa la medición de la resistencia con un óhmetro.

A tierra: Fase C = 100000 ohms.

Con el óhmetro se efectuó la comprobación de la continuidad de los conductores, cortocircuitándolos en el extremo opuesto.

Hubo respuesta al cortocircuito, por lo tanto no hay trozadura en el conductor.

REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA FALLA



3. Prelocalización de la Falla:

Al tener una falla resistente, se empleó el quemador de alta tensión y baja tensión y se redujo el valor de la resistencia de la falla.

Datos:

Longitud del cable = 1800 metros.

Corredera Murray = 1 metro.

El equilibrio se logró a los 44 centímetros de la corredera.

4. Localización de la Falla en el Terreno.

Para localizar exactamente la falla del conductor en el terreno, se utilizó el generador de ondas de choque.

Esta prueba se llevó a cabo conectando la fase C contra las fases A, B y el plomo, eligiendo la tensión de alimentación de 220 volts. La tensión escogida para la prueba es de 15,000 volts, que es el doble de la tensión nominal del conductor más tres kilovolts esto de acuerdo a manuales de operación. La apertura máxima de los brincadores fue de 6 mm; así se logra un tiempo adecuado para que la carga de los condensadores sea completo, la cadencia de aplicación de la tensión de prueba fue cada 5 segundos.

Para localizar el lugar donde se escucha el ruido de los impulsos, se ocupó el detector acústico y con la distancia obtenida en el ensayo de Murray de acuerdo a las sig formulas: ^[3]

$$Lx = 2Ly$$

Donde:

Lx = Distancia de la falla

L = Longitud del cable = 1800 mts

Y = Lectura del aparato (relación de la posición del contacto deslizante del puente al llegar al equilibrio, según y como se lee en el cuadrante o contador) = 0.44 mts

Se obtiene la distancia de (1584 mts.),

Se ubica uno en los pozos de visitas que estén próximos a esa distancia.

El lugar preciso donde se escuchó el máximo de ruido fue a los 1635 metros, teniéndose así un error de un 3% con respecto al ensayo Murray.

Conclusiones de este ejemplo:

La falla se encontró en la boca del ducto, falló por el rozamiento contra la boquilla en mal estado. El cable estaba ahogado en agua clara.

4.3. REPORTE DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

COMPAÑÍA _____

ALIMENTADOR _____

SUBESTACIÓN DE SALIDA

CARACTERÍSTICAS DEL CABLE:

TENSIÓN:

SECCIÓN:

LONGITUD:

TRAZADO:

SITUACIÓN TOPOGRÁFICA:

CONDICIONES DEL AVISO:

1. ANÁLISIS DE LA NATURALEZA DE LA FALLA.

FASES	EXTREMO A	EXTREMO B
	A B C	A B C

a) MEGGER:

FASES A TIERRA _____ _____

ENTRE FASES _____ _____

b) OHMETRO:

A TIERRA _____ _____

ENTRE FASES _____ _____

c) PUENTE DE CAPACITANCIAS:

A TIERRA _____ _____

ENTRE FASES _____ _____

d) LÁMPARAS / CONTINUIDAD

e) ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA NATURALEZA DE LA FALLA:

2. PRELOCALIZACIÓN DE LA DISTANCIA APROXIMADA DEL LUGAR DE LA FALLA.

a) FRANQUEO DE LA FALLA

MÉTODO EMPLEADO _____ PROCEDIMIENTO _____

b) PRELOCALIZACIÓN _____ MÉTODO EMPLEADO _____

CÁLCULOS:

3. LOCALIZACIÓN REAL DE LA FALLA EN EL TERRENO.

a) APLICACIÓN DEL GENERADOR DE ONDAS DE CHOQUES.

CONEXIÓN _____ TENSIÓN ESCOGIDA _____

APERTURA MÁXIMA BRINCADORES _____

CADENCIA

b) BÚSQUEDA DEL LUGAR DONDE SE ESCUCHE RUIDO DE LOS IMPULSOS.

ZONA ESCUADRA:

MÉTODO EMPLEADO:

PROCEDIMIENTO:

c) LUGAR DONDE SE ESCUCHO EL MÁXIMO DE RUIDO.

DISTANCIA _____ SITUACIÓN TOPOGRÁFICA _____

PORCIENTO DE ERROR RESPECTO A LA DISTANCIA APROXIMADA

CONCLUSIONES UNA VEZ DESCUBIERTA LA FALLA.

TÉCNICO. _____

4.4. LOCALIZACION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS EN BAJA TENSIÓN

4.4.1. Introducción.

Estos cables, por contraposición con los anteriores de media tensión, son los más difíciles de localizar sus fallas.

Primero, porque en estos casos no existe el ensayo de la detección de la falla en el terreno; pues debido a las elevadas tensiones de trabajo del generador de ondas de choque, no puede aplicarse en un cable de baja tensión, ya que éste corre el riesgo de dañarse en toda su longitud, así como todos los contadores y aparatos eléctricos conectados a los servicios que no pueden seccionarse.

Esto acarrea un grave problema, ya que se limitan mucho las posibilidades de aplicar diversos ensayos y por otro lado, los cables de baja tensión, son los que presentan la gama de tipos de fallas más raros y variados, en cambio sus fallas son siempre francas.

Limitados únicamente al análisis previo de la naturaleza de la falla y a la prelocalización, es preciso afinar muchísimo estos dos procedimientos, a fin de evitar excavaciones inútiles y cortar el cable en lugares donde no haga falta.

4.4.2. Métodos de aplicación.

Todos los ensayos explicados anteriormente (Murray, capacitancias, ondas estacionarias) son también valiosos para los cables de baja tensión, pero hay algunos otros ensayos que por su directa aplicación sobre estos cables, conviene mencionarlos.

Método de caída de tensión en los servicios.

Este método, utilizado en los casos en que no es posible desconectar del cable los servicios, nos determina únicamente el tramo entre derivación y derivación, donde se encuentra la falla.

El equipo que se necesita para aplicarlo es: Un quemador de fallas de corriente directa a 400 voltios, un milivóltmetro a escala de 0-25 milivoltios de gran resistencia interna.

Para que se efectúe la prueba, es necesario la circulación de una corriente constante, a través de la falla, equivalente a 6 amperios, como mínimo de acuerdo a manuales de operación. De ser posible, desconectar el equipo de medición de los servicios. Tener perfectamente identificadas las fases del cable en los servicios.

Procedimiento:

V_1 = Tensión inicial de franqueo
 V_2 = Tensión final de franqueo
 I = Corriente de franqueo (constante)
= 6 amperios

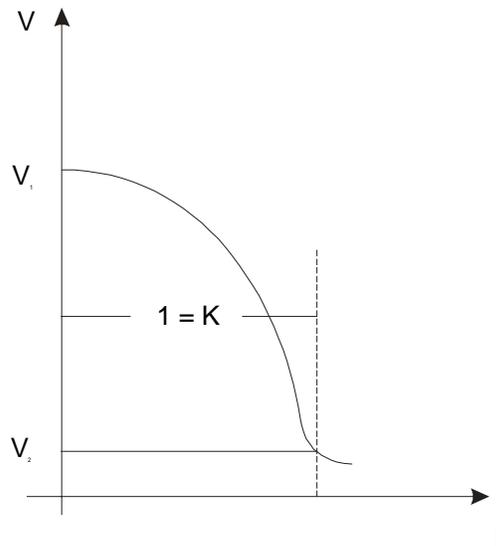


Figura 4.4.2.a CAIDA DE TENSION: Podemos observar en la curva la caída de tensión del quemador a corriente directa bajo el régimen de carga, una vez que el franqueo de la falla se ha establecido el voltaje se abate.

Ahora observamos el diagrama en la siguiente figura 4.4.2.b

CURVA DE CAIDA DE TENSION EN LOS SERVICIOS

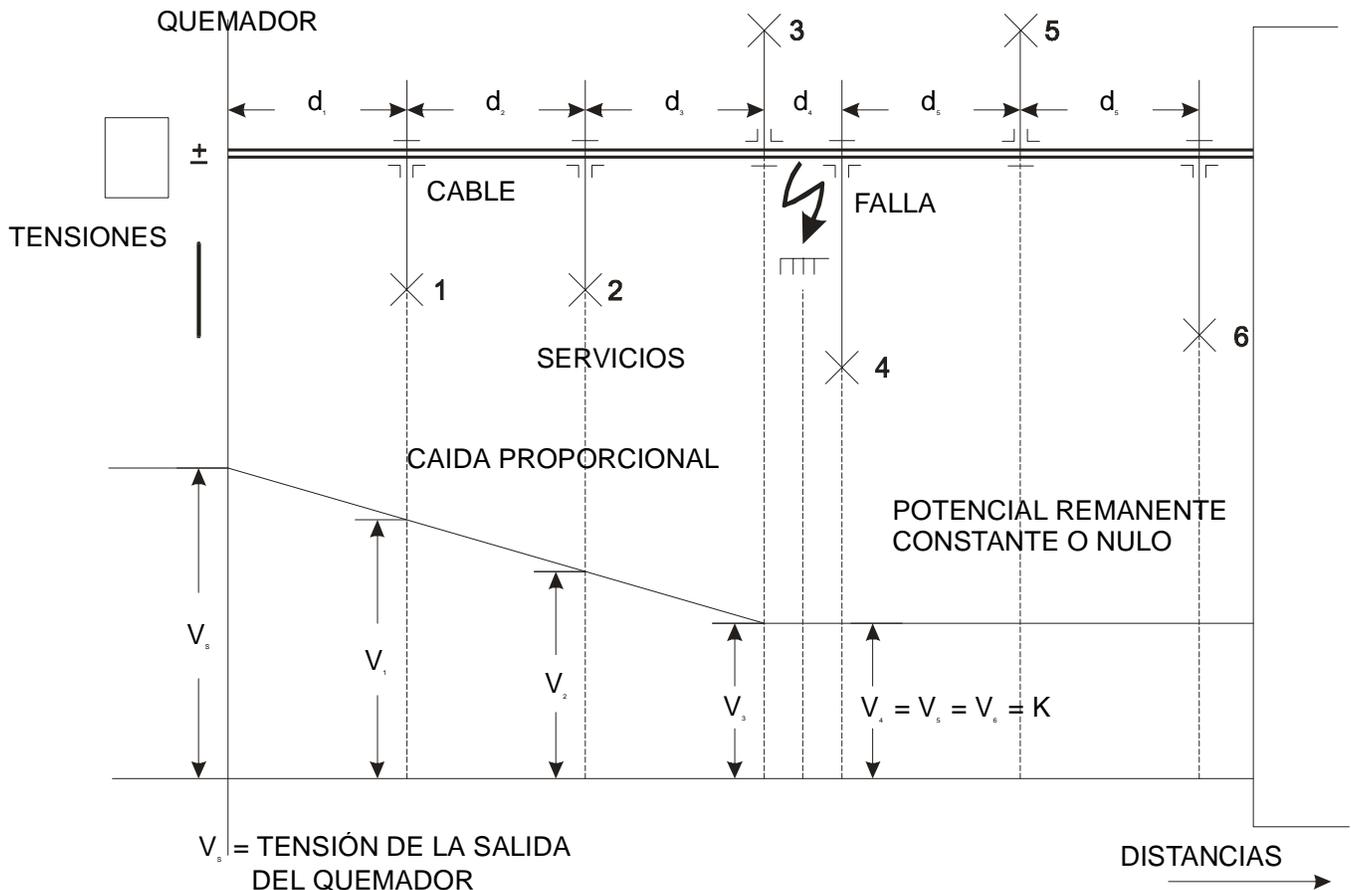


Figura 4.4.2.b Curva de caída de tensión en los servicios.

Tomando en cuenta que la corriente de franqueo y la tensión de salida del quemador, van a permanecer constantes, las caídas de potencial a lo largo del cable van a ser proporcionales a las distancias; de ahí que, midiendo con un milivóltmetro en las terminales de los servicios, se encontrarán valores de tensión a tierra que decrecen a medida que se alejan del quemador, hasta cierto lugar donde ya no varían más, permaneciendo constantes o se anulan por completo. Eso significa que en esos momentos ya hemos pasado por encima de la falla, por ejemplo en el diagrama de la

figura anterior, bien puede observarse que la falla se encuentra entre los servicios de los puntos 3 y 4, o sea que, entre el servicio que tenga la última variación proporcional de tensión y el equipo ya no le varíe con los siguientes, ahí entre esos dos puntos se encuentra la falla.

Este método es únicamente aproximado, no da el lugar exacto. Y en ocasiones entre un servicio y otro llega a tener 40 metros de separación.

Las corrientes vagabundas pueden entorpecer de cierto modo el ensayo. Aunque la tensión de salida del quemador bajo régimen de carga es de unos cuantos voltios (no se fabrica de menor tensión) y por consiguiente se corre el riesgo de dañar los contadores, aunque esa tensión no sea aplicada más que unos instantes solamente.

4.4.3. LAMPARAS DE PRUEBA.

Las lámparas de prueba ^[4] son un instrumento de uso común en el departamento de cables subterráneos, utilizadas por personal de las tres secciones (taller, instalación y operación) para distintos fines (únicamente por baja tensión) como son:

Detectar potencial.

Identificar fases.

Detectar cables dañados.

Detectar carga o humedad en el cable.

Otros usos.

Básicamente su operación es detectar una diferencia de potencial y se manifiesta al encenderse sus focos.

De la intensidad con que encienden estos focos será la interpretación que debemos dar. Frecuentemente es difícil apreciar la variación de dicha intensidad y se llega a tener dudas que solo con la practica se pueden superar.

Estas lámparas fueron ideadas y desarrolladas por personal de los departamentos de cables subterráneos y han traído mucho beneficio al departamento en lo relacionado con trabajo, como en lo que concierne a seguridad.

Las lámparas de prueba han sido enriquecidas con la aportación de experiencias obtenidas en el terreno de los hechos, tanto por ingenieros, sobrestantes y trabajadores. Para obtener lo que actualmente es esta norma, para el uso de la misma.

Estas lámparas fueron diseñadas y elaboradas desde el año de 1923.

CONSTRUCCIÓN.-

Las lámparas de prueba constan de lo siguiente: dos focos de 40 watts (siempre deben ser los dos de la misma capacidad) 125 volts y un interruptor que permite conectar los dos en serie o un solo foco directamente a 125 volts; dos resistencias de 5 ohms cada una de alambre nicromel # 22 conectadas en paralelo y un interruptor que permite poner en paralelo las resistencias con focos; una caja de cerolón o similar de 18 cms. x 9.5 cms. X 16 cms. En donde se colocan en forma adecuada las partes; una extensión de alambre dúplex # 10 con terminales en forma de puntas. En las figuras 4.4.3.a y 4.4.3.b se muestran los diagramas eléctricos y físicos de las lámparas de prueba.

DIAGRAMA ELECTRICO

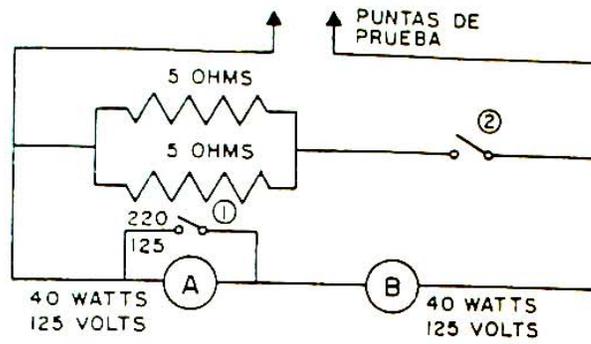
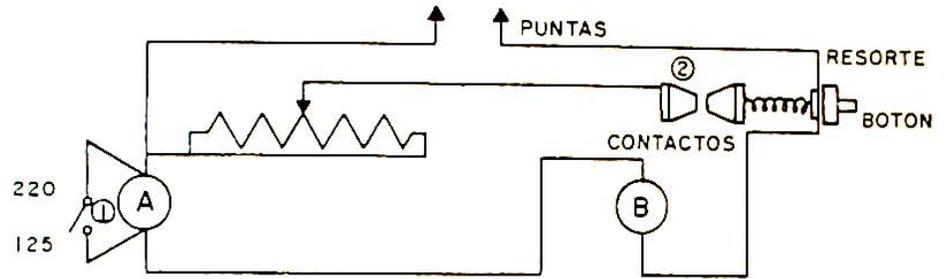
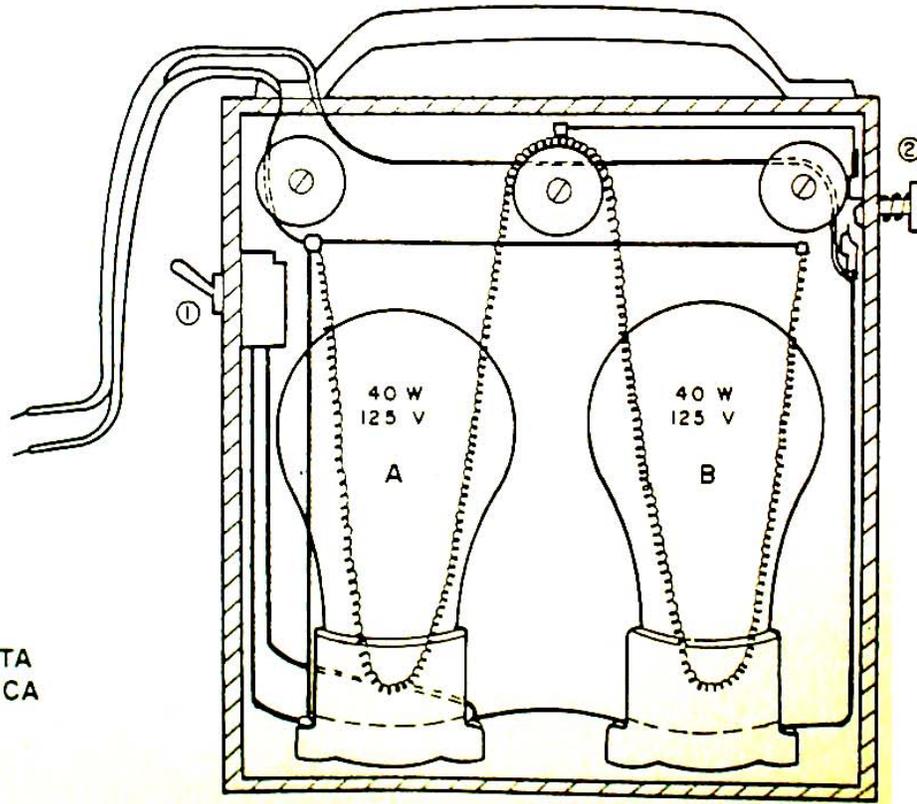


DIAGRAMA FISICO



PUNTAS DE PRUEBA

VISTA FISICA



Figuras 4.4.3.a y 4.4.3.b Lámparas de Prueba

FUNCIONAMIENTO.-

En las figuras 4.4.3.a y 4.4.3.b podemos apreciar que cuando el interruptor (1) esta en posición 220 volts y el botón (2) sin oprimir los focos quedan conectados en serie, lo que nos permite comprobar potencial entre fases o sea 220 volts, y los focos encenderán a su intensidad normal. si comprobamos potencial entre fase y tierra los focos encenderán a media intensidad.

si el interruptor (1) lo cerramos, es decir, lo ponemos en posición 125 volts, el foco " A " queda puenteado y solamente podemos comprobar potencial entre fase y tierra, encendiendo el foco " B " a su intensidad normal. si en esta posición comprobamos potencial entre fases al foco " B " se le aplicaran 220 volts y se dañara.

el interruptor (2) es un botón con resorte que obliga a que los contactos estén siempre en posición abiertos, únicamente lo operamos cuando deseamos conocer la carga de un cable. al hacer una presión en el botón se ponen en paralelo las resistencias con los focos; las resistencias de las lámparas en combinación con la carga resistiva del cable a prueba ocasiona una caída de potencial que es la que produce que los focos no enciendan a toda su intensidad.

USOS.-

En seguida se en listan las aplicaciones que se les dan a las lamparas de prueba en el departamento de Cables Subterráneos, para pruebas en baja tension.

a.- DETECTAR POTENCIAL.

a.1. Potencial a 125 volts.

a.2. Potencial a 220 volts.

a.3. Ausencia de potencial.

a.4. Continuidad en un cable (energizado).

a.5. Probando por BAJA TENSION se puede determinar la falta de una, dos o tres fases, por alta tensión.

b.- IDENTIFICAR FASES:

- b.1. En fases (faseo).
- b.2. Fuera de fases.
- b.3. Fuera de ángulo.
- b.4. Fuera de ángulo y fases.
- b.5. Fasear BAJA TENSIÓN de 6K.V. contra BAJA TENSIÓN de 23 K.V.

c.- DETECTAR CABLE DAÑADO:

- c.1. Quemado y aislado
- c.2. Fase a tierra.
- c.3. Cruzamiento en 2 fases.
- c.4. Cruzamiento en 3 fases.
- c.5. Cruzamiento en 2 fases y a tierra.
- c.6. Cruzamiento en 3 fases y a tierra.
- c.7. Tierra abierta.

d.- DETECTAR CARGA:

- d.1. Cable con humedad.
- d.2. Cable con poca carga.
- d.3. Cable con mucha carga

e.- OTROS USOS:

- e.1. Para conectar en paralelo Plantas de Emergencia o con el servicio, cuando por alguna causa llegaran a fallar las lámparas de sincronización de la planta.
- e.2. Comprobar cierre y apertura de los protectores de la red.
- e.3. En los circuitos de alumbrado público.

Entrar en detalle en cada una de estas aplicaciones seria motivo de otro seminario de tesis.

CAPÍTULO V

GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO Y EQUIPO PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS.

5.1. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

En base a los resultados obtenidos a pruebas realizadas al equipo eléctrico, el personal responsable del mantenimiento, tendrá los argumentos suficientes para tomar la decisión de mantener energizado o retirar de servicio un equipo en operación que requiera mantenimiento

Para el mantenimiento del equipo, es conveniente considerar los aspectos siguientes:

- a) Archivo adecuado y análisis de resultados obtenidos en inspecciones pruebas, aunadas a las condiciones operativas del equipo
- b) Establecer las necesidades de mantenimiento para cada equipo
- c) Formular las actividades de los programas de mantenimiento
- d) Determinar actividades con prioridad de mantenimiento para cada equipo en Particular
- e) Se debe contar con personal competente para realizar las actividades de mantenimiento al equipo y establecer métodos para su control.

Mejorando las técnicas de mantenimiento, se logra una productividad mayor y se reducen los costos del mismo. Los tipos de mantenimientos que se pueden aplicar al equipo en operación, son los siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

Mantenimiento correctivo.- es el tipo de mantenimiento más antiguo, puesto que permite operar el equipo hasta que la falla ocurra antes de su reparación o su sustitución. Este tipo de mantenimiento requiere poca planeación y control, pero sus desventajas lo hacen inaceptable en grandes instalaciones, ya que el trabajo es realizado sobre una base de emergencia, la cuál resulta en un ineficiente empleo de la mano de obra y ocasiona interrupciones del servicio.

Mantenimiento preventivo.- las actividades de mantenimiento preventivo tiene la finalidad de impedir o evitar que el equipo falle durante el período de su vida útil como se muestra en la figura 5.1., y la técnica de su aplicación, se apoya en experiencias de operación que determinan que equipo después de pasar el período de puesta en servicio reduce sus posibilidades de falla.

Mantenimiento predictivo.- el tipo de mantenimiento predictivo tiene como finalidad combinar las ventajas de los dos tipos de mantenimiento anteriores; para lograr el máximo tiempo de operación del equipo, se aplican técnicas de revisión y pruebas más avanzadas, requiere de controles rigurosos para su planeación y ejecución.

El mantenimiento predictivo se basa en que el equipo, después de pasar su período de puesta en servicio, reduce sus posibilidades de falla y comienza o se encuentra dentro su período de vida útil, posteriormente el equipo envejece y crecen sus posibilidades de falla.

El mantenimiento predictivo tiende a reducir la cantidad de trabajos a realizar durante el período de vida útil con solamente aplicarlo cerca del final de ese período. Figura 5.1

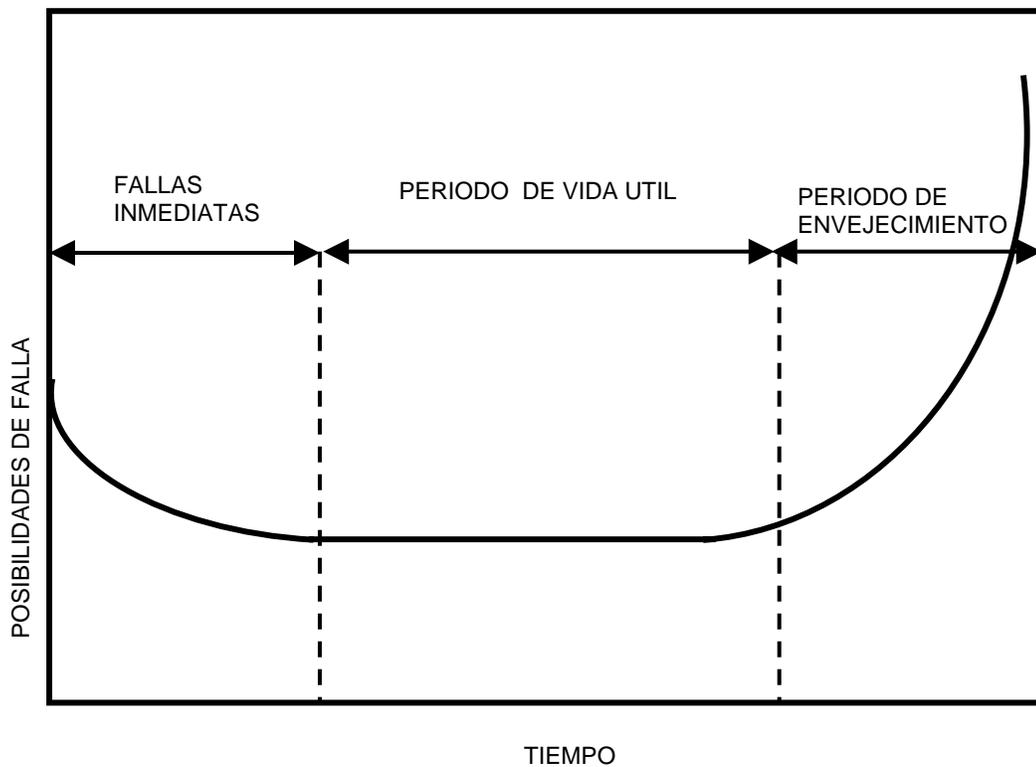


Figura 5.1. Curva de vida útil

5.1.1 Mantenimiento preventivo de cables subterráneos

El mantenimiento preventivo debe aplicarse en mayor escala en las zonas y equipos que mas lo requieran. Para conocer esto, debe determinarse: que debe inspeccionarse, con que frecuencia debe hacerse, cuando debe darse el mantenimiento, a qué partes y equipos debe asignárseles una vida útil y de cuanto tiempo debe ser su vida útil.

Programa de mantenimiento preventivo.

Es importante mencionar que para elaborar un programa de mantenimiento se tengan contestadas las preguntas mencionadas y se cuente con los inventarios adecuados tales como:

- a) Inventario de todos los equipos de interrupción y seccionamiento, manuales y automáticos, en aire o en aceite, de mediana o baja tensión, lugar donde se encuentren instalados, datos como: tipo, rango, dirección, nomenclatura y características particulares.
- b) Inventario similar al anterior pero con el equipo conflictivo que requieren programas de atención especial.
- c) Inventario de todas las bóvedas y subestaciones interiores y exteriores clasificados de acuerdo al tipo de red utilizado por ejemplo, fraccionamientos, unidades habitacionales, zonas comerciales, etc. Citando el equipo que lleva, capacidad de sus transformadores, marca, tipo, modelo, tipo de conexión, tipo de llenado, dirección, nomenclatura, etc.

El programa general de mantenimiento preventivo consiste en lo siguiente:

- 1.- Aseo, revisión y corrección de defectos en los equipos instalados en bóvedas y subestaciones, pruebas de hermeticidad, revisión de niveles y accesorios, muestreos de aceite, toma de lecturas, etc.
- 2.- Aseo, revisión y detección de anomalías en cables y equipos instalados en las rutas de las redes (tierras flojas, goteos, filtraciones, calentamientos, fusibles quemados, falsos contactos, nomenclatura equivocada o falta de la misma).

3.- Comprobación de continuidad a los cables.

4.- Pruebas de carga y voltaje en transformadores y cables de B.T. y M.T.

5.- Revisión de mecanismos a interruptores, desconectores de transformadores y de seccionadores en M.T. revisión y repintado de tanques, gabinetes, nomenclatura borrada.

6.- Revisión y corrección de acometidas de B.T.

Recursos Técnicos:

Algunos de los recursos técnicos necesarios para llevar a cabo este programa son:

- a) Recomendaciones y especificaciones del fabricante
- b) Normas de materiales y equipos de cables subterráneos
- c) Análisis de ingeniería
- d) Experiencia y capacitación de personal

5.1.2. Mantenimiento correctivo

Es aquel que se efectúa al ocurrir una falla no planeada en la operación del sistema, teniéndose que localizar y reparar en el lugar de los hechos y en el período de tiempo más corto posible.

Los objetivos del mantenimiento correctivo son:

1. Normalizar el sistema o la parte afectada para dejarlo en condiciones normales de operación lo antes posible.
2. Hacer la reparación o reposición de materiales o equipos dañados con una alta calidad, empleando la mano de obra calificada.
3. Reducir el tiempo de interrupción y reducir al máximo el número de servicios afectados.
4. No exponer la integridad física del personal.

Para cumplir con los objetivos se deben tomar en cuenta las siguientes medidas:

- a) El registro exacto de las fallas
- b) La clasificación precisa de las causas de la falla.
- c) Análisis de estadísticas de fallas
- d) Dar capacitación adecuada a los trabajadores

El mantenimiento correctivo no puede ser programado y será mayor o menor dependiendo del grado de confiabilidad que tenga el sistema, donde:

Índice de frecuencia de interrupciones al sistema	=	$\frac{\text{La suma de todas las interrupciones al cliente al año}}{\text{Número de clientes atendidos}}$	=	Interrup. por cliente. al año

Índice de duracion de interrupciones al sistema	=	$\frac{\text{La suma de todas las duraciones de interrup. al cliente x año}}{\text{Número de clientes atendidos}}$	=	Minutos fuera por cliente x año

5.2 EQUIPO “HIPOT / BURN”.

HIPOTRONICS

DETECCIÓN DE FALLAS



Hipot CD

TDR



Detector Acústico

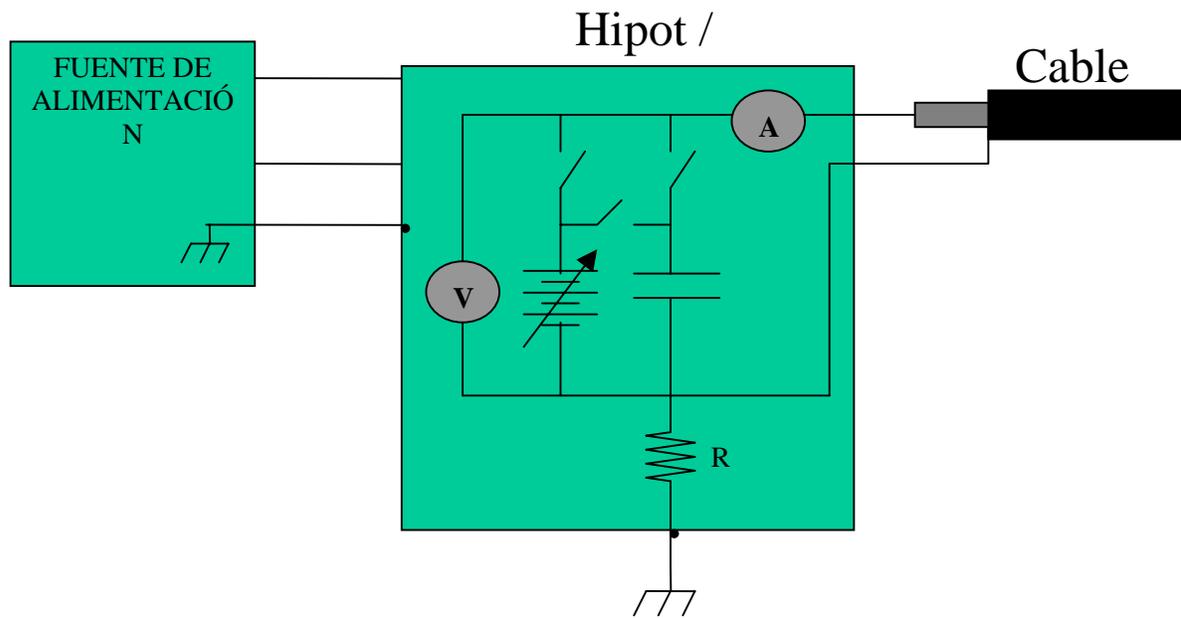
5.2.1 información general.

El equipo portátil localizador de fallas “Hipot / Burn”, es una combinación de un transformador variable de corriente directa y de un capacitor que almacena la energía proporcionada por el transformador.

La mayoría de equipos de C.D. Alcanzan voltajes variables de 0 – 70 KV, así mismo una corriente de hasta 100 mA.

Por otra parte los capacitores almacenan carga desde 4 a 24 μf esto significa una energía liberada en el impulso del orden de 450 a 7,500 Joules.

5.2.2. Instalación , funcionamiento y operación.



CONTROLES



OPERACIÓN

Modo: “Hipot / Burn”.

1. Asegurar que el selector este en posición de “GROUND”.
2. Encender el equipo con la palanca de “AC POWER”.
3. Seleccionar “HIPOT / BURN” con el selector.
4. Presionar el botón de “HIGH VOLTAGE ON”. Notar que el “HIGH VOLTAGE” no puede ser energizado a menos que el Reóstato de Voltaje este en la posición de 0%.
5. Colocar el Reóstato en el voltaje deseado. observar que si el voltaje se mantiene en cero o cerca del cero y que la corriente aumenta conforme se le aumenta el voltaje, nos indica que existe un corto circuito, (una Falla).
6. Cuando la prueba a terminado se debe regresar el Reóstato de Voltaje a la posición de 0%.

Nota 1.- Nunca se debe presionar “HIGH VOLTAGE OFF” si el Reóstato de Voltaje no se encuentra en la posición de 0%.

Nota 2.- Si el cable retiene carga, se deberá esperar algunos minutos para que el voltaje disminuya lo mas cercano a 0 KV.

7. Presionar “HIGH VOLTAGE OFF” y regresar el Selector a la posición de “GROUND”.

NOTA. Nunca se deberá tocar el cable a menos que este en esta posición el selector.

Modo: “Capacitor / Discharge”.

1. Asegurar que el Selector este en posición de “GROUND”.
2. Encender el equipo con la palanca de “AC POWER”.
3. Seleccionar “CAPACITOR DISCHARGE” con el Selector.
4. Presionar el boton “HIGH VOLTAGE ON”.
5. Colocar el Reóstato de Voltaje en el voltaje mínimo al cual se da el corto circuito y poner en Modo Automático. En este modo el equipo manda una descarga o impulso cada 6 a 15 segundos según se calibre.

Recomendaciones:

1. Asegurar un excelente contacto de la tierra principal, por seguridad del equipo y del personal que lo opera.
2. El conductor de tierra debe ser lo mas corto posible, para disminuir la impedancia del conductor y asegurar el contacto a tierra.
3. El conductor de fase y neutro (retorno) deben de estar lo mas cerca posible, esto es para evitar un campo magnético entre ellos que pueda llegar a ser peligroso.
4. Se recomienda que en la medida que sea posible desconectar el neutro del cable a probar, del sistema de tierra.

5.3. EQUIPO TDR (RADAR PARA CABLES).

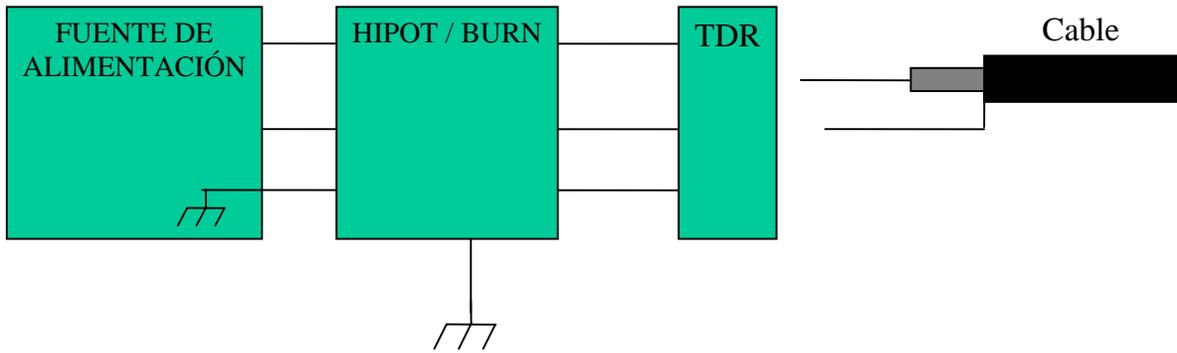


5.3.1. Información general

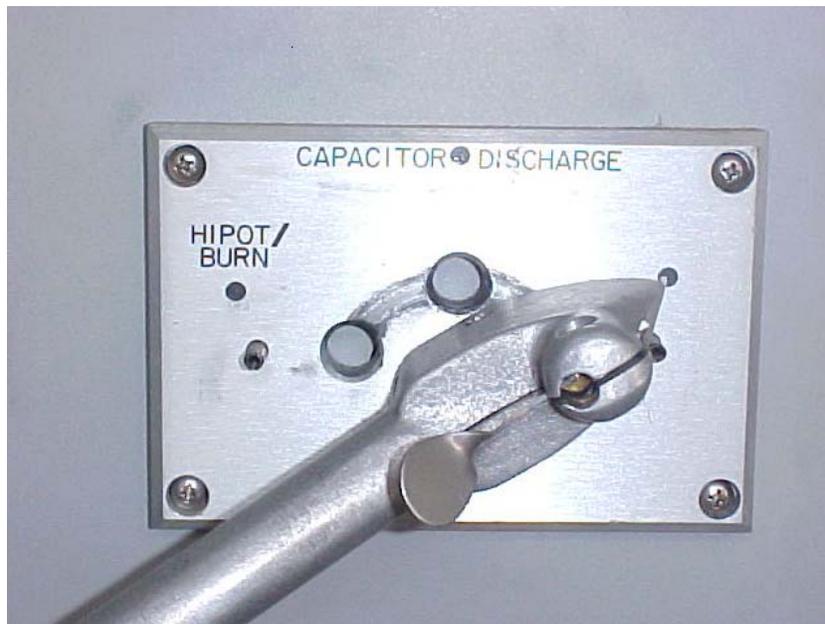
El TDR es un equipo que nos permite identificar y localizar la distancia de cortos circuitos, circuitos abiertos, alta resistencia de fallas, humedad en el cable, empalmes interruptores y transformadores.

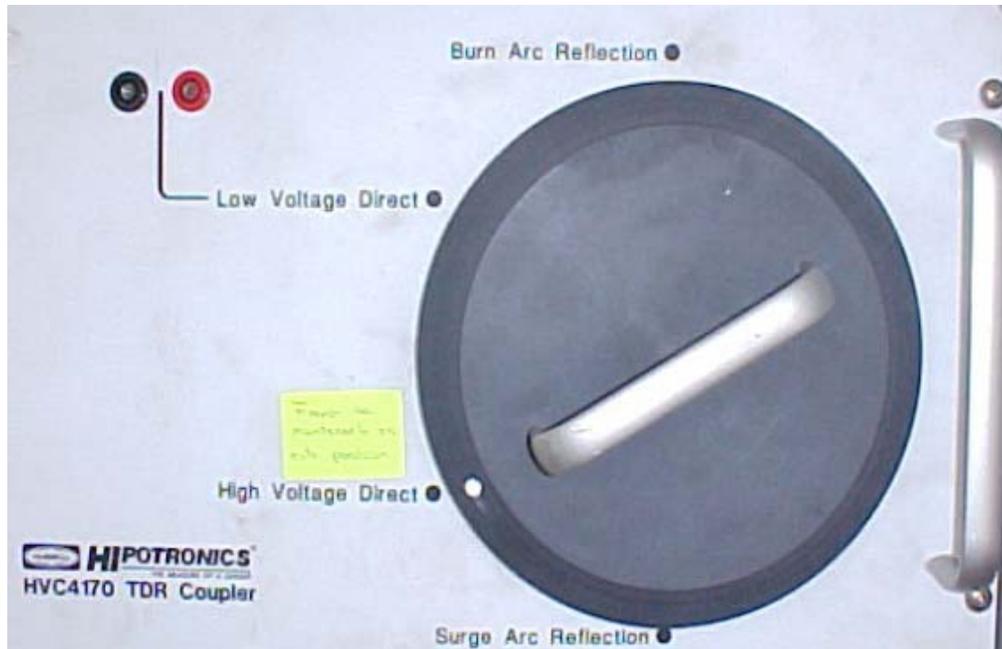
El voltaje máximo de aplicación es de 70 KV. Así mismo una corriente de quemador de hasta 5 Amp. Y una energía de disipación de 8,000 Joules.

5.3.2. Instalación, funcionamiento y operación.



CONTROLES





FUNCIONES

- “LOW VOLTAGE DIRECT”. En esta posición tenemos acceso a las puntas del cable bajo prueba desde el panel frontal a través de bananas. Puede servir para meggear el cable, conectar un voltímetro etc.
- “SURGE ARC REFLECTION”. Este modo se utiliza para realizar el gráfico del cable bajo prueba y para localizar las distancias de los diferentes elementos del sistema.
- “BURN ARC REFLECTION”. Esta función despliega los cambios que se están presentando en la resistencia de falla causados por el quemador.
- “HIGH VOLTAGE DIRECT”. Cuando se requiere utilizar el “hipot / burn”. Como quemador o como impulso el TDR se coloca en esta posición.

Tiene a su vez dos funciones principales:

- a) "CURRENT IMPULSE". Esta técnica se utiliza cuando las fallas no pueden ser localizadas mediante el método de "ARC REFLECTION". En el TDR se selecciona el modo I Pulse
- b) "VOLTAGE DECAY". Este método es utilizado cuando existen fallas intermitentes o de muy alta resistencia. En el TDR se selecciona el modo "V-DECAY".

5.3.2.1. Calibración

La calibración dependerá directamente de la longitud del cable.

- Rango: 2496, 12283, 19527 y 98286 mts.
- Pantalla/Zoom: 389, 778, 1557, 3115, 6230 mts.
- "Pulse Width": Cables < 302.8 mts. Empezar con un pulso de 200 nS.
Cables < 1.6 KM. Empezar con un pulso de 500 nS.

El mínimo valor de pulso es: 100 nS.

El máximo valor de pulso es: 10 μ S.

- Se debe ajustar el valor de propagación de velocidad de onda en un cable ($V_p/2$) dependiendo del tipo de cable. Dato muy importante.
- "Mode":
 - a) "Arc Surge"
 - b) "Arc Burn"
 - c) "V. Decay"
 - d) TDR
 - e) "I. Pulse"



Desplegado de pantalla

5.3.3. Operación “Arc Reflection”

- 1.- Seleccionar el modo en: “Arc Surge” tanto en el control, como en la palanca.
- 2.-Ajustar el “Trigger Delay”: Para cables muy largos o fallas no francas aumentar a 2 o 3 mS. Para la mayoría de cables y fallas usar 1mS.
- 3.- Ajustar el “Trigger Average”. Si el Trigger esta en posición de encendido, el equipo tomará datos de cada impulso que mande el “Thumper”. Si se encuentra en posición apagado, el equipo tomará datos solo del primer impulso.
- 4.- Oprimir el botón de “Sample” para tomar datos del cable, la pantalla muestra los resultados en forma de gráfica.
- 5.- Oprimir el botón de Captura; y en ese momento el equipo espera el impulso proporcionado por el “Thumper”, y automáticamente graba la gráfica de resultados, en este punto se determina el punto de falla.



- Cuando el equipo censa un circuito abierto la gráfica tiende a subir.
- Cuando el equipo censa un circuito cerrado la gráfica tiende a bajar.
- Cuando el equipo censa un interruptor o un empalme la gráfica tiende primero a subir y luego a bajar.

Con el botón de Cursor ("start y end"). Se ajusta la parte de la gráfica que se desea analizar ya sea utilizando el botón de zoom para observar mas claramente la gráfica o, en la parte inferior derecha se pude observar la distancia entre los dos cursores.

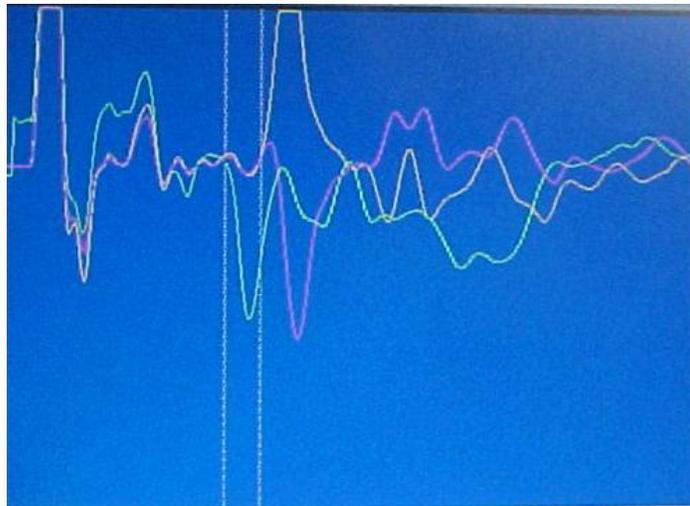


Recomendaciones

Para la localización de fallas es recomendable:

1. Seleccionar en modo TDR y oprimir el botón de “Sample”, con el cable piloto conectado al cable bajo prueba.
2. Oprimir el botón de Repetir con el cable piloto conectado al cable bajo prueba, previo crear un corto circuito tanto al principio como al final del cable bajo prueba.
3. Copiar las dos gráficas con el botón de “B-A Ref”

Esto nos permite visualizar el principio y el final del cable, así como el lugar exacto de la falla.



5.3.4 Operación “Arc Burn”

1. Seleccionar en modo: “Arc Burn” tanto en el control como en la palanca.
2. Oprimir el botón de “Sample” para tomar datos de la falla.
3. Oprimir el botón de Repetir mientras que se encuentra trabajando el Hipot en posición de quemador, la gráfica muestra los cambios sufridos en el punto de la falla.

5.3.5. Operación “Surge Pulse”

1. Colocar la palanca en posición de “High Voltage Direct”.
2. Seleccionar en modo “I Pulse”.
3. Presionar el botón de captura A o B, el equipo espera un impulso proporcionado por el “Thumper”, si la gráfica no es suficientemente clara, cambiar la ganancia y permitir otro impulso.

La distancia entre dos crestas continuas de la gráfica es la distancia a la falla.

5.3.6 Operación “Voltage Decay”

1. Colocar la palanca en posición de “High Voltage Direct”.
2. Seleccionar en modo “V. Decay”
3. Presionar el botón captura A o B, encender el Hipot en posición de quemador e incrementar el voltaje hasta que la falla se manifieste en la pantalla, si la gráfica no es clara aumentar la ganancia y capturar una nueva onda.

La distancia entre dos crestas continuas de la gráfica es la distancia a la falla.

5.4. DETECTOR ACÚSTICO



5.4.1. Información general

El detector acústico es un equipo amplificador de sonido que nos permite determinar con exactitud el punto de falla en un cable.

Cuando se le aplica un voltaje suficiente a un cable fallado con ayuda del “Thumper” se crea en el punto de falla una explosión, causada por la rápida ionización del aire existente entre el cable de fase y neutro.

La velocidad del sonido depende de la resistencia del medio en el que ocurre, en general, entre mas denso sea el material mayor será la velocidad del sonido, por ejemplo la velocidad del sonido en el aire es del orden de 335.2 m/s mientras que en el acero es de 4,876.8 m/s.

El sonido también es afectado por diferentes factores como puede ser el tipo de suelo y superficie, la humedad, la temperatura, etc.

CONTROLES



5.4.2. Operación

“Ballistic Impulse”

Modo: “TIME & DEPTH”

- Este método permite observar en los Leds la magnitud de la señal magnética generada por el “Thumper”, es una técnica de prelocalización de la falla.
- Colocar el equipo a una distancia de 3.04 a 6.96 mts retirado del “Thumper” y a una distancia de 1.5 a 3.04 mts fuera de la ruta del cable.
- Con el botón de “Ballistic Impulse Sensitivity” se controla la señal del 20 al 50%
- Moverse a lo largo de la ruta del cable observando la variación de la señal en los Leds; cuando se detecta una reducción parcial o total de la señal abruptamente, se tiene la falla aproximadamente de 9.1 a 12.2 mts hacia atrás.

Recomendaciones

- Nunca se debe calibrar el equipo sobre la ruta del cable.
- Mantener en mente que a lo largo de la ruta del cable puede haber una varilla de tierra o un sistema aparente de tierra que nos afecte en la señal del equipo.

Modo: “TIME & DEPTH”

Es un método auditivo que nos sirve para acercarnos mas al lugar de la falla, para este método se requiere:

1. Conectar cualquier micrófono (verde o rojo) y encender su canal respectivo.
2. Colocar el “Logic Trip Sensitivity” en posición de cero.
3. Instalar los audífonos y así mismo colocar el botón de operación en posición de mono.

En esta posición la explosión se escuchará en los audífonos, se debe ajustar el volumen con el botón de “A. Sensitivity” y con el de los audífonos. Una vez localizada la falla se instala el segundo micrófono y se enciende su canal respectivo, se coloca inicialmente a 1.5 mts de separación del primero y se irán moviendo en la dirección que nos indiquen los Leds de micrófonos así mismo se ira reduciendo la distancia entre ellos.

Si se quiere eliminar ruidos ajenos a la explosión ajustar el equipo en modo: “TIME =---MSEC”.

Modo: “TIME=---MSEC”.

Para utilizar esta técnica se requieren los mismos ajustes anteriores; ahora el equipo desplegará en la pantalla la diferencia de tiempo entre la onda magnética y el sonido generado, cuando los micrófonos están más cerca de la falla, el tiempo se reducirá.

Se puede utilizar uno o ambos micrófonos

Modo: “DEPTH=---FT----IN”.

Para utilizar esta técnica es necesario instalar los dos micrófonos; y ahora el equipo desplegará la distancia entre los micrófonos en pies y pulgadas y la distancia hacia la falla estará dada también en pies y pulgadas.

CONCLUSIONES

Existen una gran variedad de fallas en cables subterráneos debidos:

- Al tipo de cable (XLP, plomo, trifásico o monofásico)
- Tipo de falla (fase a neutro, fase a fase) solo en cables trifásicos.
- Resistencia de la falla (franca o de alta resistencia)
- Condiciones de instalación (en ductos o directamente enterrado en tierra)

La importancia de la normatividad para cualquier sistema de distribución de energía eléctrica o en general para cualquier procedimiento donde intervengan diversos intereses, será la base, para otorgarle una mayor vida útil o en su caso detectar las fallas en el menor tiempo posible.

Los lineamientos para desarrollar una red de distribución eléctrica subterránea son similares a los de una red de distribución eléctrica aérea, aunque cuenta con algunas variantes, principalmente las determinadas por las características de los materiales, equipos e infraestructura utilizada.

Debido al incremento en el uso de los sistemas de distribución subterránea presentada en los últimos años en nuestro país, aunado al plan de cogeneración resultado de las políticas gubernamentales, la presente tesis tiene como objeto dar a conocer los lineamientos, métodos y consideraciones teóricas para la localización de fallas en sistemas de distribución subterránea.

Debido a la diversidad presentada dentro de esta área surge la necesidad de desarrollar un adecuado programa de mantenimiento preventivo para cada caso, que proporcionara un incremento en la vida útil del equipo y cableado y de esta manera se evitaran posibles accidentes al personal; arrojando estadísticas de su deterioro, lo cual permitirá predecir posibles

fallas, y reducción de las mismas, asegurando su oportuno cambio o reparación programada, lo que llevara a seguir enfatizando que las ventajas a largo plazo en este tipo de sistemas no solo son estéticas sino también operativas.

Se recomienda la adquisición de la tecnología más actualizada, así como el equipo y capacitación oportuna, lo cual retribuirá a largo plazo para garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro del vital fluido eléctrico tan importante en toda la esfera de la actividad humana volviendo a los sistemas de distribución eléctrica más eficientes.

BIBLIOGRAFÍA.

Sierra Madrigal Víctor. Sansores,
Escalante Alonso. *Manual Técnico de
cables de energía*. Editorial Mc Graw-
Hill, México DF., 1884

Vázquez, Ramírez José.
*Manual Autodidáctico de Líneas
Subterráneas*.
Ediciones CEAC, Barcelona 1986

CFE. subdirección de Distribución
*Normas de distribución, Construcción,
Líneas subterráneas*.
México DF., 1992

Zappetii, Juárez Gaudencio.
Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión.
Ediciones G. Gili, S.A. México DF
1984

Espinosa y Lara Roberto
Sistemas de Distribución.
Editorial Limusa S.A. de C.V
México DF 1990

Viqueira, Landa Jacinto
Redes Eléctricas
Editorial RSI, México DF., 1986
Tomo I.

CFE. Subdirección de Distribución
*Manual de Mantenimiento de Redes
Subterráneas de Distribución*
División Jalisco, 1994

LYF Gerencia de Distribución.
Manual Sistemas de Distribución
Subterránea.
Departamento Cables Subterráneos
Vértiz, 2001

LYF Escuela de Capacitación
Manual para Trabajadores de las
secciones Taller, Operación e
Instalación.
Departamento Cables Subterráneos
Vértiz, 1998

REFERENCIAS

Capitulo I

[1] Normas y Especificaciones, Cia. De Luz y Fza 1982.

Capitulo II

[1] Normas y Especificaciones, Cia. De Luz y Fza 1982.

[2] Kenneth Wark

Mc Graw Hill Interamericana Editores S.A de C.V 1991

Capitulo III

[1] www.cigre.org.mx/uploads/media/12-03.pdf
www.ije.org.mx/publica/bolnd98/artnd98.htm

Capitulo IV

[1] www.syse.com.mx/servicios.shtml

[2] www.syse.com.mx/servicios.shtml

[3] www.strm.org.mx/politica/mod2411.htm

[4] Manual de referencia de la escuela de capacitación de Luz y Fuerza 1980.