

ESTUDIO DE LOS METODOS
PARA LOCALIZAR FALLAS
EN CABLES SUBTERRANEOS
DE SISTEMAS DE
DISTRIBUCION ELECTRICA

INVENTARIADO

19/11/2015

POR: TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Liliana O
16/12/17

03 SEP 2018
Liliana O

POR :

GUILLERMO MACIAS GONZALEZ

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

GUAYAQUIL - ECUADOR

D- 6615

DIRECTOR DE TESIS

ING. MARCELO JARAMILLO A.

M. Jaramillo A.

D-6615

ESTA TESIS ES PATRIMONIO INTELECTUAL DE
LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

ESPOL

LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS
Y DOCTRINAS EXPUESTAS EN ESTA TESIS,
CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE AL AUTOR "

ART. VI DEL REGLAMENTO DE EXAMENES Y
TITULOS PROFESIONALES DE LA ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

Guillermo Macías González
GUILLERMO MACIAS GONZALEZ

GUAYAQUIL , MARZO 1974

A MIS PADRES, ESPOSA E HIJO

A QUIENES DEDICO ESTA TESIS

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 1º - ASPECTOS GENERALES

Generalidades	1
Descripción del sistema subterráneo de Guil.	4
Equipos Subterráneos	8
Cables subterráneos	13
Sistema conducciones tubulares	14

CAPITULO 2º - CABLES: CARACTERISTICAS Y FALLAS.

Características de los cables subterráneos	21
Efecto de la lámina metálica en cables unipolares	27
Puesta a tierra de la lámina metálica	30
Características Eléctricas:	
Resistencia	35
Inducción	37
Capacidad	40
Mediciones Eléctricas	
Resistencia aislamiento	42
Resistencia conductores	43
Resistencia falla	44
Capacidad	45

Consideraciones generales previa la detección de una falla	46
Fallas en cables:	
Tipos de falla	48
Causas de falla	51
CAPITULO 3º - METODOS PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS	
Generalidades: Clasificación	58
Mediciones preliminares	59
Pruebas	60
Métodos de medida de terminales:	
Medida de puente según Murray	64
Medida de la resistencia de aislamiento	71
Medida de la caída de tensión	78
Medida de la relación de tensiones	84
Medida de capacitancia	91
Medida del sentido de paso de la corriente según Wurmbach	97
Métodos de Reflexión	
Método de impulso	100
Método del Radar	108
Método de rastreo por C.A. modulada	114
Método de rastreo por C.D. modulada	118
Método de diferencia de potencial D.C. sobre el recubrimiento	121
Preparación del punto defectuoso	125

Detector electromagnético	127
Detector gradiente de voltaje	131
Estadística de daños en alimentadoras Sub- terráneas	134
Ejemplos prácticos	139
NOTA FINAL	144
Apéndice	
Bibliografía	

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

En los sistemas de distribución eléctrica subterráneo la localización de fallas en conductores, es uno de los objetivos principales, pues es importante que la restauración del servicio se efectúe con el mínimo tiempo de retraso posible.

En el presente trabajo, describiremos el sistema -- subterráneo de distribución eléctrica de la ciudad de Guayaquil, que sirve al sector comercial, se indicarán las características de los cables utilizados y sus fallas más comunes. /

Luego analizaremos los métodos para localización de fallas, aplicándolo a una falla específica, indicando las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos. /

Como conclusión se dan algunas recomendaciones que deben tomarse para la aplicación de los métodos estudiados en la localización de fallas en cables. /

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

GENERALIDADES:

Una queja común de la gran mayoría de Ingenieros que son responsables de la supervisión y el mantenimiento de cables eléctricos es la falta de un método universal para localizar fallas. Indudablemente, la disponibilidad de un método completamente versátil simplificará grandemente el entrenamiento y equipamiento de especialistas en localizar fallas.

Este método hipotético deberá ser también económico e infalible, su uso reducirá los costos de restauración de servicio a un mínimo y de ser posible aun - llevar a la automatización por computación del proceso entero.

Esta introducción nos llevará a cualquier espera -- sin garantía, que debe ser reconocida, lamentablemente, tal método de localizar falla, todavía no ha sido descubierto. A pesar de los progresos constantes que ocurren cada año, en la efectividad de métodos e instrumentos usados para localización de fallas en cables eléctricos, es una verdad que hoy en día no existe un método ó instrumento universal disponible.

La principal razón por lo cual no ha sido desarro--

llado este método universal, es que no existe una -
falle ó una instalación de cables universales, pues
ambos de los cuales son probablemente prerequisites
para tal método.

Basicamente, las fallas en cables son localizadas -
por aplicación de principios eléctricos que fueron
desarrollados hace mucho tiempo. Hoy en día, el es-
tado de desarrollo de los métodos, nuevamente refle-
jan una gradual pero continua evolución en la apli-
cación de los principios fundamentales.

Esto es evidente en la variedad de métodos, los cua-
les son fácilmente usados en el constante refine-
miento de los instrumentos tradicionales y en el al-
to grado de la habilidad que está siendo desarrolla-
da en la aplicación de tales métodos e instrumentos
por el entrenamiento del personal, sin embargo, ---
allí existe una cantidad considerable de espacios -
vacíos que llenar en la eficiencia de los métodos -
más comunes.

Es por esto que la localización de una falla en ca-
ble, depende principalmente en el entrenamiento y -
experiencia en la aplicación del equipo y también -
en la familiaridad con la idiosincrasia de la insta-

lación bajo prueba.

Siendo las instalaciones subterráneas de distribución eléctrica muy diferentes entre una ciudad y otra, he creído conveniente referirme a un sistema subterráneo para citar como ejemplo, este sistema es el de la ciudad de Guayaquil, cuyo crecimiento de la zona comercial al igual que el de otras grandes ciudades ha experimentado un gran desarrollo, lo cual debido al tipo de construcciones modernas y por ser esta zona la más antigua, la empresa suministradora de energía, se ha visto en la necesidad de construir una red subterránea para suplir así -- las desventajas de las condiciones físicas para --- construir una red aérea.

A continuación se describirá brevemente el sistema subterráneo de la ciudad de Guayaquil, su equipo y cables utilizados.

DESCRIPCION DEL SISTEMA SUBTERRANEO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

La ciudad de Guayaquil tiene desde hace algunos años un índice de crecimiento muy alto comparado con otras ciudades de Latinoamérica, debido a su situación como puerto y a su comercio.

Este crecimiento sin planificación, motivó que adquiriera el sector comercial un gran desarrollo, lo cual trajo como resultado que la compañía suministradora de energía efectúe el cambio de su red aérea a subterránea, en este sector comercial.

Este sistema de distribución eléctrica subterránea de la ciudad, es de tipo radial y tiene como voltaje 4.16 y 13.8 Kv., que representan el 20% y 80% -- respectivamente.

El neutro del sistema es común, pues sirve tanto a la red primaria como a la secundaria, está solidamente conectado a tierra en todas las bóvedas subterráneas y solidamente conectado al sistema de puesta a tierra de las plantas y subestaciones.

Existen numerosas interconexiones que permiten el seccionamiento ó el cambio de centros de cargas entre diferentes alimentadores, para así evitar que la continuidad del servicio eléctrico sea cortada por mucho tiempo.

Este sistema subterráneo representa actualmente unos 14.000 Kva. potencia que es suministrada por 8 alimentadores que parten, cuatro desde las barras de la subestación de transformación Boyecá y las cuatro restantes de las barras de la Planta Térmica Guayaquil, su denominación depende principalmente de la calle de su recorrido principal. En la tabla I, se indican las características de cada una de ellas.

A causa del cambio violento de sistemas, el equipo utilizado al principio era del tipo convencional, pero debido a la crudeza de nuestros inviernos, lo que producía una inundación total de las bóvedas, este equipo ha sido paulatinamente cambiado por equipos del tipo sumergibles, siendo la meta de la Empresa suministradora tener el 100% del equipo a utilizarse en sistemas subterráneos del tipo sumergible, cambio que se logrará después de algunos años, por cuanto el costo de este equipo es muy elevado.

ALIMENTADORAS DEL SECTOR COMERCIAL

TABLA I

<u>ALIMENTADORA</u>	<u>CAPACIDAD</u>	<u>EXTENSION</u>	<u>PORCENT. SUBT.</u>
JUAN MONTALVO		3.700 m.	100 %
BOLIVAR		1.500 m.	100 %
9 DE OCTUBRE		1.260 m.	57 %
PEDRO CARBO		2.150 m.	100 %
PICHINCHA		1.950 m.	54 %
BOYACA		2.500 m.	15 %
RUMICHACA		3.200 m.	44 %
GARAYCOA		2.800 m.	11 %

Actualmente cada una de las bóvedas que contienen interruptores, cortacircuitos y transformadores, se halla provista de una bomba de centina automática para evacuar el agua que penetra, pero debido a que la temporada de invierno pasada fue muy fuerte, estas bombas fueron incapaces de expulsar toda el agua, esto motivó para que la empresa suministradora tome las provisiones necesarias para el futuro, para así evitar la penetración total de agua en las bóvedas.

La alimentación primaria se la efectúa por cables unipolares y tripolares, cubiertos con aislamientos especiales para ser utilizados directamente enterrados ó en ductos.

Debido a su antigüedad el cable denominado Filca -- que se enterraba directamente, este siendo retirado del sistema y reemplazado por cable con aislamiento de polietileno, colocados en ductos subterráneos.

Para poder efectuar las reconecciones y seccionamiento, las bóvedas que poseen equipo de protección, seccionamiento y transformación, son ubicadas estratégicamente en el sistema, es decir en las zonas de mayor carga.

EQUIPO SUBTERRANEO: En las fotografías del No.2 al 10 que se presentan a continuación, vemos los equipos normalmente usados en las bóvedas subterráneas del sistema de 4.16 kv. de Guayaquil.

Fotografías Nos. 2 y 3, nos muestran interruptores de aceite sumergibles de 3 y 4 vías de 400 A. de capacidad. La fotografía No.4, nos presenta cortocircuitos de aceite sumergibles de 200 A. de capacidad. La fotografía No.5, nos muestra una caja sumergible de 4 vías. Las fotografías No.6 y 6A nos presentan un transformador sumergible del tipo CST de la General Electric.

La fotografía No.7 nos presenta cortocircuitos de aceite convencionales de 100 A. de capacidad. La fotografía No.8 nos muestra un banco de capacitores - desconectable, controlado por un reloj.

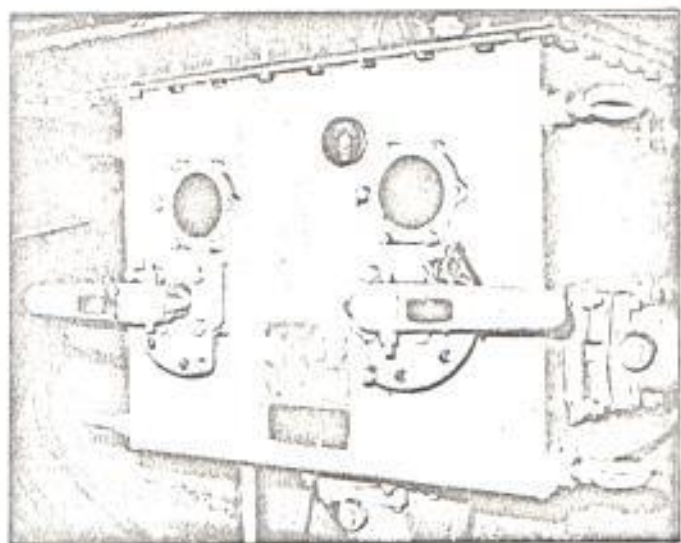
La fotografía No.9 y 9A, nos muestran banco de transformadores del tipo convencional para uso en exteriores pero que han sido instalados en bóvedas subterráneas.

La fotografía No.10 nos muestra interruptores de aceite de 400 A. y 300 A. La fotografía No.10A, nos



FOTOGRAFIA 1

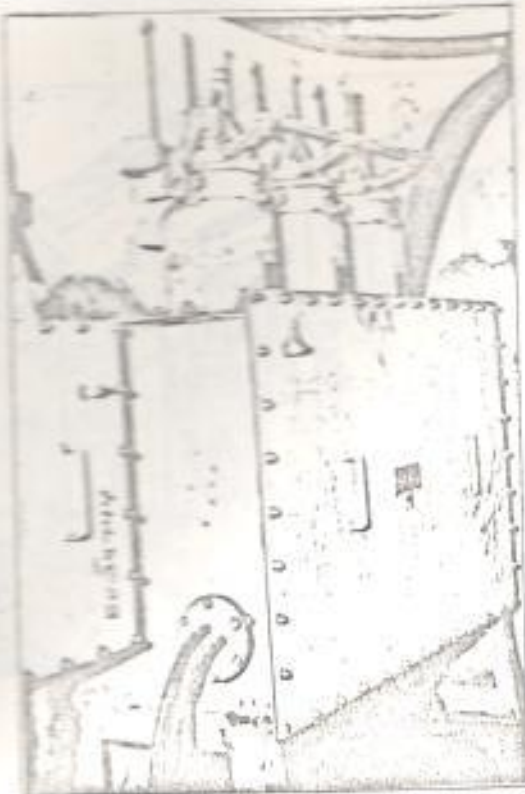
FOTOGRAFIA 2



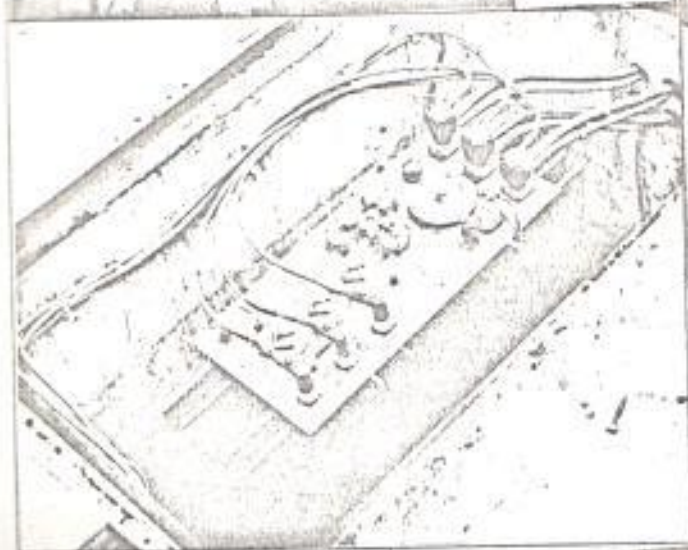
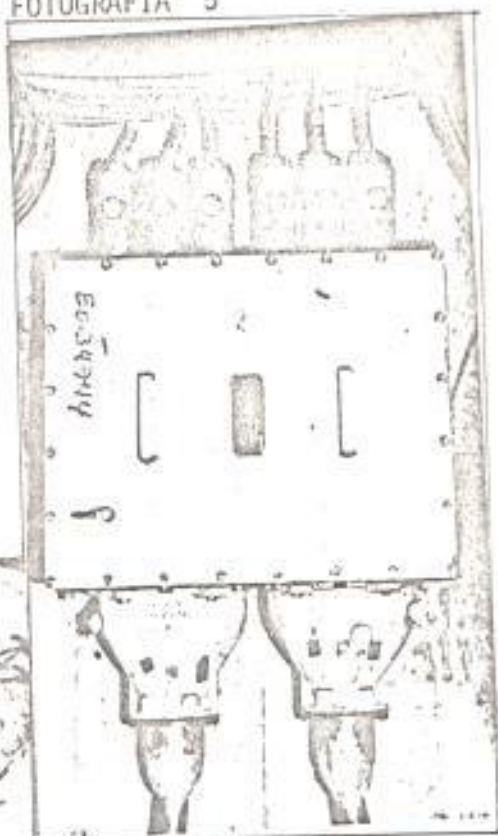
FOTOGRAFIA 3



FOTOGRAFIA 4

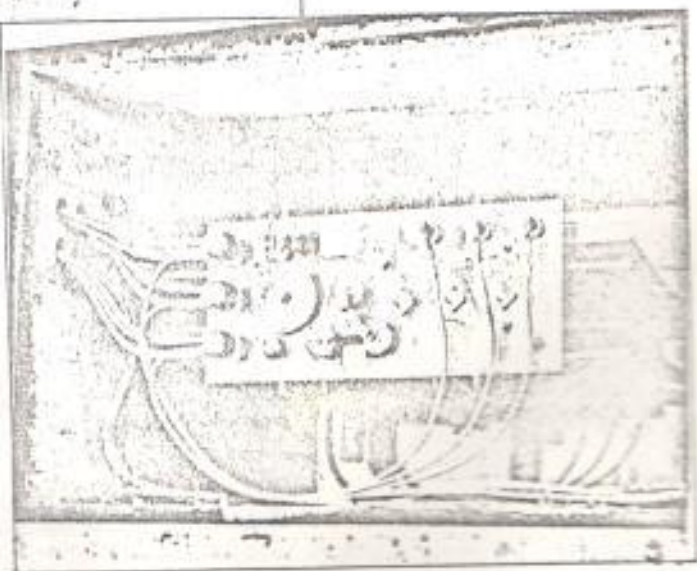


FOTOGRAFIA 5



FOTOGRAFIA 6

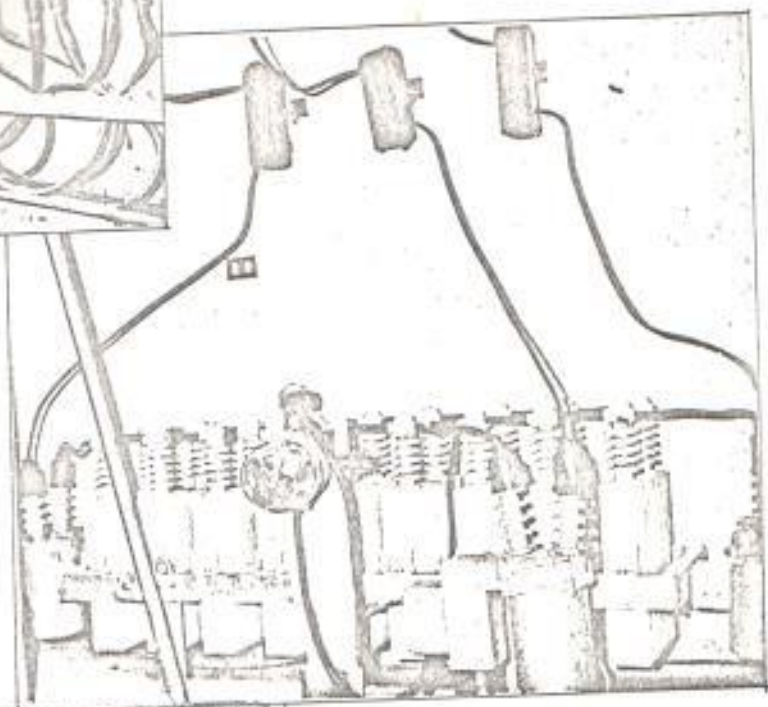
FOTOGRAFIA 6-A



FOTOGRAFIA 7

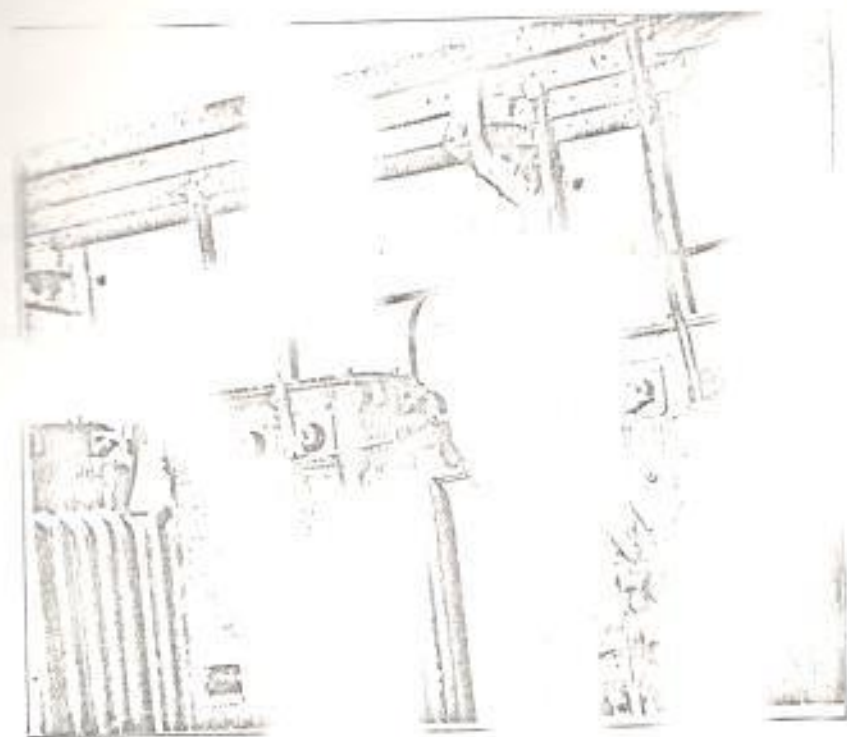


FOTOGRAFIA 8



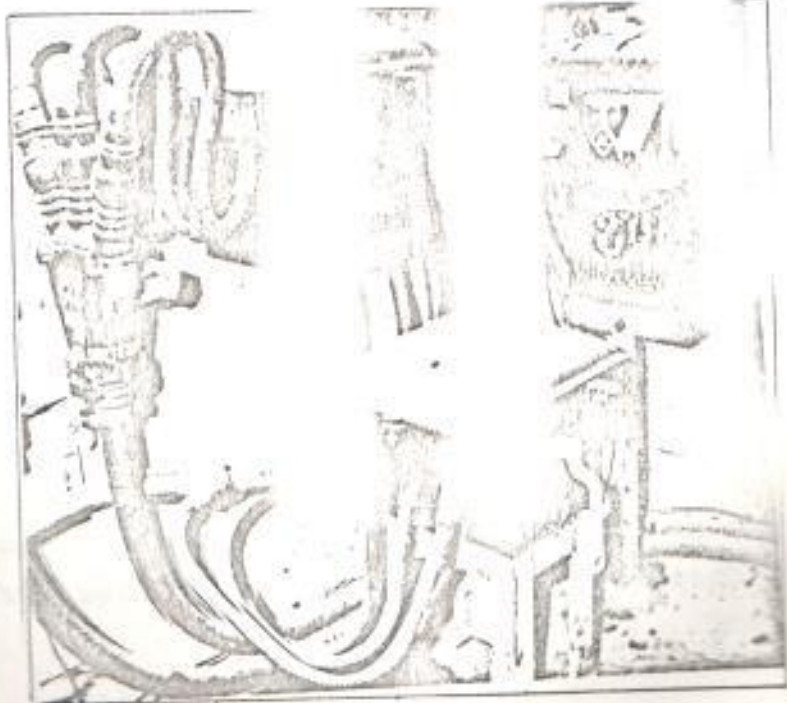
FOTOGRAFIA 9





AFIA

9 a



FOTOGRAFIA ■ 10

presenta los cabezotes terminales.

Como podemos apreciar en las fotografías indicadas, el sistema subterráneo de la ciudad de Guayaquil, - está compuesto de una mezcla heterogenea de equipo convencional para uso en exteriores y equipos sumergibles para uso subterráneo.

CABLES SUBTERRANEOS.- Los cables subterráneos se emplean para transmitir energía en los casos en que no pueden tenderse líneas aéreas. Este caso ocurre en zonas urbanas muy concurridas, en las centrales y subestaciones y sus alrededores, y en los cruces de anchos cauces de agua donde por alguna causa no sea posible el cruce aéreo. La clase de aislamiento y el tipo de cable a usar depende de la tensión y de las necesidades del servicio.

Los materiales aislantes utilizados para cables subterráneos son de tres tipos:

- a) goma ó caucho y sus compuestos.
- b) aislamientos con cambric barnizado.
- c) panel impregnado.

La empresa suministradora de energía, en Guayaquil, ha utilizado en su sistema de distribución primaria,

Los cables con aislamiento de papel impregnado en aceite y con aislamiento de polietileno.

En páginas posteriores se describen completamente estos tipos de cables, enumerando también sus ventajas y desventajas de su utilización en sistemas subterráneos.

SISTEMAS DE CONDUCCIONES TUBULARES Y CAJAS DE REGISTRO.-

El sistema de distribución subterránea es indispensable en las zonas urbanas más densamente edificadas, debido a los grandes transformadores y líneas requeridas, y por la multitud de conexiones de acometida hacia las casas. Los alimentadores se instalan a menudo, en conductos subterráneos a lo largo de las calles principales, teniendo cajas de registros en las aceras, para distribución de las acometidas y en las esquinas, para los cruces de calles e interconexiones.

La disposición del sistema subterráneo de conducciones tubulares y cajas de registros, debe atenderse a dos condiciones generales (1) que son:

- 1) Número definitivo y calibre de los cables a instalar.
- 2) Condiciones físicas y geográficas.

El número definitivo de los cables a instalar se de terminará según las probabilidades de la carga; es de buen criterio dejar provisiones para ampliaciones futuras.

Las condiciones físicas y geográficas intervienen -- por la necesidad de evitar interferencias con otros servicios subterráneos, tales como agua, gas, alcantarillado, teléfono y para estudiar la situación más conveniente de las cajas de registros, teniendo en cuenta las curvas máximas en los conductos y las di ferencias de nivel.

Las cajas de registro deben instalarse en los puntos requeridos por las condiciones topográficas por la tensión de tiro del cable que sea visible para -- su seguridad, por el coeficiente de razonamiento -- del cable dentro de los tubos y por la existencia -- de curvas y desniveles en la conducción tubular.

La forma y dimensión de la caja de registro dependen del número, tamaño y tipo de los cables y del número y dirección de los conductores que concurren. Sus dimensiones horizontales y verticales deben ser suficiente para permitir dilataciones de los cables longitud para empalmes, separación suficiente entre

cables para permitir la realización de empalmes, para la instalación de cualquier equipo auxiliar que sea necesario.

Los ductos se construyen de substancias incombustibles, resistentes a la acción de la humedad y se los encuentran de diferentes diámetros y longitudes.

El diámetro de los ductos viene determinado por el conductor ó los conductores que se van a colocar. Cuando se trata de líneas trifásicas es preferible colocar cada conductor de fase en un ducto a fin de tener dos paredes de las mismas entre cables adyacentes. (1).

En el sistema de distribución subterráneo de la ciudad de Guayaquil se utilizan ductos de concreto y de fibra. Los de concreto se colocan a lo largo de las aceras, dejando los de fibra para el cruce de las calles, por ser más resistentes a acciones mecánicas.

En las figs. 11 podemos apreciar, cortes de ductos subterráneos, y disposiciones de estos en los pozos de registro.

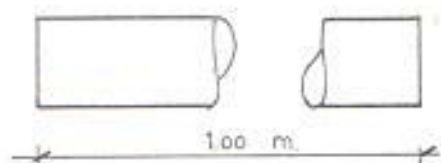
INSPECCION DE UN SISTEMA DE CONDUCCIONES TUBULARES.-

111 KNOWLTON, MANUAL STANDARD DEL ING. ELECTRICISTA
CAPITULO 14. ARTICULO 295.

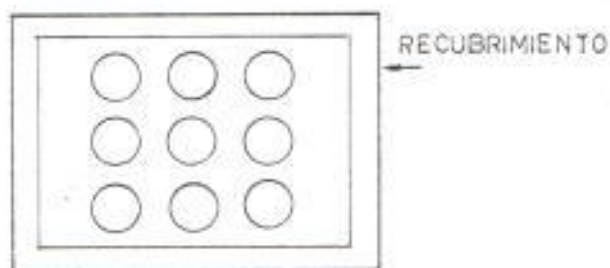
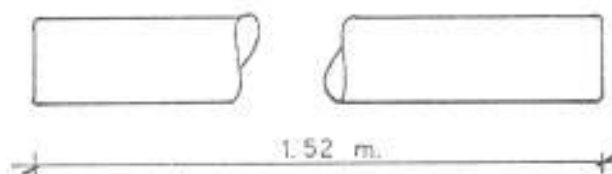
DUCTOS Y POZOS DE REGISTRO



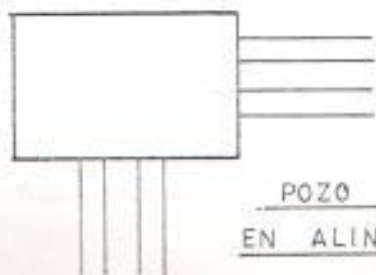
CONCRETO



FIBRA



DISPOSICION DE LOS TUBOS INCRUSTADOS
EN BLOQUES DE HORMIGON



POZO DE REGISTRO
EN ALINEACIONES RECTAS

fig. 11

Antes de utilizar un sistema de ductos, debemos explorar las condiciones en que se encuentra, pues es de vital importancia que los ductos estén en condiciones óptimas de utilización.

En la instalación de cables en ductos, se presentan dos casos:

- 1) Cuando los ductos son nuevos.
- 2) Cuando tenemos ductos desocupados en un sistema de ductos.

Para el primer caso, el reconocimiento es a base de cables mensajeros, ó cualquier sistema apropiado para verificar si el trayecto del ducto se encuentra sin ningún cuerpo extraño que pueda obstruir el paso de los cables.

Para el segundo caso, podemos efectuar la verificación de las condiciones del ducto de la misma forma que el caso anterior y particularmente cuando el sistema de ductos está ocupado con cables con camisa de plomo, el reconocimiento se lo realiza mediante un método que se basa en mediciones eléctricas, y que es conocido con el nombre de "Reconocimiento de Ductos".

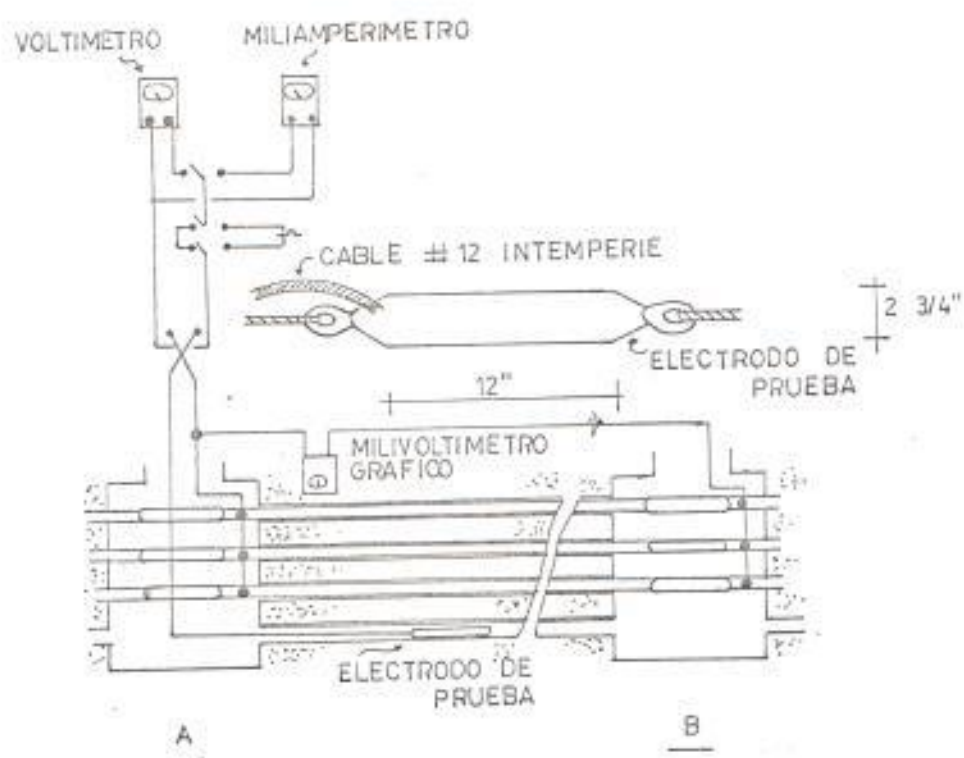
El método consiste en hacer pasar un electrodo por un ducto vacío adyacente a los ductos que contienen los cables, se conectan instrumentos entre este electrodo y la camisa de plomo de los cables adyacentes y se efectúan lecturas de potencial, intensidad y resistencia a intervalos de 2 metros ó más a través del ducto.

La fig. 12 , nos muestra la disposición de los elementos e instrumentos para efectuar el reconocimiento, el electrodo de prueba más conveniente usado consiste de un pedazo de cable de 12 pulgadas de largo; - 2.75 pulgadas de diámetro con lámina de plomo al descubierto, un ojo para halar acoplado a un extremo, y un cable soldado a la lámina para poder conectar el electrodo a los instrumentos.

Con estas pruebas, podemos verificar que efectos han ocurrido sobre el conductor con camisa de plomo existente.

En la ciudad de Guayaquil, el Reconocimiento de ductos se lo realiza a base de cables mensajeros y objetivamente, al inspeccionar los cables existentes en ductos instalados.

INSPECCION DE UN SISTEMA DE DUCTOS
CON CABLES CON CAMISAS DE PLOMO



METODO "DUCT SURVEY"

fig. 12

CAPITULO 2

CABLES :

CARACTERISTICAS Y FALLAS

CARACTERISTICAS DE LOS CABLES

SUBTERRANEOS

Los cables son clasificados de acuerdo a su aislamiento, contándose entre los más usados los de papel embriado barnizado, caucho y asbesto. Cada uno de estos materiales tienen sus características propias lo que permite poder seleccionar para cada uso el material más conveniente.

Así por ejemplo: el asbesto es altamente resistente a la temperatura, el Neopreno que pertenece a la familia de los elastómeros, es resistente a la acción de compuestos químicos, etc.

Los cables de poder subterráneo, se construyen para instalarse en la siguiente forma: en ductos ó directamente enterrados. Estos cables pueden ser unipolares ó tripolares y pueden estar dotados de una lámina metálica que recubre el material aislante ó estar provistos de una camisa protectora de plomo.

Refiriéndonos al sistema subterráneo tomado como aplicación, podemos indicar que en el sistema subterráneo de distribución eléctrica de la ciudad de --

Generalmente, se utilizan con más frecuencia los siguientes cables:

- Cable tripolar PILCA con camisa de plomo.
- Cable tripolar PILCPE con camisa de plomo.
- Cable Unipolar con aislamiento de polietileno.

Las características más importantes de estos cables se indican a continuación.

Cable Tripolar con camisa de plomo.- Refiriéndonos a la fig. 13, esta representa un corte transversal del cable con camisa de plomo denominado PILCA, en la cual podemos apreciar sus partes constitutivas.

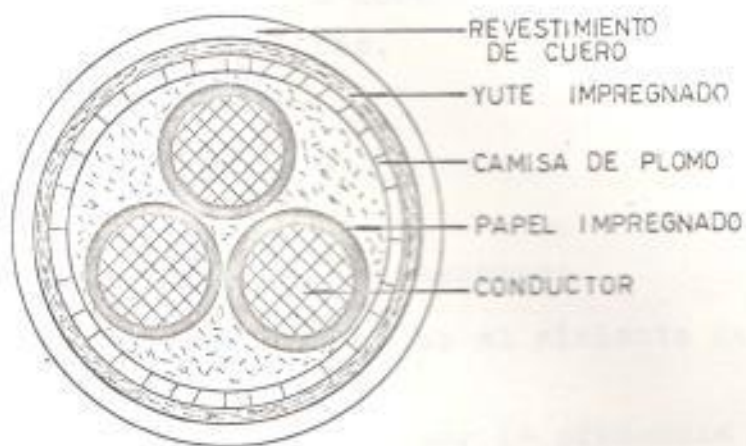


fig. 13

La construcción con camisa de plomo se la realiza - para cumplir con las siguientes finalidades:

- 1) protección de los conductores contra la humedad.
- 2) protección contra la corrosión.
- 3) protección mecánica.

Este tipo sólido de construcción del cable ha dado lugar a que en diferentes casos se utilice directamente enterrado en el suelo, prescindiendo de ductos.

Los cables contruídos de esta forma presentan ventajas y desventajas en el uso de los mismos, entre las principales ventajas encontramos:

- 1) resistencia contra acciones mecánicas.
- 2) escasas pérdidas dieléctricas.
- 3) resistencia a la abrasión.
- 4) tiempo de vida larga.
- 5) bajo costo.

Entre las principales desventajas tenemos:

- 1) mínima flexibilidad, debido a que el aislante de papel es quebradizo.
- 2) facilidad de absorción de agua por la presencia del papel.

La camisa de plomo se la coloca a tierra, con la finalidad de formar una pila galvánica para así evitar la corrosión del cobre, pues el plomo es un metal que entre sus características tiene la de ser resistente a la corrosión. Además se prevee un camino de descarga para la corriente de falla.

En página No. , se explicará más detenidamente - las formas y demás razones de la puesta a tierra de la camisa de plomo en los conductores tripolares.

CABLE TRIPOLAR CON CAMISA DE PLOMO.- La fig. 14 , re presenta un corte transversal del cable tripolar -- con camisa de plomo, denominado PILCPE, en la cual podemos apreciar sus partes constitutivas.

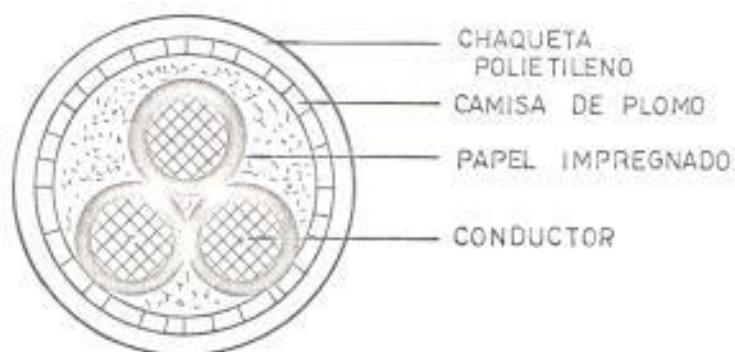


fig. 14

La construcción con camisa de plomo sobre los conductores y el aislante, es igual que para el tipo anterior de cable, es decir, protección contra la humedad, corrosión y acciones mecánicas.

La ausencia de la chaqueta de cuero lo hace menos resistente que el anterior, por lo cual se lo utiliza en ductos.

Este cable presenta características de ventajas y desventajas, similares al anterior, contándose además entre las ventajas, que debido a su revestimiento de polietileno, su superficie es liza y dura, resistente a acciones químicas y microorganismo, lo cual hace que sea utilizado en sistemas de ductos.

CABLE UNIPOLAR CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO.- La fig. 15, representa un corte transversal de conductor en el cual podemos apreciar la disposición de sus elementos constitutivos.

Entre las principales ventajas de este cable tenemos

- 1) resistente a acciones mecánicas
- 2) excelente flexibilidad
- 3) resistente al calor
- 4) fácil manejo para utilizarlo en ductos subterráneos.

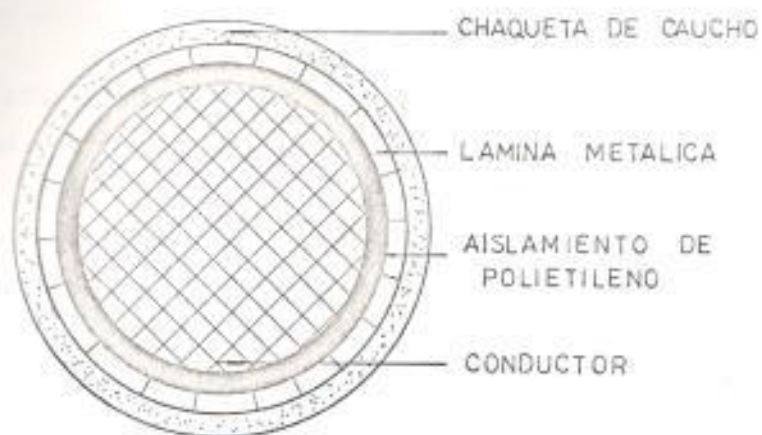


fig. 15

Entre sus desventajas tenemos: que por su construcción no se lo puede utilizar directamente enterrado en el suelo.

El propósito de colocar una cinta metálica alrededor de un conductor aislado, se debe a los siguientes motivos más comunes:

- 1) para reducir la formación de corona.
- 2) para reducir la resistencia térmica.
- 3) para disminuir las pérdidas de potencia.
- 4) para control de la fuerza electrostática.

El efecto corona se presenta cuando el potencial de un conductor se lleva hasta valores tales, que sobrepasen la rigidez dieléctrica del aislante que ro

des al conductor, ocasionando pérdidas y falle en los conductores.

La cinta semiconductor tiene la particularidad de que las corrientes que circulan a través del aislante siguen el camino hasta la cinta metálica, y de aquí a tierra, es decir, permite el flujo de corriente en un sólo sentido.

El revestimiento de caucho exterior, dá una capa de impermeabilizante necesaria, para evitar la entrada de humedad al conductor.

La lámina metálica se coloca a tierra, principalmente para obtener un mismo potencial en todos los puntos del campo eléctrico con respecto a tierra y también para proveer un camino de fuga a la corriente que circula a través de la cinta semiconductor.

EFFECTOS DE LA LAMINA METALICA EN CABLE UNIPOLAR.-

En su construcción los cables unipolares poseen una lámina metálica, en la cual debido al campo electrostático que se produce, ocurren en el conductor, efectos que enumeraremos a continuación:

1.- Al aplicar un voltaje alterno alti, en un con-

ductor, se producen dos clases de corrientes:

- a) corriente de fuga, y
- b) corriente de carga.

La corriente de fuga va del conductor a la lámina metálica y es del orden $I = E/R$, siendo R la resistencia del aislamiento. Mientras el aislamiento está en condiciones normales, esta corriente será mínima, en cambio cuando ocurre el deterioro del aislamiento por cualquier causa, la corriente aumenta, produciendo la falla del conductor. (fig.16).

Debido a la diferencia de potencial que existe entre la lámina metálica y el conductor, y estando separados ambos por un dieléctrico, tenemos formado un condensador, circulando una corriente de carga desde el conductor a la lámina. Esta diferencia de potencial es debido a que en un conductor metálico las cargas siempre están en la periferia. (fig.16a)

2.- Al circular una corriente alterna por el conductor, se produce un campo magnético variable alrededor de este, el cual produce una f.e.m. inducida, que está de acuerdo a la ley de Lenz. Esta fuerza electromotriz inducida, origina la circulación de -

Las corrientes de Eddy, que circulan en circuito cerrado por la sección transversal de la lámina y ocasiona una pérdida de potencia del orden I^2R , lo que se manifiesta como un calentamiento, que produce un aumento de la resistencia del conductor. En la fig. 16-a podemos apreciar este efecto electromagnético.

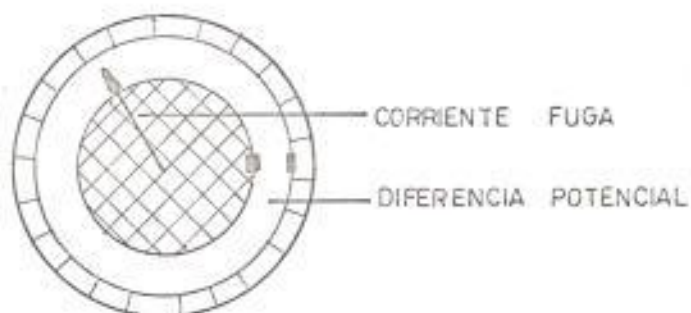


fig. 16

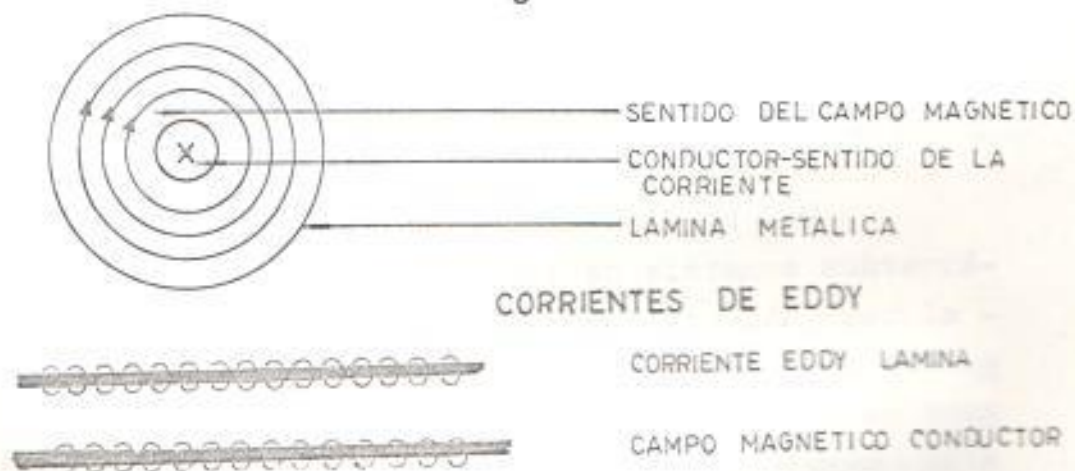


fig. 16 a

PUESTA A TIERRA.- La puesta a tierra de la camisa protectora de plomo en conductores tripolares subterráneos y de la cinta ó lámina metálica en conductores unipolares subterráneos, es una práctica que se inició con la construcción de los primeros conductores de este tipo.

La conexión a tierra se la realiza en todo punto -- que lo permita el sistema como ser: salidas de subestaciones, bóvedas, cajas de registro, etc.

Las razones para la conexión a tierra de estos dos componentes de un cable subterráneo son debido a -- los motivos siguientes.

CONDUCTORES CON CAMISA DE PLOMO.- En los cables -- tripolares con camisa de protección de plomo, la -- puesta a tierra se la realiza por las siguientes razones:

1.- En los cables utilizados en sistemas subterráneos, ocurre frecuentemente la corrosión, por la acción galvánica entre metales diferentes en presencia de un electrolito, esto es debido a que se establecen potenciales eléctricos entre diferentes metales ó diferentes condiciones en el mismo metal, en

un electrolito.

La corriente eléctrica fluye en el electrolito del metal anódico al metal catódico y a través de un circuito de retorno del cátodo al ánodo, el metal que sufre la corrosión. Entre los metales más resistentes contra corrosión y de costo relativamente bajo se encuentra el plomo, razón por lo que es ampliamente usado para este tipo de construcción.

La Fig.17 , contiene un diagrama del efecto galvánico.

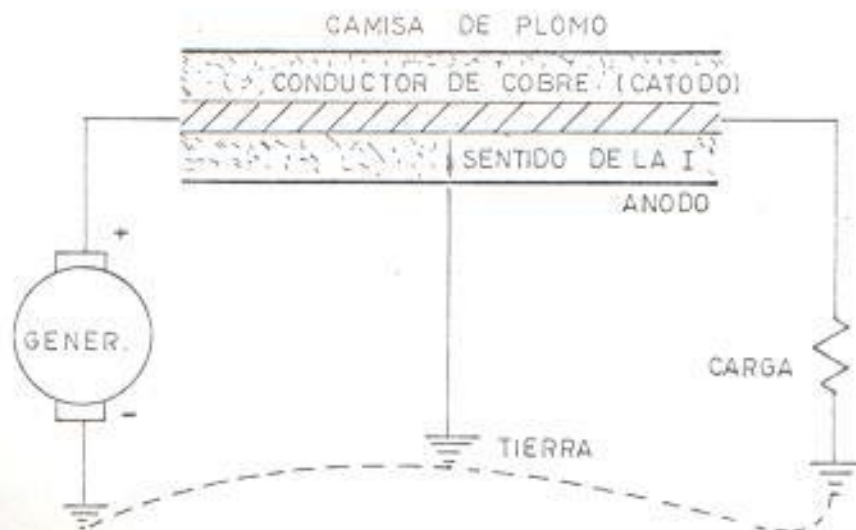


fig. 17

2.- Para proveer un camino a la corriente de falla la forma de conexión a tierra es variada, utilizándose en el sistema subterráneo de Guayaquil, la varilla de cobre copperweld.

CONDUCTORES UNIFOLARES CON CINTA METALICA.- Las tensiones que son directamente proporcionales a la corriente que fluye por el conductor, a la frecuencia, al coeficiente de inducción mutua entre el conductor y la envoltura metálica, así como a la longitud del cable, se inducen en la envoltura metálica de los cables de un solo conductor.

En los métodos usuales de instalación, es decir, conectando las envolturas metálicas en los menguitos y poniéndolos a tierra en los terminales, las tensiones inducidas originan corrientes que fluyen por las envolturas metálicas. Estas a su vez causan pérdidas adicionales y por consiguiente, reducen la capacidad de carga en corriente alterna monofásica ó trifásica.

Si por razones económicas ó con vistas a la capacidad de carga de los cables deben evitarse estas pérdidas adicionales, las envolturas metálicas ó las pantallas de los cables, así como los terminales conectados galvanicamente a ellos, pueden ponerse a --

tierra en un extremo solamente.

En el otro, los terminales se aíslan; esto trae consigo que las tensiones inducidas entre las envolturas metálicas y tierra en el extremo libre alcancen su valor de cresta que es mayor que el valor de las tensiones inducidas entre los extremos libres de las envolturas metálicas en un sistema trifásico. A fin de mantener estas tensiones que son proporcionales a las longitudes de los cables, dentro de los límites admisibles, las uniones por cables puestas a tierra en un extremo deben ser cortas, ó bien las tensiones inducidas se deben dividir intercalando fuerzas aislantes. (en caso de tramos largos). Las envolturas metálicas de los tramos parciales resultantes se ponen a tierra en un extremo solamente.

En instalaciones de media tensión es posible mantener las pérdidas debidas a la corriente dentro de límites razonables, eligiendo el tipo de cable más favorable.

En redes de corriente trifásica debe observarse solamente las derivaciones a tierra, puesto que durante el servicio normal, los campos magnéticos de las tres fases se compensan entre sí.

Se obtiene una distribución completamente uniforme de la corriente, solo utilizando cables de tres conductores, puesto que de este forma se eliminará la influencia inductiva de los cables próximos en condiciones normales de servicio, debido al trenzado de los conductores.

En definitiva la puesta a tierra de la cinta metálica en conductores unipolares se debe a:

- 1.- Para igualar los potenciales de todos los puntos del campo eléctrico del conductor, con respecto a tierra.
- 2.- Para proveer un camino a la corriente de falla, en caso de un defecto.

La forma de conexión es similar a la indicada para el cable con camisa de plomo.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

RESISTENCIA.- La resistencia de los conductores de un cable depende de la constitución de los mismos y del cable.

Esta magnitud determinada en principio por la resistencia a la corriente continua del conductor, está incrementada por el efecto peculiar, por la influencia de la cubierta de plomo y la armadura, y se modifica con las variaciones de temperatura.

La resistencia de los conductores es la causa principal de la pérdida de la energía en las líneas de transporte. A menos que se especifique otra cosa, al hablar de resistencia nos referimos a la resistencia efectiva. La resistencia efectiva de un conductor es:

$$R = \frac{\text{Pérdida de Potencia en el conductor}}{I^2} \text{ ohmios}$$

P_p = Potencia en vatios

I = Corriente eficaz del conductor. A.

La resistencia efectiva es igual a la resistencia del conductor a la corriente continua solo en aquellos casos en que la distribución de la corriente en el conductor sea uniforme.

La resistencia a la corriente continua viene dada - por la fórmula:

$$R_o = \rho \frac{L}{A}$$

donde:

R_o = Resistencia del conductor

L = Longitud

A = Area de la sección transversal

La distribución uniforme de la corriente en la sección del conductor solamente se presenta en la corriente continua. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente alterna, se hace mas pronunciada la diferencia entre las densidades de corriente de las distintas zonas de una sección transversal. Este fenómeno se llama efecto peculiar ó efecto piel. En un conductor de sección circular generalmente aumenta la densidad de corriente del interior al exterior. Sin embargo en los conductores de radio suficientemente grande, se puede presentar una densidad

de corriente oscilante a lo largo del radio. La causa de este efecto es debido a la falta de uniformidad de los enlaces de flujo.

En los cables de varios conductores, las pérdidas adicionales son causadas por el desplazamiento de la corriente en el conductor (efecto superficial), por las corrientes parásitas en la envoltura metálica y en la armadura, así como por la magnetización de esta última.

En cables de un sólo conductor se originan pérdidas adicionales como consecuencia de la corriente de inducción en la envoltura metálica.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.- La resistencia de aislamiento depende de:

- 1.- Las dimensiones del cable.
- 2.- Clase y composición del aislamiento
- 3.- de la humedad del aislamiento
- 4.- de la temperatura.

INDUCCION.- La inductancia es la propiedad de un circuito que relaciona la f.e.m. inducida, por la variación del flujo magnético, con la velocidad de variación de la corriente. El coeficiente de auto-

inducción L de un conductor macizo, redondo e infinitamente largo, dispuesto, según se indica en la fig. 18, se calcula por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot l \cdot \ln \frac{D}{r'} \quad \text{m H.}$$

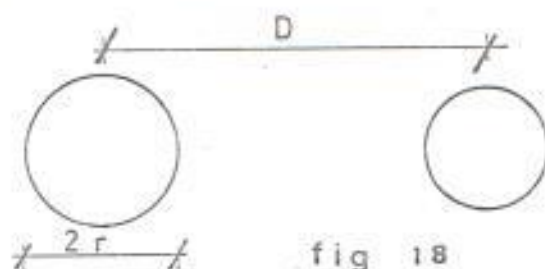
μ_0 = Constante de inducción (permeabilidad en el vacío), en H/cm.

D = Separación entre ejes de los conductores, en mm.

r' = Radio equivalente del conductor, en mm:

r = Radio del conductor, en mm.

l = Longitud de los conductores (del cable), en Km.



Si sustituimos el valor numérico de μ_0 se obtiene, para una longitud de cable de 1 km y para un solo conductor.

$$L = 0.2 \ln \frac{D}{r'}$$

$$L = 0.2 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right) \quad \text{mH/Km}$$

El coeficiente de autoinducción de una línea en un sistema monofásico de corriente alterna se puede obtener con la ecuación No. suponiendo que un conductor sirve como línea de ida y el otro de retorno.

Las ecuaciones para el cálculo de los coeficientes de autoinducción de conductores en un sistema trifásico se encuentran indicadas en la Tabla II.

Existen al respecto tablas de cables, indicando los diámetros, coeficientes y demás parámetros necesarios para los cálculos.

REACTANCIA INDUCTIVA.- Esta magnitud está ligada a la energía electromagnética almacenada en el cable y su valor viene expresado en ohms/km, siendo matemáticamente igual a:

$$X_L = 2 \pi f L$$

en donde:

- X_L = Reactancia inductiva
 f = Frecuencia del sistema
 L = Coeficiente de autoinducción en Henrio/
Km.

CAPACIDAD.- La capacidad entre conductores es la carga por unidad de diferencia de potencial entre ellos. La capacidad de un cable depende de:

- 1.- Las dimensiones del cable (longitud, diámetro de los conductores, separación, etc.
- 2.- La constante dieléctrica relativa E_r del aislamiento.

CABLES DE CAMPO RADIAL.- Denominándolos así a los cables de un solo conductor, cables con tres envolturas y con entallamiento individual.

La capacidad de cada conductor respecto al recubrimiento ó pantalla que rodea al aislamiento es igualmente la capacidad de servicio, y puede calcularse:

$$C = \frac{5.56 E_r}{\ln \frac{D}{d}} \cdot 10^{-2} \quad \mu F / Km$$

en donde:

- E_r = Constante dieléctrica relativa
 D = Diámetro por debajo del recubrimiento metálico, en mm.
 d = Diámetro del conductor, incluyendo la capa conductora en mm.

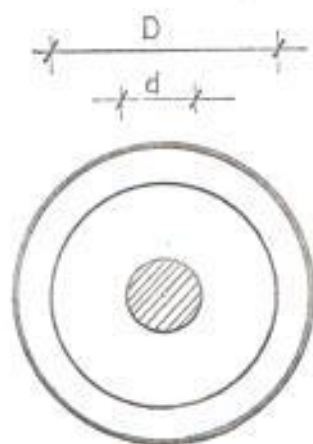


fig. 19

La corriente de carga en servicio trifásico simétrico es:

$$I_c = E_o W. C. 10^{-3} \quad \text{A / Km}$$

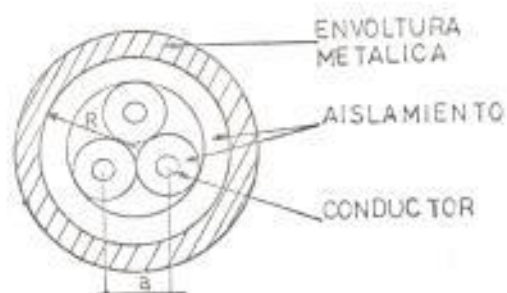


fig. 20

REACTANCIA CAPACITIVA.- (X_c) Esta magnitud está ligada a la energía electrostática almacenada en el cable y se expresa en ohmios/Km. No tiene mayor importancia sino en líneas muy largas y su valor depende de la capacidad que existe entre los distintos conductores de un sistema.

MEDICIONES ELECTRICAS EN LA INSTALACION DE CABLES.-
 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.- Para los cables del tipo fajados, de campo no radial, la resistencia de aislamiento R_i de cada conductor se mide respecto a los otros unidos y el recubrimiento metálico puesto a tierra.

En donde:

- E_0 = Tensión línea a neutro
 C = Capacidad línea a neutro.

EN CABLES DE TRES CONDUCTORES.- Con aislamiento de papel y en cables de tres conductores con aislamiento de plástico y una pantalla común ó conductor concéntrico rodeando los conductores retorcidos, la capacidad de servicio teórico C en sistemas trifásicos simétricos es:

$$C = \frac{0.111 E_r}{\ln \frac{D^2 (3R^2 - D^2)^3}{r^2 (27R^6 - D^6)}} \quad \mu F / Km.$$

Siendo:

- r = Radio del conductor incluidas las capas conductoras, en mm.
 D = Separación entre conductores, en mm.
 R = Radio por debajo del recubrimiento.

La identificación de una falla es usualmente acompañada por el uso de un probador de aislamiento. En la actualidad existen instrumentos portátiles para la medición de la resistencia de aislamiento, estos se pueden clasificar como equipos de prueba y ohmímetros. Los equipos de prueba varían desde un simple puente Wheatstone con galvanómetro y batería hasta los más complicados, en que se incluye un puente, una resistencia patron de 0.1 megohmios y un condensador. Los ohmímetros indican directamente la resistencia y son muy convenientes para ensayos repetidos.

El equipo portátil más utilizado es el denominado Megger de Evershed, es un ohmetro que emplea el principio del galvanómetro diferencial; están representados en el apéndice respectivo, algunos modelos comerciales.

Las pruebas pueden ser hechas desde cada terminal disponible para determinar la existencia de circuitos abiertos ó resistencias series en conductores, de corto circuito ó resistencias paralelas entre cada par de conductores, y de tierras ó resistencia paralela entre cada conductor y su lámina ó casaca, ó la tierra, como el caso se presente.

Un megohmetro disponible para trabajos en cables, deberá tener un rango continuo de bajo voltaje como rango de prueba de aislamiento en alto voltaje de - por lo menos 250 voltios.

Desde que las lecturas toman pocos segundos, la ver sión manuable la cual no requiere una batería ó línea adicional es muy popular en la actualidad, para las pruebas sobre cables.

El Megger nos determina entonces el valor de la resistencia del aislamiento, en el momento de una falla, este valor es denominado resistencia de falla, el cual varía cuando esta es de una línea a tierra, ó un cortocircuito, ó dos líneas a tierra, etc.

El valor de la resistencia de falla tiene mucha importancia para poder utilizar el equipo y método -- más adecuado para localizar la falla en un cable.

CAPACIDAD.- La capacidad se mide de forma similar a la resistencia de aislamiento, explicado anteriormente. Para ello se utiliza un patente de medida - de capacidades.

CONSIDERACIONES TECNICAS PREVIA LA DETECCION DE UNA FALLA

Previa la utilización de los equipos que nos permiten localizar el punto de falla, es necesario la total desconexión de la fuente de poder de la parte del sistema a probarse. Esta medida nos garantiza la seguridad que debe existir para el personal de trabajo y para los equipos a utilizarse.

Una vez que los circuitos a probarse estén aislados del resto del sistema, se debe tomar en cuenta las características del circuito comprendido en la zona de prueba, para poder utilizar los métodos de localización más convenientes.

Las características más importantes a considerarse son las siguientes:

a) CONDUCTOR:

Tensión de operación.

Número de fases del circuito.

Disposición de los materiales de construcción, de aislamiento, tipo de revestimiento, lámina metálica,

calibre del conductor.

b) TIPO DE INSTALACION:

En este punto deben tomarse en consideración:

- Si los cables están instalados en ductos.
- Si los cables están directamente enterrados.

c) CARACTERISTICAS DEL CIRCUITO ELECTRICO:

Dentro de esta clasificación consideraremos:

- Tipo de red? radial, mallado.
- Componente afectada por la falla: alimentador principal, ramal.

d) CONDICIONES AMBIENTALES:

Tendremos que tomar muy en cuenta las condiciones + del suelo en la zona afectada, posibilidad de alguna filtración en los ductos debido a aguas servidas, etc.

Esta información preliminar, nos permitirá utilizar el método más adecuado para localizar la falla y poder continuar con los pasos lógicos a darse en el proceso para detectar una falla.

TIPOS DE FALLA

Esta tesis tendrá por objeto estudiar los métodos más comunes que se utilizan en la localización de fallas ocurridas en sistemas subterráneos de distribución primaria.

Las fallas en sistemas de distribución primaria se pueden dividir en dos grandes grupos:

- 1) Fallas de circuito abierto, y
- 2) fallas de circuito cerrado.

Las fallas por circuito abierto se producen cuando se hace presente una discontinuidad en el camino de la corriente, debido principalmente a rotura de los conductores de fase.

Las fallas de circuito cerrado son todas aquellas que se manifiestan como cortocircuito cuando se pierde la resistencia del aislamiento, originando falla entre conductores ó de línea a tierra.

Podemos encontrar una variedad de casos que pueden presentarse en sistemas subterráneos, así tenemos -

circuitos abiertos, caminos resistivos, falla a tierra, corte circuitos, etc.

Todas las condiciones indicadas se presentan en los casos prácticos variando su incidencia de acuerdo al tipo de falla.

TIPOS DE FALLAS

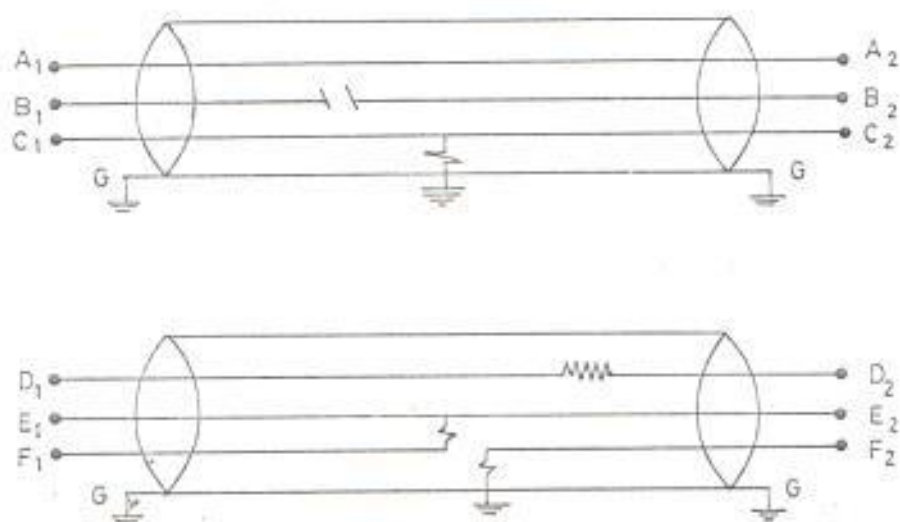


fig. 21

Hay que notar que excepto para las fallas de circuito abierto, todas las fallas y el retorno de tierra son mostrados como teniendo algún valor finito de resistencia, lo cual debe reconocerse como un elemento en el camino de falla.

El circuito abierto y el conductor resistivo son ambos clasificados como fallas serie y pueden identificarse cuando al medir la resistencia del conductor, notamos una variación con respecto a su valor normal. Estas fallas siempre cuentan como una pequeña minoría en los problemas de cables.

El porcentaje mayor consiste de los cortocircuitos y los circuitos a tierra, los cuales son clasificados como fallas paralelas y pueden identificarse -- cuando al medir el valor del aislamiento notamos un cambio con respecto a su valor normal.

Estos valores de resistencia del conductor y resistencia del aislamiento vienen indicados por el fabricante ó en su defecto pueden encontrarse en los manuales de cables existentes.

CAUSAS DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS

De acuerdo a datos estadísticos y a experiencias de numerosas empresas suministradoras de energía, las causas más comunes de fallas que se pueden encontrar en cables de un sistema de distribución eléctrica -- subterránea, se pueden dividir en cuatro grupos:

- 1.- Causas generales, las que se relacionan con fallas que se producen en los conductores, principalmente en el recubrimiento.
- 2.- Causas directas, las que se derivan de fallas en la fabricación y por el tiempo de servicio.
- 3.- Causas indirectas, las que son debido a factores externos del conductor.
- 4.- Causas desconocidas, denominándolas así, a las que no pueden ser visibles, pues los conductores no muestran ninguna evidencia.

A continuación se describirán brevemente algunas causas de fallas para cada una de las divisiones indicadas anteriormente.

- 1.- CAUSAS GENERALES.- Dentro de esta clasificación podemos encontrar las siguientes:

(1) WESTINGHOUSE, UNALGROUND REFERENCE BOOK - CAPITULO 11.

a) Fractura del recubrimiento, incluyendo cortes y defectos en el mismo, son causadas principalmente-- por la entrada de humedad y por la deteriorización lenta del recubrimiento, debido al drenaje del componente aislante.

b) Corrosión del recubrimiento, producido por la electrólisis y por la acción química. Esta falla ocurre siempre en los cables que poseen una chaqueta de plomo. La corrosión reduce el espesor efectivo, el cual después de un tiempo se abre, provocando la falla.

Es necesario tener un conocimiento del ambiente, que rodea al cable para evitar la falla.

c) Humedad en el aislamiento, evidente pues aumenta la resistencia de la cinta metálica.

d) Perforación del cable, sin que sea evidente la humedad; es muy probable que esta falla se deba a las siguientes condiciones:

1.- Conductores defectuosos.

2.- Abultamiento del recubrimiento debido a presiones internas.

3.- Pérdida de aceite o componentes del aislamiento

t

to, en el punto de falla.

4.- Polimerización del compuesto (cera)

5.- Huellas de compuesto carbonizado.

Algunas de estas indicaciones pueden ser debidas al voltaje, pero en la mayoría de los casos, la falla se debe al desarrollo de la presión interna por el punto de falla.

e) El calor, es un caso especial pues ocurre la perforación eléctrica sin humedad, excepto la acción de la deteriorización física principal del papel.

En otros casos, el calor puede ser debido a que el conductor se encuentra sobrecargado, entonces la disipación del calor se efectúa en su superficie; también puede ocurrir que la causa del calor sea debido a fuentes externas.

2.-

2.- CAUSAS DIRECTAS.- Dentro de esta clasificación podemos encontrar las siguientes:

a) Defectos iniciales en el recubrimiento, estos defectos son debido a su espesor delgado ó a defectos estructurales. El espesor delgado es debido a errores en la fabricación cuando se lo hace más delgado que el espesor nominal especificado. Es-

to causa s debido a los os normales y
nte la insta la excesiva
presiones: a internas.

b) Defec os en el sis o, debido a de
fectos de fabrica aislamientos, -
incluyen irregularidades t no, torcimien-
tos, desgastamientos, paredé as, etc.

c) Deteriorización del aislamiento cable debido
a su uso. En esta causa podr ctuar la si-
guiente clasificación:
-Deteriorización del aislami cables de 10
años de edad ó menos. os de 10
-Deteriorización del aislami os de 10
ó 20 años de edad. os de 10
-Deteriorización del aislami os de 10
res a 20 años de edad. os de 10

Estas tres c lones e con la in--
tensión de se s fa o a la deterio
rización en ca s fabr ecientes de a-
quellas fallas tidas s más viejos.

3.- CAUSAS INDIRECTAS - Dentro de esta clasificación
podemos encontrar las siguientes:

- a) Fallas en cables adyacentes: El recubrimiento es generalmente fundido y el aislamiento carbonizado. En el mayor de los casos la falla ocurre en un manhole ó en cualquier otro espacio abierto. Generalmente las circunstancias conocidas son suficientes para identificar las fallas debidas a esta causa.
- b) Descarga eléctrica ó perturbación de alto voltaje, el aislamiento es agujereado por una fuente de alto voltaje; ocurren pocos casos de esta clase. Cuando ellos ocurren, las circunstancias son bien conocidas de tal manera que no existe duda debido a la causa.
- c) Daños mecánicos: El daño mecánico como una causa de falla, involucra la entrada de humedad a través de una abertura en el recubrimiento; de todas maneras en cables operando en altos voltajes, la falla puede resultar en la pérdida del compuesto a través de la abertura en el recubrimiento y entrada de aire. También puede producirse debido a los siguientes motivos:
- Vibración: la vibración de los carros en las calles o del paso de tractores sobre el pavimento u otras causas pueden ocasionar que el recubri-

miento del cable se rompa cerca de los soportes ó -
en algunos casos en los ductos. Los cables extendi-
dos sobre puentes están también sujetos a la vibra-
ción.

-Expansión y contracción: El movimiento del cable -
con las variaciones diarias en carga, puede causar
frotamiento y rotura del recubrimiento. En el caso de -
oscilación, si el recubrimiento no es muy fundido, se -
encontrarán rozaduras, pero rotura del recubrimien-
to debido a los movimientos del cable, este es a ve-
ces acompañada por cierto retorcimiento.

-Causas externas: Estos daños son debido a implemen-
tos de trabajo, tales como: palas mecánicas de va-
por usadas en la construcción, vibradores, etc.

La causa de la falla es generalmente conocida. En
otros casos un exámen de la localización de la fa-
lla nos mostrará que pasó.

d) Daños durante la instalación: Los daños de este
tipo son generalmente debidos a ranuras ó cortes
en el recubrimiento causado por piedras, concreto
roto en el ducto, etc. La evidencia de ranu-
ras profundas ó surcos es generalmente encontrada

sobre el recubrimiento. En algunos casos la falla puede ser debido a la fuerza excesiva de halar el cable durante la instalación.

4.- CAUSAS DESCONOCIDAS.- Si la evidencia disponible sea directa ó indirecta no presenta una explicación razonable de la falla, ninguna causa de la falla puede ser asignada. En algunos casos, cuando el cable es destruído por el arco ó es mutilado sacándolo del ducto, no hay conclusión justificada, es deseable de que el uso de esta clasificación sea siempre reducida.

CAPITULO 3

METODOS

MÉTODOS PARA LOCALIZAR DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEO

GENERALIDADES.- Los métodos de medida que se aplican para localizar exactamente las fallas, dependen de la naturaleza de estas y de las condiciones locales.

Existen gran cantidad de instrumentos de medida y de localización de fallas para los diversos métodos, que se pueden dividir en grupos:

- 1.- Método clásico con puentes de medida
- 2.- Técnicas modernas de localización con instrumentos de medida de reflexión de impulsos para la prelocalización e instrumentos de búsqueda para encontrar la posición exacta del punto defectuoso.

La primera clasificación se refiere a los métodos que emplean señales transmitidas en el conductor falloso, desde uno de los terminales, estas señales son físicamente rastreadas a lo largo del cable con instrumentos de detección, hasta que la falla se localiza, en función de un cambio en la característica de la señal.

Mientras que los métodos convencionales ofrecen buenos resultados bajo determinadas condiciones y el lugar de la avería se localiza después de varios ensayos, los instrumentos modernos determinan el lugar exacto en breve tiempo, sin necesidad de efectuar cálculos laboriosos.

No hay, además, ningún aparato que indique y localice exactamente todas las clases de averías, lo que significa que en casos difíciles es preciso recurrir a medidas auxiliares previas.

Los métodos de localización de fallas se dividen en:

- 1.- Mediciones preliminares
- 2.- Mediciones de localización
- 3.- Determinación exacta con instrumentos de proyección.

MEDICIONES PRELIMINARES.— Las medidas preliminares nos indican la clase de falla. Muestran cuales conductores del cable tienen una derivación a tierra, estén cortocircuitados ó interrumpidos. Además, se obtiene la resistencia en el punto defectuoso, es decir, la resistencia entre conductores o entre éstos y el recubrimiento metálico. Basándose en estas mediciones, se elige el método de localización apropiada.

PRUEBA DE CONTACTOS CON TIERRA Y ENTRE CONDUCTORES.-

Todos los conductores del cable se desconectan en ambos extremos; tienen que estar sujetos y aislados entre sí y respecto a tierra.

La resistencia de aislamiento respecto a tierra se comprueba según lo indicado al respecto en páginas anteriores, conectando un borne del magneto al potencial de tierra (recubrimiento metálico) y el otro a cada uno de los conductores sucesivamente.

Al probar los contactos entre conductores, se mide la resistencia de aislamiento entre ellos. Si se emplea un instrumento de medida de reflexión de impulsos, es conveniente medir la resistencia de paso en el punto defectuoso con un comprobador de conductores alimentado por batería o con un puente de medida de baja tensión.

No debe utilizarse en este caso un magneto, puesto que la alta tensión generada puede originar chispas, falsificando así el valor de la resistencia de falla. En tal caso es imposible determinar si conviene utilizar un instrumento de medida de reflexión de impulsos. La tensión de servicio (baja ó media tensión), así como el tipo y la longitud del cable, determinan la resistencia del cable, determinan la resistencia

mínima admisible de aislamiento.

PRUEBA DE CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES POR MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA.- Los conductores se cortocircuitan en un extremo del cable. La resistencia de cada circuito se mide con un puente y se compara con los valores hallados al finalizar el montaje ó también con los valores calculados en función de la longitud y de la sección.

Sin embargo, esta comparación entre los valores indicará raras veces la posible reducción de la sección de un conductor en el punto defectuoso.

Si la resistencia medida en un circuito formado por dos conductores (en algunos casos del orden de), se llega a la conclusión de que uno de los conductores está interrumpido.

En los métodos para localización de fellas que se describirán posteriormente, la intención del autor es de proporcionar una guía para la selección del método más práctico adaptable en circunstancias individuales. No es la meta dar una guía para la solución de algún problema particular, sin embargo, se pueden seguir algunos factores para ser considerados.

Para los cables unipolares, de campo radial, se mide la resistencia de aislamiento $R'i$ entre cada conductor y el recubrimiento metálico. La resistencia de aislamiento S_i por kilómetro se calcula como sigue:

$$R_i = R' i l \quad M \Omega \text{ Km.}$$

RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES.- Para medir la resistencia de los conductores se unen estos a través de un puente en un extremo, mediante conexiones de la misma conductividad. Las resistencias de paso deben reducirse a un mínimo estableciendo uniones sólidas por enchufe ó tornillos. La resistencia de los bucles conductores se mide desde el otro extremo usando un puente de medida adecuada.

La resistencia de un conductor es igual a la mitad de la del bucle medido.

RESISTENCIA DE FALLA.- Cuando una falla ocurre en un cable, en la mayor parte de los casos esta ocurre por causa del aislamiento. La corriente de fuga que circula por este debido a la pérdida del valor de la resistencia, adquiere un valor muy alto, lo que ocasiona la falla del conductor en este punto.

Los prácticos del personal sobre el equipo disponible
proporcionará la experiencia necesaria para solucionar
los problemas en la forma más rápida y eficaz.

METODO: MEDIDA POR PUENTE SEGUN
MURRAY

PRINCIPIO: El conductor tiene una resistencia uniforme por unidad de longitud, por lo tanto la distancia al punto de falla, es proporcional a la relación de resistencias en el hilo calibrado de un puente de whestone.

APLICACION: Felle de línea a tierra en un cable tri polar. (Fig. 22).

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

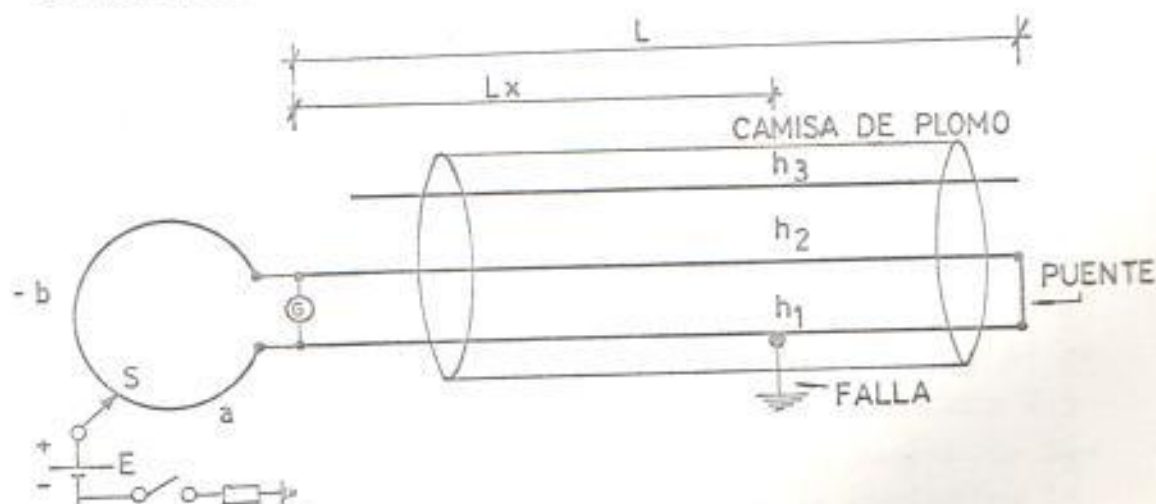


fig. 22 ,

Siendo:

h_1 = conductor con falla

h_2, h_3 = conductores buenos

X = distancia a la falla

L = longitud entre terminales

G = galvanómetro

S = hilo del cursor del puente

a y b = longitudes de medida del hilo del cursor

E = fuente de corriente directa.

EQUIPO UTILIZADO: Puente Wheatstone con dos brazos.

OPERACION: La localización del punto defectuoso se efectúa midiendo la resistencia R_x comprendida entre el terminal de origen y dicho punto por la conexión del puente de Wheatstone. Partiendo de la resistencia R_x y de la sección del conductor -- puede calcularse su longitud L_x y por tanto determinar donde se halla la avería. Los conductores se unen en cortocircuito en uno de sus extremos con un cable de igual calibre y sección; el otro extremo se conecta una batería E y el hilo calibrado S de un puente de hilo de Kirchhoff, según se indica en la

Fig. 22 .

El contacto de corredera se une a través de un galva
nómetro G. con tierra.

En esta conexión, la resistencia de aislamiento R_f -
en el lugar donde existe la falla, no tiene influen-
cia alguna en la medida. El contacto de corredera se
desplazará hasta conseguir que el galvanómetro no se
desvíe de su posición de equilibrio.

DIAGRAMA DEL CIRCUITO - CALCULOS: De acuerdo a la
conexión indicada en la fig. 23 , el conductor defec-
tuoso y otro en buen estado se conectan entre si en
uno de los extremos, y en el otro se conecta un siste-
ma de puente con dos brazos que consisten en tramos
de resistencia que pueden regularse a voluntad, los
dos segmentos de línea constituyen los otros brazos:
Así tenemos el siguiente diagrama.

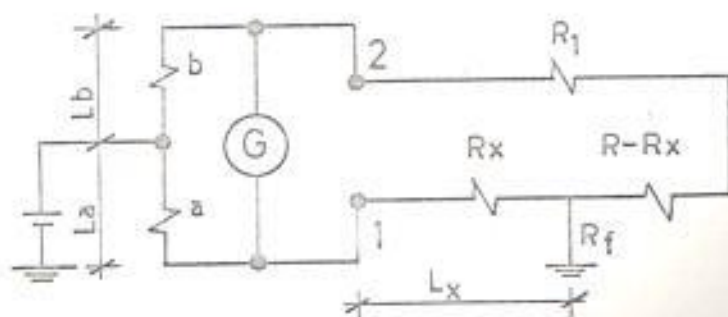


fig. 23

Designamos como R , la resistencia de toda la línea (de ida y vuelta), con $2L$ la longitud total, con R_x y l_x la resistencia y longitud, respectivamente, del trozo comprendido entre el origen (1) y el lugar defectuoso, la resistencia R_x será, según la ley del puente de Wheatstone.

$$R = R_1 + R_x + (R - R_x)$$

$$\frac{R_x}{R - R_x} = \frac{a}{b}$$

De donde:

$$R_x = (R - R_x) \frac{a}{b}$$

Y si tenemos el hilo calibrado medido, la fórmula quedará de la siguiente manera:

$$R_x = (R - R_x) \frac{L_a}{L_b}$$

Si $L = L_a + L_b$ es su longitud total, se obtendrá después de algunas transformaciones de la fórmula anterior.

$$R_x = R \frac{L_a}{L}$$

o hilo, puesto que $R_x = L \times \frac{\rho}{S}$

$$R = \frac{2L\rho}{S}$$

Por tanto:

$$Lx = 2L \frac{La}{L} \text{ metros}$$

RECOMENDACIONES: Las siguientes indicaciones deberán tomarse como una guía en la aplicación de este método:

- 1.- Si el hilo de retorno, tiene una sección y longitud distinta a las del conductor con falla, la longitud del conductor de retorno debe convertirse en una longitud L_1 , la sección equivalente a la del conductor a medir.
- 2.- Para cables tripolares y unipolares, el puente es hecho por la unión del conductor con falla a un conductor bueno del mismo cable.
- 3.- Si existiera un solo conductor, ó donde todos los conductores estuvieran con fallas, se debe añadir un conductor provisional a lo largo de la ruta, preferiblemente del mismo calibre y sección.

- 4.- La resistencia de contacto en el anillo y los puntos de prueba, deben reducirse al mínimo, especialmente cuando la línea es de gran diámetro, ó sea de muy pequeña resistencia.
- 5.- La precisión del método de Murray depende primeramente sobre la efectividad de los instrumentos y su independencia de la resistencia de falla, aunque este factor no entra dentro de la sensibilidad del puente.
- 6.- La exactitud puede afectarse por la ocurrencia de alguna condición anormal en la resistencia del conductor, causada por: quemadura, ruptura parcial, corrosión, corriente vagabunda, etc.
- 7.- La utilidad del método de puente de Murray depende sobre su resolución y capacidad para vencer la resistencia de falla, lo cual, en cambio, depende sobre ambos el voltaje aplicado y la sensibilidad del detector nulo.
- 8.- La resistencia de falla y el contacto de la resistencia de cursor, estando en el circuito de la fuente, no tienen influencia en la exactitud.

titud de la medida.

- 9.- Este método es aconsejable para fallas de baja resistencia.

En definitiva podemos indicar que para la localización de una falla de una línea a tierra, y utilizando el método del puente de Murray, que este método se basa en un puente ordinario de Weststone sobre una corriente constante básica, la resistencia de falla está en serie con la fuente de poder.

La exactitud final de la medida dependerá de la uniformidad ó linealidad del cursor del puente y secciones del cable en los brazos del puente, resistencia de contacto de las conexiones, temperatura del cable conductor y la precisión de los aparatos de medida del cable.

- 10.- Si la falla a tierra es de resistencia elevada, con el sistema indicado en la Fig.22, del método de Murray, pasaría muy poca corriente por el puente; en tal caso se deben intercambiar la batería y el galvanómetro, y este debe ser de resistencia elevada. Si los brazos de pro-

OBJETO: MEDICION DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

PRINCIPIO: El conductor tiene una resistencia uniforme por unidad de longitud.

APLICACION: Falla de circuito abierto en un conductor de un cable tripolar.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

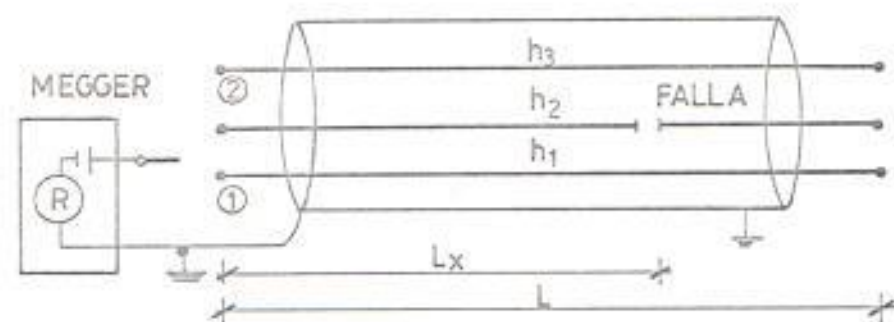


fig 24

- h_1 y h_3 = Conductores buenos
- h_2 = Conductor con falla
- E = Fuente.
- L_x = Distancia a la falla
- ① y ② = Contactos para pruebas

EQUIPO UTILIZADO: Megger portatil, ó un medidor de resistencia (Fuente)

OPERACION: La distancia a una falla de circuito abierto desde un terminal, puede ser encontrada por la relación de las resistencias de aislamiento del conductor con falla y otro conductor sin falla de longitud conocida.

Partiendo de la resistencia R_x y de la sección del conductor puede calcularse su longitud L_x y por tanto determinar donde se halla la avería.

Las mediciones pueden efectuarse con un puente de Weatstone ó con un megohmetro.

DIAGRAMA DEL CIRCUITO: CALCULOS: Refiriéndonos a la conexión indicada por la fig. 24, podemos obtener el siguiente diagrama:

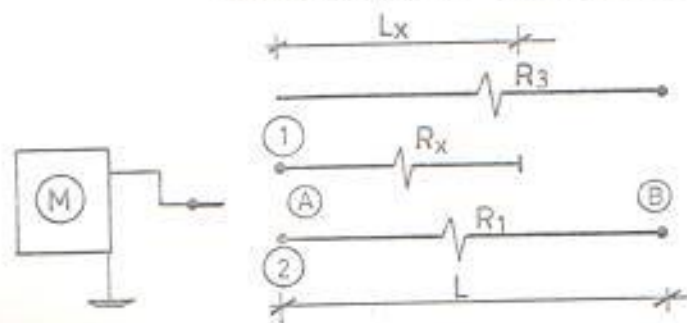


fig. 25

Siendo:

R_1 y R_3 = Resistencia de conductores buenos, de distancias conocidas.

R_x = Resistencia del conductor con falla.

① y ② = Contactos para pruebas.

M = Megger.

Ⓐ y Ⓑ = Terminales.

L_x = Distancia al punto de falla.

L = Longitud entre terminales.

Aplicando el principio enunciado tenemos: al medir en el punto (2):

$$R_1 = L \frac{\rho}{S}$$

Al medir en el punto (1):

$$R_x = L_x \frac{\rho}{S}$$

Dividiendo las dos expresiones tenemos:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{L \cdot \frac{\rho}{S}}{L_x \frac{\rho}{S}}$$

Lo que nos da; simplificando:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{L}{L_x}$$

Despejando la incognita:

$$L_x = \frac{R_x}{R_1} L \quad \text{metros}$$

RECOMENDACIONES: Las siguientes indicaciones deberán tomarse en cuenta para la aplicación de este método:

- 1.- Usualmente, el conductor de prueba es uno en buen estado del mismo cable ó otro cable colocado en la misma ruta del mismo calibre, y sección.
- 2.- Cuando tenemos un solo conductor instalado ó donde todos los conductores esten con fallas, entonces conociendo la distancia original entre terminales; podemos calcular la distancia al punto de falla aplicando una variación a la fórmula.

- 3.- La exactitud de este método, depende de la precisión de los instrumentos empleados y de la uniformidad del cable, en las más favorables circunstancias con un megohmetro teniendo una escala logarítmica, una precisión de más ó menos 10% es posible.
- 4.- Este método es adecuado para instalaciones en ductos, donde la falla debe solamente ser localizada dentro de una sección.
- 5.- Como prueba, deberá encontrarse la distancia, desde ambos terminales.
- 6.- Este método es incapaz para cualquier cambio en la construcción de el cable a menos que una conversión sea hecha, para la longitud equivalente de un cable, desde la relación entre sus respectivas resistencias de aislamiento, por unidad de longitud.
- 7.- El megohmio disponible debe permitir que todas las pruebas sean hechas a igual voltaje, preferiblemente el máximo.

El método de relación de resistencia de aisla--

miento puede ser aplicado para cualquier instalación de cables, es además rápido, simple y un medio barato de localizar fallas de circuitos abiertos.

la indicada, midiendo desde ambos terminales podemos calcular también la distancia, tomando mediciones -- desde ambos terminales, solamente al conductor con - falla.

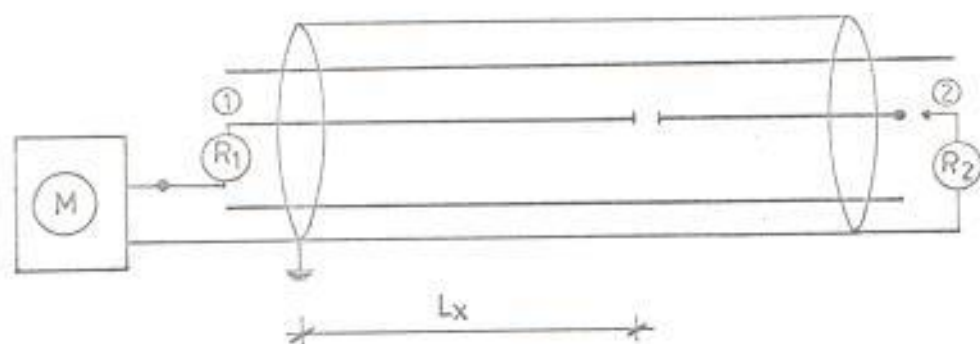


fig. 26

ASI TENEMOS:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{L_x}{L_x + (L - L_x)}$$

$$L_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} L \quad \text{metros}$$

METODO: MEDIDA DE LA CAIDA DE TENSION

PRINCIPIO: 1.- Según la ley de ohm, tenemos que la caída de tensión es igual a la corriente multiplicada por la resistencia $V = I.R$

2.- El conductor tiene una resistencia uniforme por unidad de longitud.

APLICACION: Fuga de línea a tierra en un conductor unipolar, no existiendo conductor de retorno.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

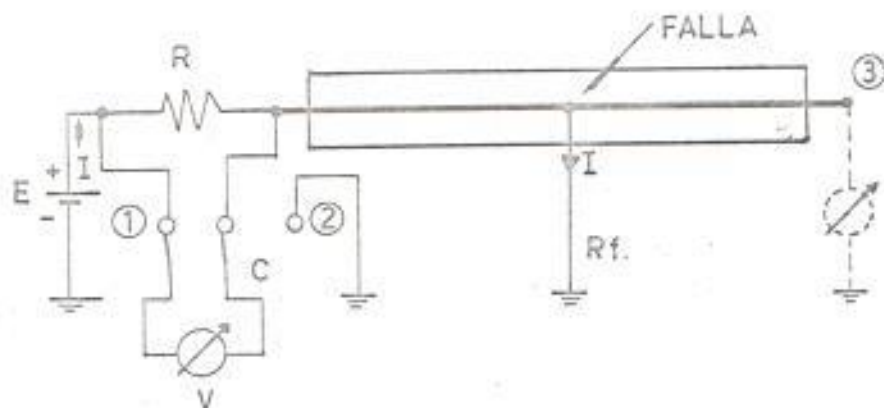


fig. 27

Siendo:

- R = Resistencia de valor conocido
 R_f = Resistencia del lugar defectuoso
 R_x = Resistencia de la línea hasta el punto de falla.
 E = Fuente de corriente constante.
 C = Conmutador doble.
 V = Voltímetro.

EQUIPO UTILIZADO: Fuente, voltímetro, conmutador doble.

OPERACION: Con frecuencia se presenta el caso de no ser posible la localización del defecto de un conductor por el método del bucle, porque no se dispone de conductor de retorno, la localización puede entonces realizarse por este método efectuando en el orden indicando las siguientes medidas.

- 1.- El conmutador C , se coloca en la posición (1), luego el voltímetro V_1 medirá la tensión:

$$V_1 = I.R$$

- 2.- El conmutador C, se coloca en la posición (2), luego el voltímetro V, medirá la tensión.

$$V_2 = I (R_x + R_f)$$

- 3.- El voltímetro se conecta entre el otro extremo de la línea y tierra, posición (3), e indicará la caída de tensión V_3 en la resistencia de falla.

$$V_3 = I R_f$$

DIAGRAMA DEL CIRCUITO - CALCULOS: De acuerdo a la conexión indicada en la fig. 28, tenemos para las diferentes posiciones del conmutador, los siguientes circuitos:

POSICION (1)

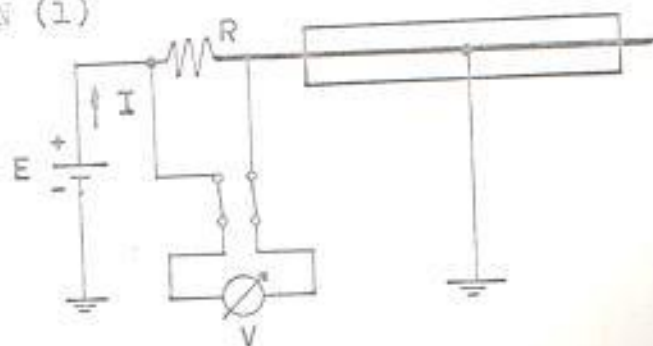


fig. 28

POSICION (2)

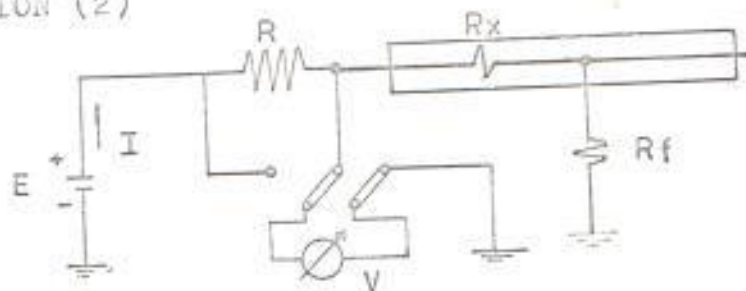


fig. 29

POSICION (3)

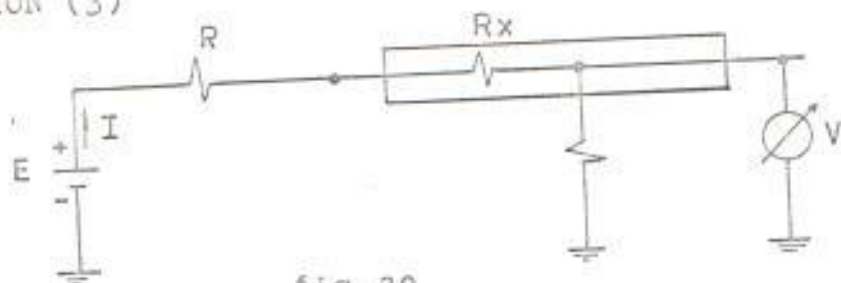


fig. 30

Partiendo de las tres ecuaciones para V_1 , V_2 y V_3 , puede calcularse la resistencia, conocida la sección del hilo, la distancia a lo que está la falla puede determinarse. Se tiene:

$$V_1 = I \cdot R$$

$$V_2 = I(R_x + R_f) = I \cdot R_x + I \cdot R_f$$

$$V_3 = I \cdot R_f$$

Reemplazamos el valor V_3 en la segunda ecuación y tenemos:

$$V_1 = I.R$$

$$V_2 = I.R_x + V_3$$

Despejamos la corriente:

$$I = \frac{V_1}{R} \quad I = \frac{V_2 - V_3}{R_x}$$

Iguualamos las dos ecuaciones:

$$\frac{V_1}{R} = \frac{V_2 - V_3}{R_x}$$

Despejamos R_x , y tenemos:

$$R_x = \frac{V_2 - V_3}{V_1} R \quad \text{ohmios}$$

La distancia desde el lugar de la avería hasta el origen del hilo es, según el principio enunciado:

$$R_x = L_x \frac{\rho}{S}$$

Luego:

$$L_x = \frac{R_x \cdot S}{\rho} \quad \text{metros}$$

- RECOMENDACIONES:
- 1.- Deben eliminarse al mínimo las resistencias de contacto.
 - 2.- Este método es solamente aplicable cuando la resistencia de falla no es muy grande, y no varía durante la medida.
 - 3.- La exactitud puede afectarse por la existencia de alguna condición de resistencia anormal en el conductor.

La aplicación de este método de localización de fallas en cables, nos permite obtener una localización aproximada del punto de falla, teniendo en cuenta de que si el otro terminal estuviere muy distanciado, es necesario tener un conductor de retorno.

Este método es rápido y fácil de aplicar, su precisión depende principalmente de la exactitud de sus instrumentos.

METODO: Medida de la relación de tensiones.

PRINCIPIO: Basándonos en la ley de ohm, la distancia a un cortocircuito ó a una falla a tierra, puede ser encontrada a partir de las indicaciones de la caída de voltaje a través de los conductores desde los terminales, cuando una corriente constante es aplicada y la distancia entre terminales es conocida, debido a que el conductor tiene una resistencia uniforme por unidad de longitud.

APLICACION: Falla de línea a tierra a un cable unipolar.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

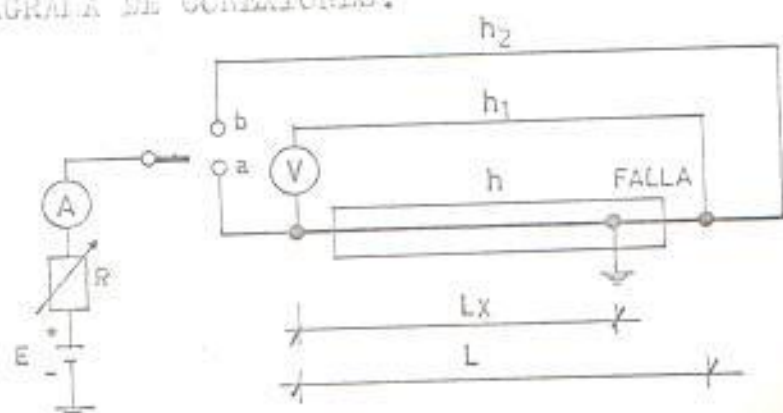


fig. 31

SIENDO:

h = Conductor unipolar con falla
 h_1 y h_2 = Conductores unipolares
 L_x = Distancia al punto de falla.
 L = Distancia entre terminales.
 V = Voltímetro
 A = Amperímetro
 E = Fuente de tensión
 a y b = Terminales para medida
 R = Resistencia.

EQUIPO UTILIZADO: Fuente de tensión (Batería), amperímetro, resistencias.

OPERACION: La localización del punto defectuoso puede ser encontrada a partir de las mediciones de caída de voltaje a través de los conductores.

Se debe leer el valor indicado por el voltímetro pasando la misma corriente por el interruptor en las posiciones a y b , y compensando con la resistencia R después de conmutar.

DIAGRAMA DEL CIRCUITO - CALCULOS: De acuerdo a la

conexión indicada en la fig. 31 , se conectan dos conductores auxiliares al conductor con falla, y se efectúan las lecturas en el voltímetro, al circular una misma corriente para las dos posiciones del interruptor.

Así tenemos el siguiente diagrama:

POSICION (a):

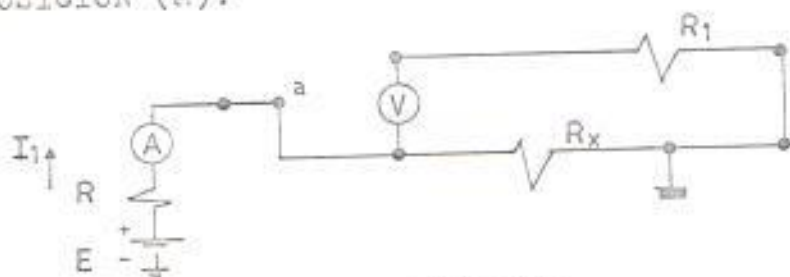


fig. 32

EL CIRCUITO QUEDA:

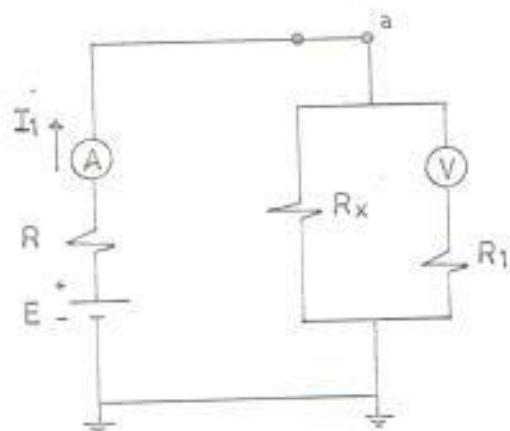


fig. 33

EN DONDE:

- R = Resistencia de compensación
- R_x = Resistencia del conductor en el punto de falla
- R_1 = Resistencia del conductor bueno
- I_1 = Corriente para la posición a.

Como nos interesa la caída V_a , esta es:

$$I_1 R_x = V_a \quad (1)$$

pues siendo la resistencia del voltímetro más la del conductor, muy mayor que la resistencia del conductor con falla, tenemos que la corriente mayor pasará por la resistencia menor (R_x).

POSICION (b):

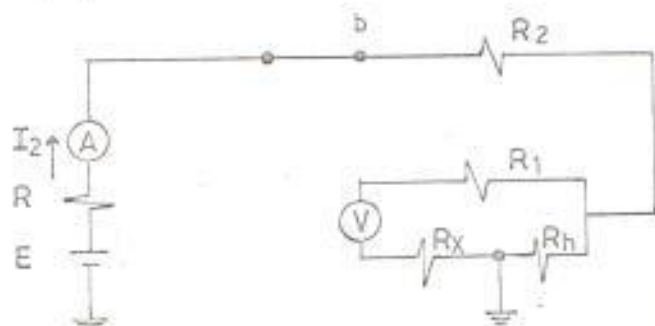
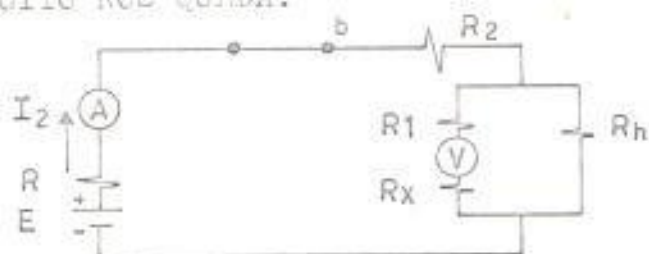


fig. 34

EL CIRCUITO NOS QUEDA:



EN DONDE:

fig. 35

- R = Resistencia de compensacion
- R_2 = Resistencia del conductor auxiliar bueno.
- R_1 = Resistencia del conductor auxiliar bueno.
- R_x = Resistencia del conductor en el punto de falla.
- R_h = Resistencia del resto del conductor con falla.
- I_2 = Corriente para la posicion b.

En forma similar a lo indicado para la caída V_a , -
calculamos la caída V_b , que es:

$$I_2 R_h = V_b \quad (2)$$

para poder determinar la distancia al punto de falla tenemos que tener presente los siguientes valores:

$$I_1 = I_2 = I$$

$$R_x + R_h = L$$

$$R_x : L_x$$

La distancia al punto de falla, puede ser encontrada de la siguiente manera:

$$(R_x + R_h) : L$$

$$R_x : L_x$$

$$L_x = \frac{(R_x \cdot L) I}{(R_x + R_h) I} = \frac{V_a \cdot L}{V_a + V_b}$$

$$\boxed{L_x = \frac{V_a}{V_a + V_b} L} \quad \text{metros}$$

RECOMENDACIONES:

1. Es indispensable reducir al mínimo las resistencias de contacto.
2. Si no existiera un conductor auxiliar del mismo calibre, su longitud debe ser convertida a una equivalente por medio de sus respectivas resistencias por unidad de longitud.
3. La precisión de este método depende en gran parte de la relación de la resistencia de falla a -

la resistencia del conductor, y esto es solamente práctico cuando la resistencia de falla se aproxima a cero.

4. La exactitud es además afectada adversamente por la ocurrencia de alguna resistencia adicional en el conductor, causada por: quemadura, corrosión, corrientes galvánicas, etc.
5. Como prueba, la distancia al punto de falla debe ser encontrada desde cada terminal.
6. La fuente y el voltímetro requerido variarían extensamente de acuerdo al calibre y longitud del conductor y la posición deseada. Pueden utilizarse instrumentos de corriente directa ó alterna.

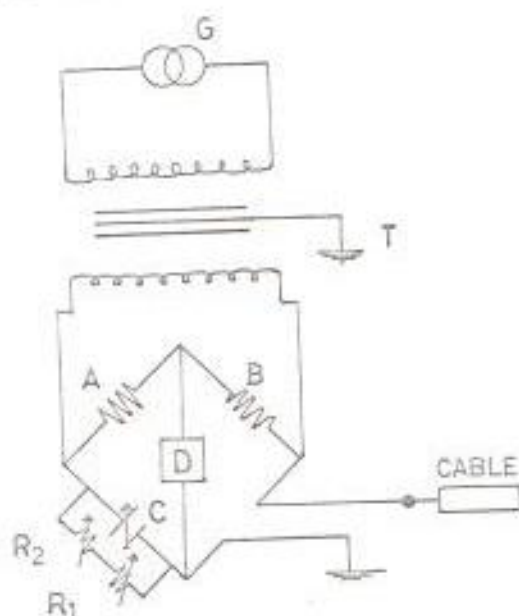
Aunque este método es muy rápido y económico, no es muy popular a causa de su falta de exactitud bajo muchas condiciones. Este método tiene valor solamente como una indicación de localización de una falla, para cualquier método de rastreo ó para verificación de otros métodos de terminales.

METODO: Medida de capacitancia

PRINCIPIO: Este método se basa en el hecho de la relación entre la capacitancia de un conductor con falla con la capacitancia de un conductor bueno de longitud conocida.

APLICACION: Falla de circuito abierto, sin que haya circuito a tierra.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:



PUENTE DE CAPACITANCIA

fig 36

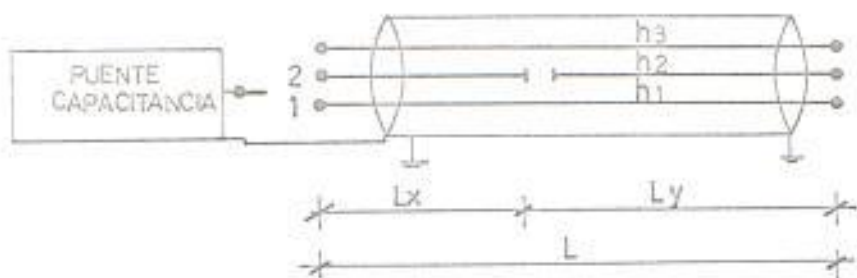


fig. 37

FALLA DE CIRCUITO ABIERTO
MEDICION DESDE DOS TERMINALES

SIENDO:

- h_1 y h_3 = Conductores buenos
- h_2 = Conductor con falla de circuito abierto.
- L_x = Distancia al punto de falla de 1 terminal.
- L_y = Distancia al punto de falla del otro terminal.
- L = Distancia total entre terminales.

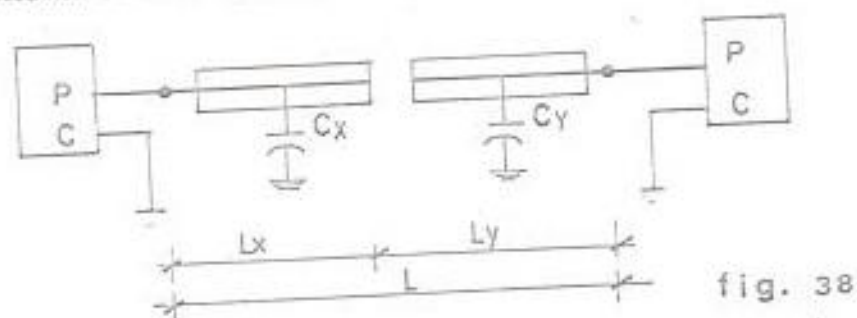
EQUIPO UTILIZABLE: Puente de capacitancia (Dc ó Ac)

OPERACION: Este caso de circuito abierto, sin que haya circuito a tierra, se presenta generalmente en los cables. No es posible entonces efectuar una medida de r_g

sistencia, por no poder enviar corriente alguna a la línea. La localización del punto de falla se lo efectúa generalmente midiendo las capacidades C_x y C_y de los dos segmentos en que queda dividido el cable.

Estas lecturas podemos efectuarlas por medio de un puente de capacitancia, el lugar de la falla puede localizarse porque la capacidad del cable es proporcional a su longitud.

DIAGRAMA DEL CIRCUITO - CALCULOS:



Siendo b la longitud total del hilo roto y L_x y L_y las distancias del lugar de la rotura a los dos extremos de aquel, se tendrá:

$$L_x + L_y = L$$

$$C_x = K.L_x$$

$$y \quad \begin{aligned} C_y &= K.L_y \\ C_x + C_y &= KL \end{aligned}$$

Donde K es una constante desconocida dependiente de la construcción del cable. De las ecuaciones indicadas, tenemos:

$$L_x = L \frac{C_x}{C_x + C_y} \quad \text{metros}$$

$$L_y = L \frac{C_y}{C_x + C_y} \quad \text{metros}$$

Si tomáramos lectura desde un solo terminal tendríamos el siguiente diagrama:

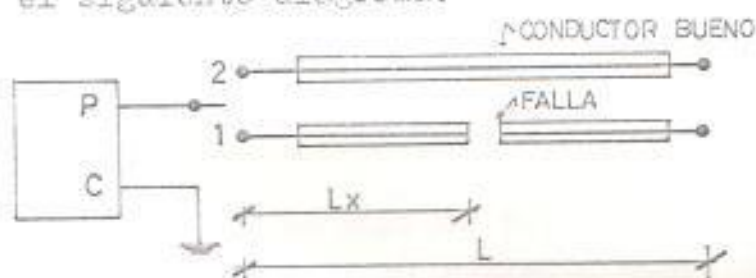


fig. 39

Luego tomando lecturas de capacitancia al conductor con falla y al conductor bueno, y teniendo en consi

Suponiendo de que un conductor tiene una capacitancia uniforme por unidad de longitud, tenemos:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{LX}{L}$$

$$\boxed{LX = \frac{C_1}{C_2} L} \quad \text{metros}$$

RECOMENDACIONES:

1. Eliminar las resistencias en los puntos de contacto.
2. La precisión de este método depende principalmente sobre la exactitud de los instrumentos empleados, la uniformidad del cable y la ausencia de alguna pérdida no compensada en el cable, particularmente en cables enterrados directamente.
3. Este método es incapaz para cualquier cambio en la construcción del cable, a menos que se efectúe una conversión, para la longitud equivalente de un cable, a partir de la relación de sus respectivas capacitancias por unidad de longitud.

4. El puente de capacitancia a utilizar en este método debe de estar provisto de una resistencia balanceada en serie con el capacitor de medición para corregir pérdidas de escape en el aislamiento, lo cual de otra manera introduciría errores en el resultado. Este ajuste es conocido como Factor de Disipación y deberá tener un rango de más del 10%.

Preferentemente, el instrumento será pequeño operado con batería, y generará una señal de no menor que un kilociclo. Este deberá ser capaz de medir capacitancias desde 100 pifaradios a 100 nF lo cual es equivalente a unos pocos pies de cable de baja capacitancia a varios miles de cable de alta capacitancia. Una precisión de casi más menos uno por ciento del valor verdadero es posible en muchos rangos.

Este método puede ser aplicado para cualquier instalación de cables, es rápido, exacto y no se requiere demasiada experiencia, para localizar las fallas en cables.

METODO: Medida del sentido de paso de la corriente según Wurmach.

PRINCIPIO: Este método se basa en la caída de tensión que se produce en el conductor al circular una corriente constante, teniendo en cuenta la desviación de un galvanómetro, conectado al conductor entre ciertos tramos.

APLICACION: Falla de línea a tierra en un conductor unipolar.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

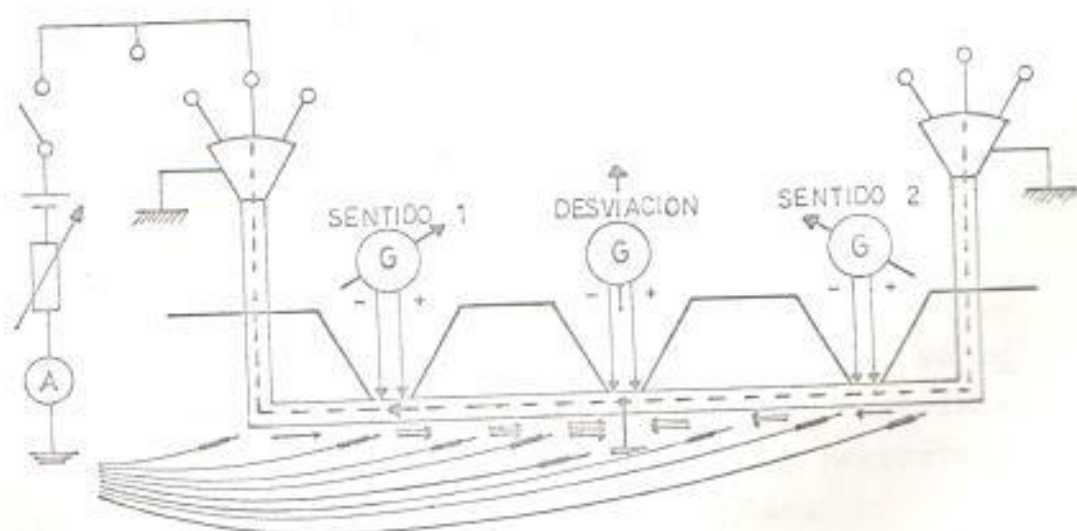


fig 40

SIEMPRE:

A	= Amperímetro
R	= Resistencia de compensación
E	= Fuente de tensión
G	= Galvanómetro.

EQUIPO UTILIZABLE: Amperímetro, galvanómetro, fuente, resistencia.

OPERACION Y LOCALIZACION DEL PUNTO DE FALLA: Los bornes del galvanómetro con indicación del cero ponen en contacto con diversos puntos de la armadura del cable, siempre en el mismo orden contando desde el mismo extremo del cable, tomas de tensión entre 0,5 y 1 metro.

La demarcación del desperfecto se logra por los diversos sentidos de oscilaciones de la aguja del galvanómetro por delante y por detrás del punto defectuoso.

La avería se encontrará en el lugar en el que el galvanómetro indique cero. Mientras se mide, se conectará y desconectará la corriente de la batería con objeto de determinar las influencias perturbadoras de corrientes eléctricas extrañas.

Este método es indicado para defectos de baja resistencia óhmica, es lento debido a las varias lecturas a tomarse, pero podemos encontrar la falla de una línea en su punto, en forma más ó menos exacta.

MÉTODO DE IMPULSO

FIGURA DE OPERACION:

Eléctricamente todas las fallas pueden ser representadas por un camino ó espacio de aire, en paralelo con una resistencia, como se ilustra en la Fig.

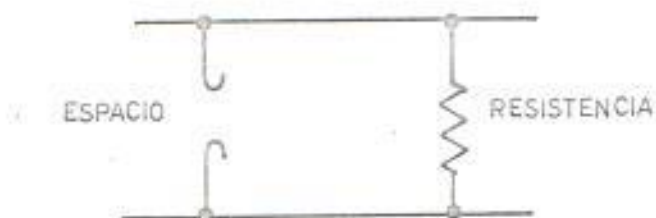


fig. 41

Aunque este circuito eléctrico es simple, las variaciones en las condiciones de los dos caminos pueden cubrir un rango muy ancho, el rango de resistencia desde un valor pequeño a megohmios, y el espacio de voltaje de ruptura variando desde cero a muchos cientos de voltios.

En el método de impulso para localizar fallas, un capacitor ó banco de capacitores es cargado desde un rectificador de potencia de alto voltaje suministra-

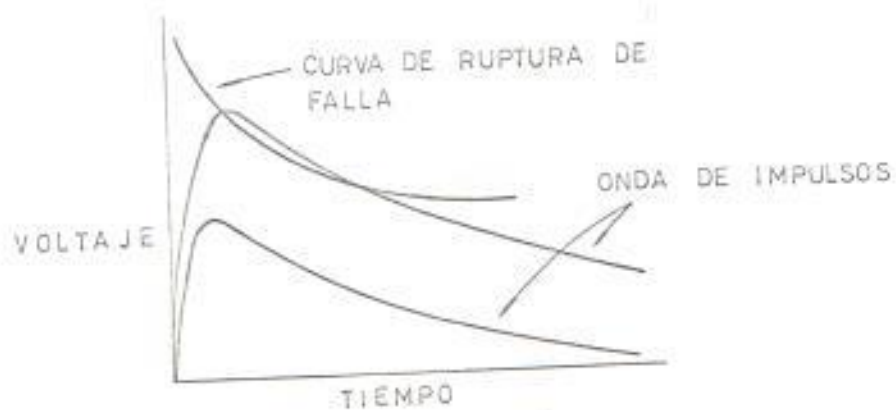
Se por un voltaje aprobado y luego es descargado en el cable con falla.

La onda voltaje-impulso producida, recorre a lo largo del cable hasta que alcance el punto de falla. - Esta operación es automáticamente repetida por el generador de impulso hasta que la falla es localizada.

Refiriéndonos otra vez a la figura 41, cuando la onda de voltaje-impulso alcanza la falla puede disiparse por sí mismo ya sea a través del camino de resistencia ó produciendo arco sobre el espacio de abertura.

En cualquiera de las dos formas, el resultado es una liberación de energía a tierra, con lo cual se produce una corriente que puede ser detectada. Si la energía pasa solamente a través del camino de resistencia, no resultará un arco, y la detección debe ser en forma electromagnética. Si la resistencia de la falla es muy alta y el voltaje de la onda es suficiente, el espacio producirá arco y el instrumento de detección será del tipo electromagnético ó acústico.

Es importante recordar que la resistencia de falla puede ser infinitamente alta, pero la falla puede -



GENERADOR DE BAJA ENERGIA



GENERADOR DE ALTA ENERGIA

fig. 42

ser localizada por el método de impulso, con tal que el valor pico y el tiempo de duración de la onda voltaje es el adecuado para causar arco.

Básicamente el arco es determinado por dos cosas, la naturaleza de la falla y la magnitud y escala de la onda de 2 voltajes, la última está determinada por el cambio de el generador de impulsos.

Las características de ruptura de fallas pueden ser dibujadas en relación al tiempo y al voltaje y la onda impulso de el generador en uso puede de igual manera dibujarse. Si estas curvas se interceptan, como ilustramos en las Figs. 42, ocurrirá el arco en la falla.

La duración ó longitud de la onda impulso está determinada por la capacidad de microfaradios del generador de impulso, consideración importante al escoger los equipos.

Si el cable está expuesto, las fallas pueden usualmente ser localizadas por el sonido ó brillo del arco. Cuando están directamente enterrados ó en ductos ó donde el revestimiento permanece intacto, un detector es a menudo requerido.

VENTAJAS: Aunque no hay un método de localizar fallas que sea seguro y eficaz en cada tipo de falla, - el tipo de equipo de impulso generalmente tiene pruebas de ser el más exacto.

El equipo es conveniente para utilizarlo en localizar fallas, pues es pequeño en tamaño, liviano y requiere menos potencia de entrada que muchos de los métodos viejos.

SELECCION DEL GENERADOR DE IMPULSO: Las dos más importantes características en la selección de un generador de impulso son el voltaje pico de salida y la cantidad de microfaradios los cuales establecen el tiempo de duración de la onda de voltaje. La salida de voltaje determina el voltaje pico de la onda de impulso como la salida del generador, considerando la energía contenida, que define la longitud de la onda de voltaje, está largamente determinada por la capacidad de microfaradios.

Curvas mostrando energía disponible con voltaje son indicadas en la Fig. 43 . El resultado de estas curvas relaciona a estos parámetros designados los cuales contribuyen para producir arco en el camino de la falla. La localización de la falla puede lue-

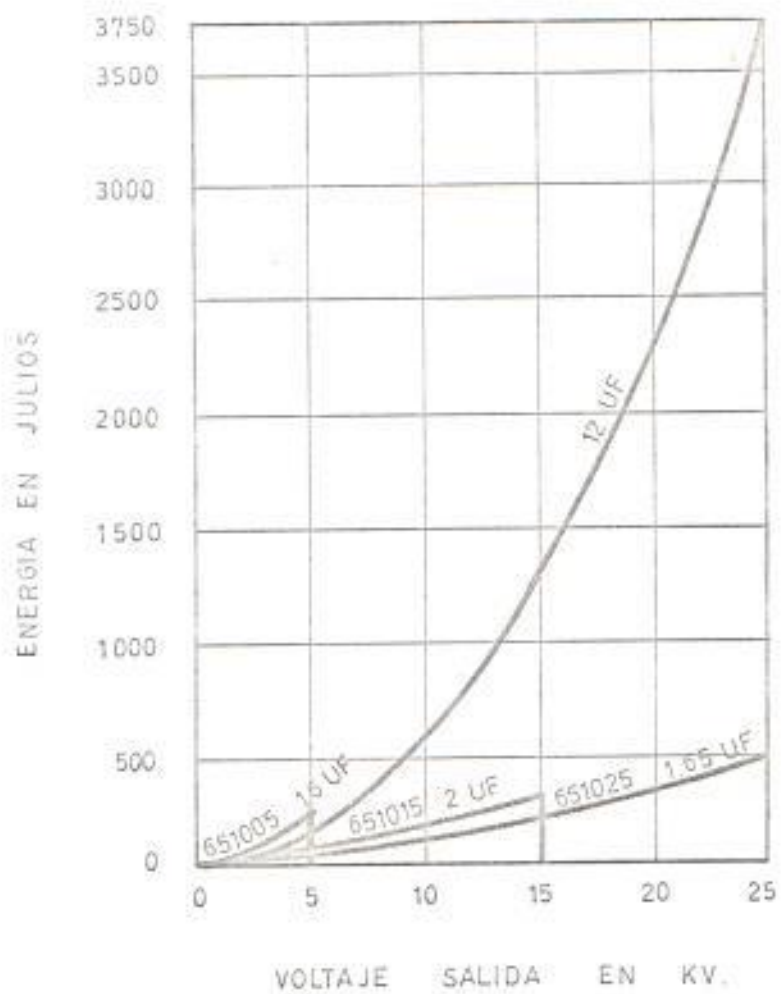


Fig. 43

de ser determinado por el uso de detectores acústicos ó magnéticos.

La velocidad de propagación, que puede calcularse por los cables y el tiempo de tránsito de los impulsos, - constituyen la base para determinar la distancia a - que se encuentre el punto de reflexión y, por tanto, el desperfecto.

Si la velocidad de propagación de los impulsos se representa por V y la constante dieléctrica por ϵ .

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon}}$$

Siendo C = la velocidad de la luz.

El material y la sección del conductor no influyen - en la velocidad de propagación. Las mediciones se - pueden realizar sin conocimiento de las dos primeras, puesto que la constante dieléctrica de los cables del mismo tipo es aproximadamente la misma. Es conveniente no obstante, medir la duración de servicio en un conductor intacto y calcular la velocidad de propa-

gración sobre esta base, antes de llevar a cabo las mediciones de localización.

CONCLUSION: La aplicación del método de medida por reflexión está limitada fundamentalmente a los cables que originen una reflexión visible. En cables de potencia, la resistencia de paso de una derivación a tierra o cortocircuito no ha de ser superior a unos 600 ohmios, a fin de obtener resultados exactos. Es recomendable, por tanto, medir de antemano el valor aproximado de la resistencia de paso, usando un instrumento de prueba alimentado por batería y si fuere necesario preparar el punto defectuoso.

METODO DEL RADAR

PRINCIPIO:

En forma similar al principio del método de impulso, este método se basa en la imposición de un pulso corto de corriente directa, de $1/2$ a 5 microsegundos, desde un generador al cable en falla y midiendo el tiempo requerido para que el pulso impuesto llegue a la falla y regrese reflejado a la fuente, indicando de esta manera la distancia a la falla.

APLICACION:

Estudiaremos este método para la localización de una falla de línea a tierra en un cable unipolar.

DESCRIPCIÓN DE CONEXIONES:

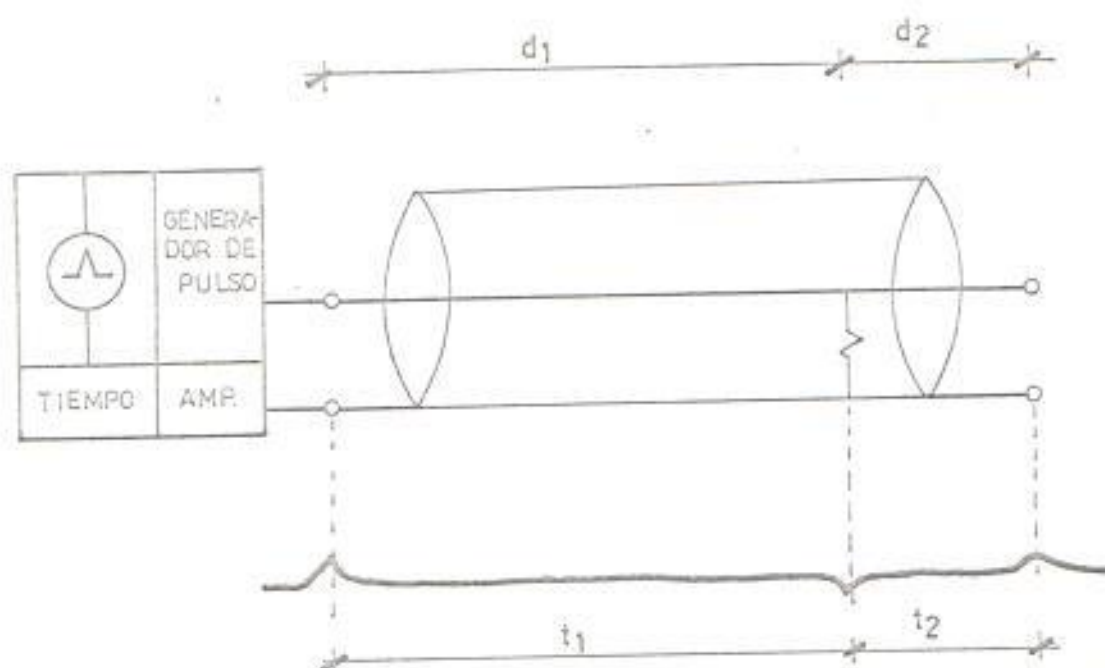


fig. 44

EQUIPO UTILIZABLE: La fuente es un generador de pulso y el tiempo de reflexión es medido sobre un osciloscopio.

DESARROLLO-CALCULOS: Este método depende sobre el hecho de que toda ó parte de la g

energía del impulso incidente es reflejado desde cualquier discontinuidad en la fuente de impedancia del cable y que la distancia a la falla es proporcional al tiempo de reflexión.

La distancia d_1 a la falla puede ser encontrada a partir de la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{1}{2} t_1 v \quad \text{metros}$$

En donde:

- t_1 = tiempo de reflexión
- v = velocidad de propagación.

Cuando la velocidad de propagación es desconocida, - esta puede obtenerse del fabricante ó puede ser encontrada a partir de la medición del tiempo de reflexión de un pedazo de longitud conocida de el mismo cable ó de algún cable de características similares, usualmente entre terminales.

A menudo este conductor puede ser un conductor de el mismo cable u otro conductor colocad^o en la misma ruta.

Donde la ruta del cable tiene solo un conductor instalado disponible, o donde todos los conductores estén con falla y solamente se conozca la distancia entre terminales, la distancia a la falla puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{t_1 (d_1 + d_2)}{t_1 + t_2} \text{ metros}$$

En donde:

- d_1 = distancia a la falla desde un terminal.
- d_2 = distancia a la falla desde el otro terminal.
- t_1 = tiempo de reflexión desde un terminal.
- t_2 = tiempo de reflexión desde el otro terminal.

Las discontinuidades pueden presentarse como pulsos ascendentes y pulsos descendentes; así tenemos:

- a) Pulsos descendentes: cortocircuitos, fallos de línea a tierra de altas resistencias, capacitancias discontinuas.

b) Pulsos ascendentes: circuitos abiertos, conductor resistivo y discontinuidades inductivas.

Otras discontinuidades tales como uniones y puentes tienen sus propias formas características.

Desde que este método mide discontinuidades en impedancias, es capaz de detectar fallos radicales donde la resistencia permanece relativamente alta, tal como ocurre con daños físicos en el revestimiento ó en el aislamiento. El ingreso de agua y sus límites es fácilmente detectado a causa de la disminución de la impedancia, lo cual ocurre debido al cambio radical en los valores de la constante dieléctrica.

- RECOMENDACIONES:
- 1.- El alcance de este método, - es que presenta una imagen visual de cualquier discontinuidad en la forma de reflexión característica, la cual revela su identidad como su distancia, desde el terminal.
 - 2.- La precisión de este método depende principalmente de la estabilidad y exactitud del osciloscopio.

- 3.- Este método puede aplicarse a cualquier tipo de instalación de cables, cuando hay un esquecimiento uniforme entre el conductor y el camino de retorno.
- 4.- La utilidad de este método de reflexión de pulso depende del voltaje del generador y del rango de barrido y sensibilidad del osciloscopio.

MÉTODO DE RASTRO POR CORRIENTE ALTERNA MODULADA

PRINCIPIO: Cualquier corriente de 25 ó 60 ciclos - que es interrumpida ó variada y transmitida a un conductor con falla desde un terminal y luego rastreada hasta localizar el punto de falla, puede considerarse este procedimiento como un método de corriente alterna modulada.

APLICACION: Falla de línea a tierra en un conductor tripolar.

EQUIPO UTILIZABLE: Un transmisor de corriente alterna y un detector.

El transmisor puede ser cualquier suministrador de potencia de corriente alterna que tenga el voltaje de salida deseado y señale por interrupción ó variación este voltaje a intervalos determinados. Los detectores pueden captar el cambio en la señal rastreadora.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

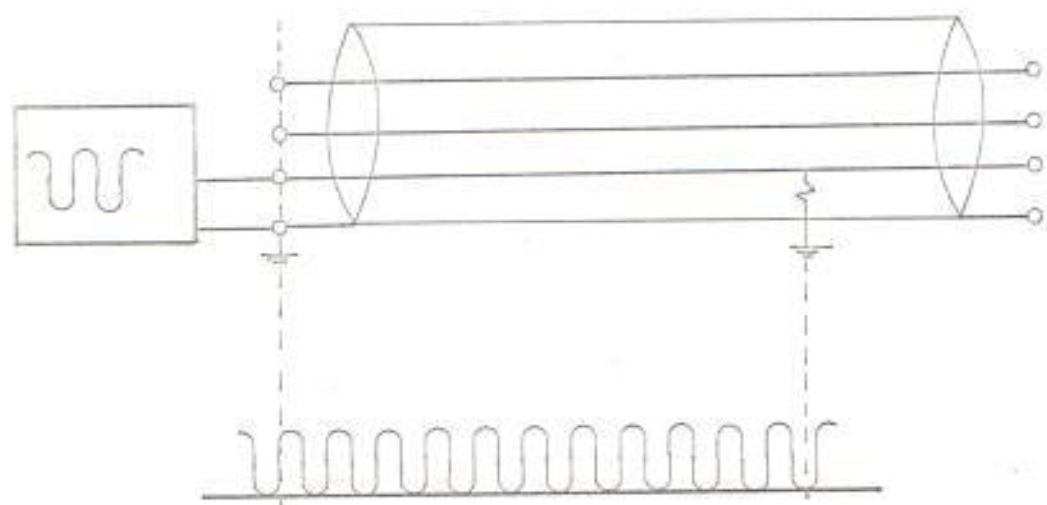


fig. 45

OPERACION: Como se indica en la fig. 45, la señal es transmitida desde un terminal a lo largo del cable hasta alcanzar la falla en ese punto, la corriente sigue por el camino de retorno, resultando un cambio en la señal aplicada en su nivel ó dirección ó en ambos, dependiendo este hecho del tipo de instalación.

El cambio de la señal rastreadora puede ser detectado por uno ó otro de los dos efectos. Uno sienta el campo electromagnético alrededor del eje del cable, el cual es indicado por nivel de sonido audible ó una deflexión de la medida. La otra sensación de la crisis de voltaje es detectado por pruebas en el camino de retorno de tierra y es indicado por un cambio en la medida. La señal rastreadora de c.a. es también usada para rastrear la ruta exacta de cables enterrados directamente antes de la operación de localización de fallas.

La señal rastreadora puede ser aplicada a un conductor aterrizado donde la fuente puede ser conectada entre el conductor y el camino de retorno.

Esto es más efectivo puesto que una porción de la corriente desde la falla es eliminada a traves de tierra ó de otro camino aterrizado. Esto reduce la cancelación del campo electromagnético por la señal de retorno como ocurrirá con conductores concéntricos con camisa metálica, cables con neutro concéntrico, ó aún un simple alambre aterrizado si cualquiera de estos llevara una parte de la corriente de retorno.

CONCLUSION: La detección de la señal en cables entre
trazos directamente algunos veces sufre
de la presencia de subestructuras meté-
licas adyacentes tales como, tuberías,
conduits metélicas de otros cables, etc.,
todos los cuales tienen que ser conoci-
dos para acoplar una señal de corriente
considerable en paralelo con el conduc-
tor falloso, luego partiendo en más que
una dirección y requiriendo más cuidado
que el usual en el rastreo de la ruta y
la localización de la falla.

Generalmente el resultado obtenido de-
pende de que la resistencia de falla la
cual no debe de ser sobre 50 kilo ohms
para detección electromagnética y no so-
bre 500 kilo ohms para detección por
gradiente de voltaje.

TIPODOS DE RASTRO: POR CORRIENTE DIRECTA
MODULADA

PRINCIPIO: Por medio de una fuente generadora se envía una señal que puede ser continua ó interrumpida periódicamente desde un terminal a lo largo del conductor hasta el comienzo del punto de falla, en el cual regresa por el camino de retorno, produciendo un cambio en la señal aplicada ó en su dirección ó en ambas.

Este cambio de la señal aplicada puede ser detectado por cualquiera de los detectores.

Aunque no hay nivel de sonido audible, la señal rastreadora d-c tiene la ventaja que ella puede revelar la dirección de la señal tan bien como su magnitud.

APLICACION: Analizaremos este método para una falla de línea a tierra en un cable tripolar.

EQUIPO UTILIZABLE: El equipo requerido para este método

OPERACION: La señal de voltaje como se indica en la Fig. , es transmitida desde un terminal a lo largo del cable y rastreada hasta alcanzar el punto de falla. Esta señal rastreadora puede ser aplicada a un conductor aterrizado donde la fuente puede ser conectada entre el conductor y el camino de retorno (tierra). Esta forma es la más efectiva puesto que una parte de la señal de corriente es eliminada a través de tierra u otro camino aterrizado. Esto reduce la cancelación del campo electromagnético por la señal de retorno como ocurriría con conductores concéntricos con revestimiento metálico, cable concéntrico neutro, ó aún con un simple alambre a tierra cuando cualquiera de estos lleve una porción de la corriente de retorno.

La señal puede ser rastreada por medio de detectores a lo largo de su ruta hasta localizar el punto de falla.

CONCLUSION: La experiencia indica que corrientes del orden de 5 amperios y voltajes hac-

te de 20.000 voltios son requeridos para tener suficiente fuerza en la detección de fallas que tengan resistencias típicas a tierra, a menos que la falla pueda ser primera fulminada. Las fallas que tengan valores de resistencia muy altos para permitir la adecuada corriente de la señal pueden ser también fulminadas ó quemadas.

Los transmisores de corriente directa modulada necesitan de aproximadamente el 125% del producto corriente voltaje de d-c disponible en el terminal del cable para la entrada de potencia. Los transmisores comercialmente disponibles varían en capacidades desde 500 voltios a 5 amperios hasta de 10/20 Kv. a 25/12.5 amperios.

Se ha reportado por parte de Empresas Eléctricas, que el método de la corriente directa modulada ha sido usado satisfactoriamente en instalaciones subterráneas y subterráneas.

METODO: Diferencia de potencial de D.C sobre el recubrimiento.

OBJECCION: El método de la diferencia de potencial (D.C) sobre el recubrimiento puede ser mejor descrito refiriéndose a la fig.

En este caso de una falla de un conductor al plomo, una corriente directa proveniente de una batería pasa a través de una corta longitud del recubrimiento (casaca de plomo) y la caída de voltaje resultante, que puede aparecer entre el conductor con falla y el recubrimiento, es medida en uno de los terminales del cable.

Si la resistencia de falla paralela es lo suficiente baja ó la resistencia interna del aparato de medida de voltaje usado en el terminal del cable es lo suficientemente alta, un voltaje será medido en el terminal del lado sin falla de la batería.

No se medirá voltaje en el terminal sobre el lado con falla y los contactos de

Todo consiste en un transmisor para suministrar la señal y un detector usado para seguir la señal.

El transmisor puede ser cualquier suministrador de potencia de corriente directa que tenga el voltaje de salida deseado e indique como va variando este voltaje a intervalos definidos.

Los detectores usados para rastrear la señal poseen dos formas generales: el electromagnético y el gradiente de voltaje, las características de ambos se indican en páginas posteriores.

DIAGRAMA DE CONEXIONES:

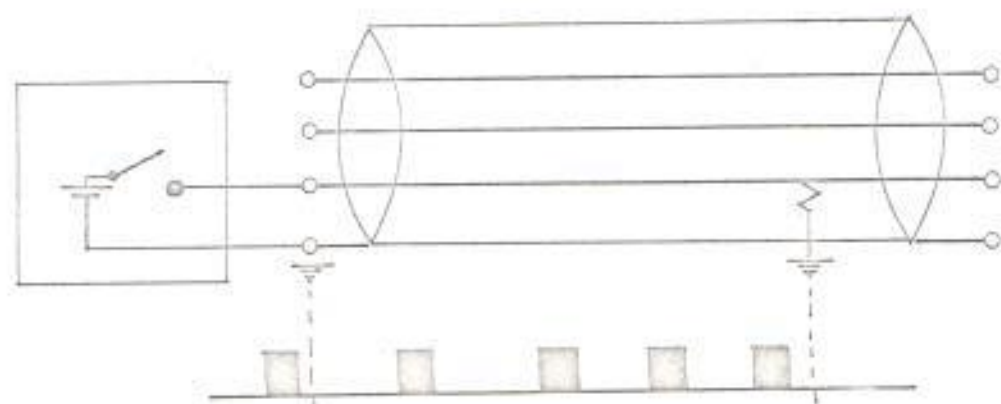


fig. 46

La batería por el recubrimiento puede ser movido hacia este terminal hasta que un voltaje es indicado, de este modo localizamos la falla.



DIFERENCIA DE POTENCIAL DC
SOBRE EL RECUBRIMIENTO

fig. 47

Puede reportarse que este método ha sido satisfactoriamente usado en cables aéreos y cables con recubrimiento metálico enterrados directamente, una batería

de tres voltios y un voltímetro del tipo tubo al vacío han sido empleados para suministrar respectivamente la potencia y el instrumento de medidas de voltaje.

Si la instalación del cable es tal que un camino de baja resistencia paralelo al recubrimiento alrededor de la falla, tal como puede ocurrir a través de tierra en instalaciones enterradas, directamente, la indicación del voltímetro sobre el lado con falla puede ser negativa más allá de cero, lo cual puede aún indicar mejor el punto de localización de la falla.

En el caso de instalaciones enterradas directamente el método obviamente requiere del uso de agujeros de prueba para aplicar el voltaje de la batería al recubrimiento. Además, haciendo buenos contactos de prueba a la camisa de plomo a través de armadura ó chaqueta aislada, ó haciendo buen contacto a todos los filamentos de acero, puede presentarse un problema tanto para instalaciones aéreas ó enterradas directamente. En aéreas donde corrientes vagabundas ó corrientes galvánicas directas están presentes, el método puede estar limitado en su aplicación para instalaciones enterradas directamente.

PREPARACION DEL PUNTO DEFECTUOSO

PROCESO DE QUEMADO: Es necesario reducir lo suficiente la resistencia de paso de los puntos defectuosos para poder emplear el instrumento de medición -- por reflexión de impulsos aún en aquellos en que dicha resistencia ohmica sea muy llevada.

Para sobrepasar este problema, es a menudo posible -- reducir la resistencia de falla a un valor aceptable, por la aplicación de un voltaje suficiente para quemar el aislamiento en sus puntos más débiles sin producir sobrepresiones en el resto del aislamiento. -- La falla es asumida que ocurre en su punto más débil.

En la Fig. 48 , se indica la forma de conexión de un aparato de quemadura al cable:

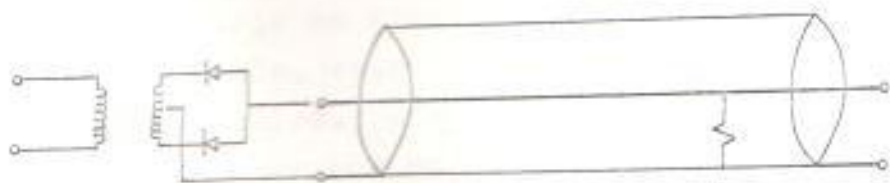


fig. 48

La corriente de quemado, carboniza el aislamiento -- hasta que la resistencia es reducida a valores los cuales son menores que la fuente de impedancia de el cable. Cuando este proceso sucede, es luego posible emplear cualquier método de medida de terminales con un máximo de precisión y sensibilidad. Naturalmente este remedio no se necesita en fallas series.

El proceso es realizado por medio de un quemador de falla el cual es un suministrador ajustable d.c. de alto voltaje-alta corriente que es aplicada en un terminal.

La acción es normalmente controlada por la aplicación cuidadosa de la corriente de quemado. Un quemador de falla típico entrega 250 mil amperios en 24 kv d.c bajando a 2 A en 3 kv d.c. y 9 A. en un bajo voltaje de 500 V. a.c. Esto requiere 6 Kva.

Sin embargo, hay una desventaja de este proceso. -- Desde que el voltaje es aplicado igualmente a todas las partes del cable, este puede producir otras fallas en puntos débiles. Además ha sido demostrado que el proceso de quemado no es siempre aconsejable en aislamiento de polietileno, el cual predomina en la actualidad en las instalaciones de cables.

DETECTOR ELECTROMAGNETICO

El detector electromagnético mide la magnitud del campo magnético que resulta cuando parte de la señal transmitida es retornada a través de tierra y es retornada sobre el recubrimiento cuando esta está presente. Excepto para señales rastreadoras de corriente alterna, este también detecta la dirección de la corriente dominante. Como se indica en la fig. 49, el detector consiste de una bobina recolectora conectada a un receptor, teniendo un indicador y para señales audibles, un altoparlante ó auriculares.

Para señales de tono audibles el receptor responde a una frecuencia seleccionada y el medidor mantiene una deflexión continua en la misma dirección. Para la corriente directa interrumpida y la señal de impulso de capacitancia, el indicador responde a cada pulso, como se indica en el diagrama, hay dos tipos de bobinas recolectoras empleadas, dependiendo del tipo de instalación que está siendo rastreada. Una es una bobina diseñada para ser llevado sobre la superficie de la tierra. Esta bobina de superficie es a menudo usada para rastrear la ruta y señalar el punto de una falla en instalaciones directamente en-

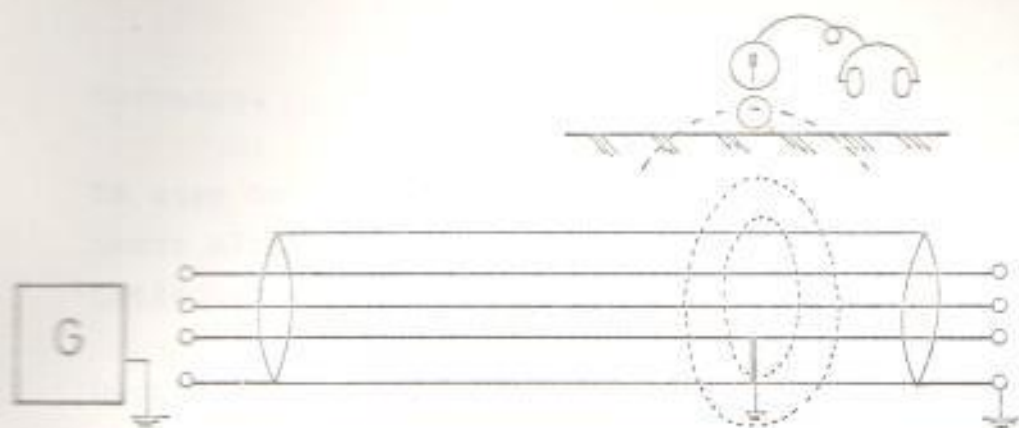


fig. 49

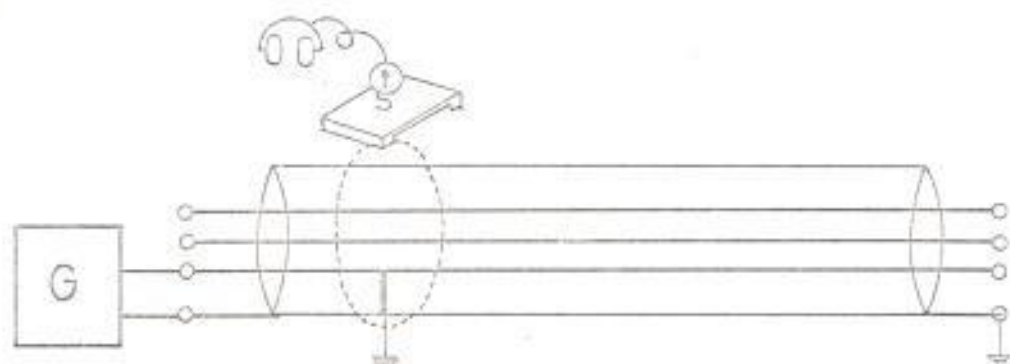


fig. 49-a

terradas.

La otra bobina es diseñada para ser aplicada manualmente alrededor de la circunferencia de la camisa protectora del cable.

Desafortunadamente con conductores con camisa metálica individual, gran parte de la corriente de retorno por tierra es coaxial a el conductor siendo impulsada y esto tiene el efecto de cancelación de la señal transmitida. Sin embargo, el detector electromagnético trabaja mejor con conductores sin recubrimiento. Con cables multiconductores con camisa de plomo, la falla es localizada por pérdida del efecto excéntrico, ó "desequilibrado", y los cambios periódicos en el nivel de la señal debido a la posición de el conductor impulsado con respecto a el eje del cable. - Con cables de multiconductores sin camisa metálica, la falla es localizada por pérdida del nivel de la señal con ó sin pérdida del efecto desequilibrado.

Con cables unipolares la falla es localizada por pérdida del nivel de la señal. Con cables tipo camisa de plomo y neutro desnudo concéntrico, el efecto coaxial puede ser sobrepasado por medio de un shunt externo colocado sobre la bobina del tipo alrededor de la camisa, para evitar algunas de las corrientes de la camisa y luego recolectar una señal proporcional

a la corriente del conductor.

La utilidad de el detector depende de su sensibilidad básica. Un instrumento disponible proveerá un control mejorado para ajustar la sensibilidad para dar unas condiciones de rangos anchos de señal. Bajo circunstancias favorables esto es posible para localizar fallas dentro de una precisión de unos pocos pies.

EL DETECTOR GRADIENTE DE VOLTAJE

El detector gradiente de voltaje siente la magnitud del voltaje de retorno por tierra desde el punto de falla. Excepto para cables restresores de corriente alterna, este también detecta la dirección del voltaje como se indica en la Fig. 50.

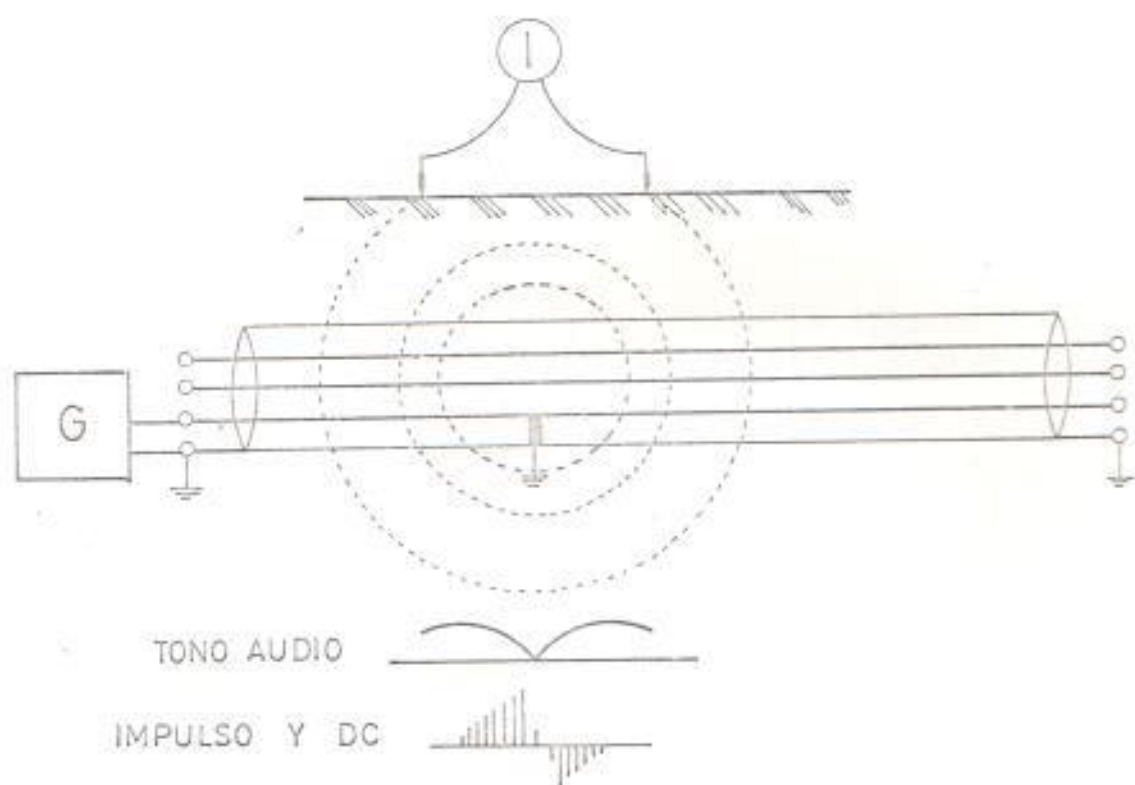


fig. 50

Se comúnmente usado en cables enterrados directamente donde los circuitos equipotenciales son radiales desde la falla en todas las direcciones.

El detector consiste de un par de puntos probadores conectados a cualquiera de los mismos receptores usados para el detector electromagnético dependiendo de el tipo de señal que está siendo rastreada.

En cualquier caso, la ruta en la superficie del cable es mostrada con pruebas de espacios iguales, pero un incremento de gradiente de voltaje como la falla se aproxima desde cualquier lado. Una indicación nula es obtenida cuando los probadores están montados sobre la falla.

Aunque el método es muy real, este es algunas veces menos sensible sobre conductores con recubrimiento - que sin él, por las mismas razones indicadas en el detector electromagnético. Con bobinas del tipo selector del cable, este detector es también usado sobre cable con camisa de plomo, el cual está unido en ambos terminales, bajo circunstancias favorables, es posible detectar una señal en cables directamente enterrados tan lejos como 25 pies del camino y localizar la falla dentro de una precisión de más o menos 6 pulgadas.

Como indica la Fig. 50, el detector de gradiente de voltaje puede ser simplemente un par de puntas dispuestas con un cable conectado a uno de los detectores mencionados previamente. En la práctica, los puntos de pruebas son mantenidos en un espaciamiento igual mientras se está probando la superficie.

25009-1-1972-1873-1874

ESTADISTICA DE DAÑOS
OCURRIDOS EN LAS
ALIMENTADORAS SUBTERRANEAS
DEL SISTEMA
DE LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL

AÑOS : 1971 - 1972 - 1973 - 1974

RESUMEN ESTADISTICO DE DAÑOS
OCURRIDOS EN EL SISTEMA
SUBTERRANEO

CARACTERISTICA DEL DAÑO	1971	1972	1973	1974
FALLA EN CABLE SUBTERRANEO	57 %	33 %	44.5 %	75 %
FALLA EN EQUIPO SUBTERRANEO	43 %	67 %	33.3 %	25 %
INUNDACION POR AGUA	—	—	11.1 %	—
FALLA DESCONOCIDA	—	—	11.1 %	—

FECHA	ALIMENTADORA	CARACTERÍSTICA DEL DAÑO	HORAS DE SERVICIO
4 Febrero	SANTANDREA	Daño en cable y en empalme de 4 vfas	1 hora
10 Febrero	D. J. GARCIA	Reposición caja fusibles en línea empalmada	15'
22 Febrero	D. J. GARCIA	Reparación preventiva	1 hora
15 marzo	S. S. MARTINEZ	Cortocircuito en Dafa de 4 vfas	3'
20 marzo	S. S. MARTINEZ	Falló en cable DAFSA	15'
27 marzo	SANTANDREA	Reposición cortocircuito de accion 100A	1 hora
13 Abril	S. S. GARCIA	Falló en cable subterráneo	15'
27 Abril	S. S. GARCIA	Falló en cable subterráneo	1 hora
3 Mayo	S. S. GARCIA	Falló en empalme de plomo	1 hora
23 Junio	SANTANDREA	Falló en cable subterráneo	1 hora
10 Julio	SANTANDREA	Dafa 4 vfas averiada	1 hora
10 Sept.	SANTANDREA	Falló en cable DAFSA	1 hora
13 Noviembre	S. S. MARTINEZ	Daño en bobinado DAFSA	1 hora

FECHA	ALIMENTADORA	CARACTERÍSTICA DEL DAÑO	ITEM NO RESTAUR. SERVICIO
4 Mayo	I. CONTACTO	Rogamos, 2da planta	131
4 Mayo	FRIGIFERA	Explosión Caja 4 y 5 ^a	21
14 Abril	CUBANA	Cortocircuito en cable	234
14 Abril	FRIGIFERA	Cortocircuito en transmisión	234
16 Junio	I. CALDO SOLIVAR	Explosión de interruptor de acción de corte completa	294
14 Agosto	I. CALDO	Avaría en cable distribución	254

FECHA	ALIMENTADORA	CARACTERÍSTICA DEL DAÑO	RESERVA SERVICIO
2 Mayo	BOGOTÁ	Explosión Caja A.T. en Banco paraflexos	15'
9 Mayo	9 DE OCTUBRE	Explosión Switch 100 A	10'
7 Febrero	9 DE OCTUBRE	Explosión Cortacircuito	15'
28 Febrero	P. CALIB	Cortacircuito entre conexiones	9'
29 Febrero	BOGOTÁ	Desconocida	-
29 Mayo	BOGOTÁ	Cortacircuito en cortacircuito en aceite	10'
6 Mayo	BOGOTÁ	Trévida inundada por agua	0'
6 Mayo	BOGOTÁ	Trévida inundada por agua	10'
6 Mayo	9 DE OCTUBRE	Falla en cortacircuito en aceite	20'
23 Mayo	J. BOGOTÁ	Cable A.T. Dañado	15'
10 Junio	BOGOTÁ	Cable y empalmes en A.T. Dañados	25'
20 Agosto	BOGOTÁ	Falla en cable subterráneo A.T.	21'
21 Agosto	BOGOTÁ	Falla en cable subterráneo A.T.	15'
31 Agosto	9 DE OCTUBRE	Cortacircuito en aceite de cable	5'
27 Sept.	BOGOTÁ	Cable subterráneo A.T. dañado	21'
10 Oct.	BOGOTÁ	Desconocida	-

FECHA	ALIMENTADORA	CARACTERÍSTICA DEL DAÑO	Restaurar Servicio
4 DICIEMBRE.	PICHICOMA	Cable subterráneo A. T. al fondo	74
20 DICIEMBRE.	PICHICOMA	Cable subterráneo al fondo	74

FECHA	ALIMENTADORA	CARACTERÍSTICA DEL DAÑO	RESTAUC. SEVICIO
16 Mayo	Cablebranco	Corrosión en cable autoelevado A.C.	51
2 Mayo	J. SERRA H.	Cable autoelevado en PC estado	51
7 Mayo	J. SERRA H.	Cable A.C. en (en) estado	51
30 Junio	C. HERRERA	Fallas en cables en postes	51

EJEMPLOS PRACTICOS

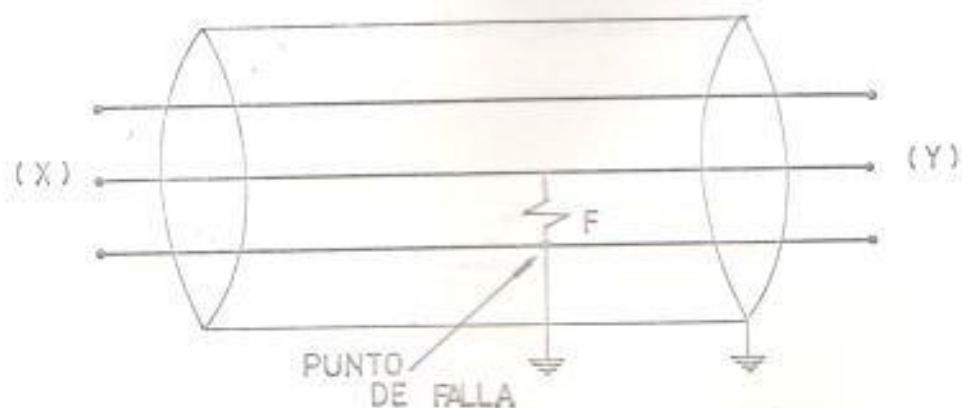
CASO I:

Falla en un conductor tripolar con camisa de plomo de 50 mm^2 de sección y 200 metros de longitud entre dos polos.

PROCEDIMIENTO:

1) Identificación del tipo de falla:

Utilizando un Megger, realizamos las pruebas entre los conductores y entre estos y tierra para determinar el tipo de falla, para nuestro caso esta fue de una falla entre conductores y a tierra.



2) Operación para localización del punto de falla:

Por medio de un puente de medida de resistencias, se mide primeramente la resistencia de los dos segmentos de líneas comprendidos entre el origen (X) y el punto de falla (Y), con esta medición se mide también la resistencia de paso en el lugar de la falla, con lo que:

$$R_x = \frac{2 L_x \rho}{S} + R_f$$

para el caso citado.

$$R_x = 2.7 \Omega$$

Después se efectúa la misma medida desde el extremo (Y) y obtenemos:

$$R_y = \frac{2 L_y \rho}{S} + R_f$$

con el cable aéreo

$$R_Y = 2.2 \Omega$$

Entre estas dos ecuaciones puede eliminarse la R_f que se desconoce. Designando $L=L_X+L_Y$ la longitud de uno de los hilos de la línea, se obtiene:

$$L_X = \frac{S}{4\mathcal{J}} (R_X - R_Y) + \frac{L}{2} \quad \text{metros}$$

$$L_Y = \frac{S}{4\mathcal{J}} (R_Y - R_X) + \frac{L}{2} \quad \text{metros}$$

SIENDO:

S = Sección línea

\mathcal{J} = Coeficiente conductividad, 0.0175 cobre

DEMO

$$L_X = \frac{50}{4 \cdot 0,0175} (2,7 - 2,2) + 100 = 135,7 \text{ m.}$$

$$L_Y = \frac{50}{4 \cdot 0,0175} (2,2 - 2,7) + 100 = 64,3 \text{ m.}$$

Caso III:

TIPO DE APLICACION: CAIDA DE TENSION

DATOS: Conductor unipolar, de 35 mm² de sección
una longitud de 1000 metros, falla de lí-
nea a tierra.

OPERACION: Aplicando el método de la caída de ten-
sión y siguiendo el diagrama de la Fig.27
tenemos los siguientes datos:

resistencia conocida = 0,5 ohmios

Fuente de tensión de 2.5 voltios

Colocando el conmutador en sus dos posi-
ciones y leyendo la caída indicada en el
voltímetro, tenemos:

a) $V_1 = 2.5$ VOLTIOS

b) $V_2 = 16.5$ VOLTIOS

c) Conectando luego el voltímetro en el p-
unto extremo de la línea, tenemos:

$V_3 = 15$ VOLTIOS

Entonces la resistencia desde el origen -
hasta el lugar defectuoso se puede calcular:

$$R_x = \frac{V_2 - V_3}{V_1} R \Omega$$

reemplazando valores tenemos:

$$R_x = \frac{16,5 - 15}{2,5} \cdot 0,5 = 0,3 \Omega$$

La distancia al punto de falla es, según la fórmula:

$$R_x = \frac{L_x \rho}{S}$$

$$L_x = \frac{R_x S}{\rho} = \frac{0,3 \times 3,5}{0,0175} = 600 \text{ metros}$$

NOTA: Este método es aplicable solamente cuando la resistencia de falla no es muy grande y no varía durante la medida.

NOTA FINAL

Es evidente que hoy en día no existe un método que pueda localizar completamente todos los tipos de falla en todas las clases de instalaciones. Para cualquier sistema en particular la selección es generalmente determinada por el aspecto económico y el tipo de instalación que predomine. Un método el cual puede ser económicamente justificado y efectivamente responsable en un sistema que tenga muchos miles de cables en ductos, no puede estar disponible para un sistema de una pequeña cantidad de equipos subterráneos y cables enterrados directamente.

La selección del método puede ser solamente determinada por la evaluación del local ó del problema específico.

Los siguientes factores deben ser considerados en la determinación del método a usarse para una aplicación específica.

- 1) Algunos métodos necesitan más destreza que otros y deben ser considerados en función del personal disponible.
- 2) Algunos métodos involucran el uso de equipos más caros con requerimiento de entrada de poder más grande que otros.

- 3) Los métodos que dependen de la detección de la caída del resubricimiento son generalmente, confinados a cables e instalaciones subterráneas en ductos.
- 4) En el caso de construcción de líneas de ductos subterráneos todos los métodos de seguidor de señal son impedidos por los registros llenos de agua y las condiciones de las calles, tales como el tráfico, hielo, nieve, lodo, etc.
- 5) En la construcción de líneas de ductos es suficiente que la falla sea localizada entre manholes.
- 6) Los circuitos cuyos cables tengan numerosos ramales ó derivaciones, generalmente presentan problemas de localización de falla más complicado y generalmente indican el uso de los métodos seguidores ó rastreadores.

Para redes de cables en las que no sea rentable el empleo de un equipo sofisticado (vehículo) completo, un puente de medida portatil puede constituir el equipo básico para la localización de averías en cables.

La sensibilidad del puente se puede aumentar a un ni

vel que permita localizar las fallas cuya resistencia sea inferior a unos 50 kilohmios. El puente de medición de cables está equipado también para las mediciones de resistencias, según Thomson (a partir de 0.4) y Wheatstone, así como para medir el nivel de aislamiento con tensión de batería (hasta aproximadamente). Se pueden medir todas las resistencias óhmicas que interesen para la localización de averías (resistencia del conductor, aislamiento y punto defectuoso). Además el puente de medición de cables se puede utilizar para medir capacidades con un condensador patrón interno ó externo, así como para las mediciones de puentes capacitivos.

En el cuadro siguiente se presentará un resumen explicativo del tipo de fallas más comunes que se presentan y el método más recomendable para localizarlas.

En el apéndice podemos encontrar bibliografía referente a compañías de fabricantes de instrumentos y equipos para localizar fallas, y algunos ejemplos prácticos realizados por compañías eléctricas.

El presente trabajo ha tenido como finalidad la de presentar a los ingenieros de distribución, una guía

BIBLIOGRAFIA

GRILEY'S MATHIEBY

"Location of cable fault"
I.E.E.E. - Vol-IX-9 No.
4".

HEATH, ANTHONY

"Transmission and dis-
tribution reference --
Book".

A.M. HENNINGER

"Manual Standard del In-
geniero Electrico".

W.B. STEVINSON, Jr.

"Análisis de sistemas
electricos de potencia"

J.D. IRVING

"Electromagnetismo".

HARRINGTON, Lee J.

"The triple alliance in
Electrical Insulation"
Electrical Engineering,
Vol 59 (Jan, 1946).

FIELD, R.F.

"The basis for the Non-
destructive testing of
insulation" - I.E.E.E.,
Vol. 60 (Sept. 1941).

BUCK, FLOYD, AN UPHAM, WALTER

"Cable fault location"
39th meeting transmi-
ssion and distribution
committee. (Feb. 18-19
1946).

HARDING G.D.

"Cable fault reduction
and localization by the
direct method". - 39th
meeting, T. and D. ---
Committee.

JOAQUIN DEL CASTILLO P.

"Mantenimiento de cables subterráneos en sistemas de distribución de energía eléctrica". - Congreso Iberoamericano Ing. Mecánica, Eléctrica y Matemáticas. (Sept. 1969)

BEASCO INTERNATIONAL CORPORATION.

"Fault location in underground cable systems" Papers and publications (Feb. 1943).