



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CAMPUS ARAGÓN

“PROCEDIMIENTO PARA LA
DETECCIÓN DE FALLAS, EN LAS
REDES RADIAL Y AUTOMÁTICA EN
MEDIANA Y BAJA TENSION CON
EQUIPO UTILIZADO EN LUZ Y
FUERZA DEL CENTRO (LyF)”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
P R E S E N T A :
AGUSTÍN RAZIEL SANTOS AMADOR

ASESOR DE TESIS:
ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO

MÉXICO, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

A Dios, por que siempre me ha dado la oportunidad de disfrutar de la vida.

A mis padres porque gracias a ellos forje mis raíces.

A mis hermanas por quererme y apoyarme tal y como soy.

A mi amigo Eduardo Mérida por demostrarme con su ejemplo de vida que todo lo que uno se proponga realmente, se puede lograr así como su gran apoyo para la realización de éste trabajo.

A ti Alicia, mi amor, por que siempre has confiado en mí y has sido aliento para continuar siempre hacia adelante.

A ti mi amada hija Paola, por ser la luz de mi vida y mi esperanza para un mundo mejor.

Agustín Raziel Santos Amador.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.	4
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.	9
1.1 INICIO DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO.	9
1.2 HISTORIA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.	11
1.2.1 PRIMERA ETAPA.	11
1.2.2 SEGUNDA ETAPA.	12
1.2.3 TERCERA ETAPA.	12
1.3 FUTURO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	13
1.4 REDES AUTOMÁTICAS.	14
1.5 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.	14
1.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RED AUTOMÁTICA EN BAJA TENSIÓN (BT) POR AUTOEXTINCIÓN.	18
1.6.1 RED PRIMARIA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.	18
1.7 ZONAS ACTUALES DE LA RED AUTOMÁTICA.	23
CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN LyF PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS.	24
2.1 EQUIPO DE PRUEBA LABORATORIO O LOCALIZADOR BIDDLE Y/O HYPOTRONICS.	24
2.1.1 PRECAUCIONES.	26
2.1.2 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN.	26
2.1.3 EL DETECTOR ACÚSTICO.	29
2.2 TRANSFORMER TURN RATIO (TTR).	30
2.2.1 LAS PARTES PRINCIPALES DEL TTR.	31
2.2.2 LAS PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR PARA EL TTR.	33
2.2.3 USO DE LAS PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR PARA EL TTR.	34
2.2.4 PROBAR Y AJUSTAR EL TTR.	34
2.2.5 COMPROBACIÓN DE LA RELACION CERO.	34
2.2.6 COMPROBACIÓN DE RELACIÓN UNITARIA.	35
2.3 MEGGER.	36
2.3.1 PRUEBAS.	37
2.4 PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE (MEGGER).	39
2.4.1 CAUSAS DE ACEITE DEFECTUOSO.	40
2.4.2 ASPECTO DE LA MUESTRA.	40
2.5 PROBADOR DE RESISTENCIA DE TIERRAS.	40
2.6 MULTÍMETRO.	42
2.6.1 CARACTERÍSTICAS.	42
2.7 VOLTAMPÉRMETRO DE GANCHO.	43
2.7.1 CARACTERÍSTICAS.	44
2.8 DETECTOR DE ALTA TENSIÓN (PERCHA CATU Y PERCHAS BIPOLARES).	45
2.8.1 PERCHA CATU	45

	Página
2.8.2 PERCHAS BIPOLARES	46
2.8.3 FUNCIONAMIENTO	47
2.8.4 PRUEBA DE AUSENCIA DE TENSION ANTES DE IDENTIFICAR UNA FALLA	48
2.8.5 PERCHA BIPOLAR DE CARÁTULA INDICADORA.	48
2.8.6 PERCHA SONORA	
2.8.7 FASEO Y CORRIMIENTO DE MARCAS.	49
2.9 SECUENCIÓMETRO.	50
2.9.1 CONEXIÓN.	51
2.9.2 LECTURA.	51
2.10 LÁMPARAS DE PRUEBA.	51
2.10.1 GENERALIDADES.	53
2.10.2 CONSTRUCCIÓN.	53
2.10.3 FUNCIONAMIENTO.	54
CAPITULO 3: PROCEDIMIENTO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS, EN LAS REDES RADIAL Y AUTOMÁTICA EN MEDIANA Y BAJA TENSION CON EQUIPO UTILIZADO EN LUZ Y FUERZA DEL CENTRO (LyF).	55
3.1 ELEMENTOS DE FALLA.	55
3.2 TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS CABLES AISLADOS DE MEDIANA TENSION (MT) Y BAJA TENSION (BT).	56
3.2.1 CONDUCTORES A TIERRA.	56
3.2.2 ENTRE CONDUCTORES.	58
3.2.3 FALLAS POR CABLES TROZADOS.	58
3.3 CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS.	60
3.3.1 DAÑO MECÁNICO.	60
3.3.2 FALLAS EN TERMINALES O EMPALMES.	60
3.3.3 TEMPERATURAS EXCESIVAS.	61
3.3.4 EFECTO CORONA.	61
3.3.5 SOBRE TENSIONES.	62
3.3.6 DAÑO POR ANIMALES.	62
3.3.7 MEDIOS QUÍMICOS.	63
3.4 MÉTODO PRÁCTICO PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS.	64
3.4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR.	64
3.4.2 RECOLECCION DE MUESTRAS PARA EXAMINAR CABLES.	65
3.4.2.1 EMPALMES.	66
3.4.2.2 TERMINALES Y CONECTORES AISLADOS SEPARABLES (CAS).	67
3.4.2.3 EXAMEN DE LAS MUESTRAS.	67
3.4.2.4 PARA CABLES	68
3.4.2.5 PARA EMPALMES	71
3.4.2.6 PARA TERMINALES Y CAS.	72
3.4.3 DESARROLLO ESTADÍSTICO DE FALLAS.	72
3.5 LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS DE ENERGÍA.	73
3.5.1 CUALIDADES DE LAS CANALIZACIONES SUBTERRÁNEAS QUE FACILITAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FALLAS.	75
3.5.1.1 SUBESTACIÓN EN SECCIONAMIENTO.	77
3.5.1.2 SECCIONADORES CON TOMAS PARA CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS.	77
3.5.1.3 FORMA DE CONECTAR UN INSTRUMENTO SOBRE EL SECCIONADOR.	79

	Página
3.5.2 USO DE LA PERCHA CATU.	81
3.5.3 MEDIOS DE SECCIONAMIENTO: SECCIONADORES DE 2, 3 Y 4 VIAS.	81
3.5.4 DESCONECTADOR UNITARIO DE 2 PALANCAS.	82
3.5.5 TERMINALES REMOVIBLES EN LA AT DE LOS TRANSFORMADORES.	82
3.6 DESCONEXIÓN DE LAS ACOMETIDAS A LOS SERVICIOS.	84
3.7 MÉTODO Y EQUIPO ADECUADO PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS.	84
3.7.1 CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y TRAZADO DE CABLE.	84
3.7.1.1 ANÁLISIS DE LA NATURALEZA DE LA FALLA.	89
3.7.2.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA FALLA	89
3.7.2 DETECCIÓN DE LA FALLA EN EL TERRENO.	91
3.7.3 PERICIAS DEL TÉCNICO LOCALIZADOR.	105
3.7.4 DIFERENTES GENEROS DE FALLAS.	105
3.8 LOCALIZACIÓN DE FALLAS POR OBSERVACIÓN.	106
3.8.1 CAUSAS COMUNES POR LAS QUE UN CABLE SUBTERRÁNEO FALLA.	107
3.8.2 PUNTOS VULNERABLES.	109
3.8.3 DEDUCCIONES PÚBLICAS.	110
3.9 DETECTOR DE POTENCIAL DE BT.	110
3.9.1 DETECTAR POTENCIAL.	111
3.9.1.1 EN FASES	112
3.9.1.2 FUERA DE FASES	113
3.9.1.3 FUERA DE ANGULO	113
3.9.1.4 FUERA DE ANGULO Y DE FASES.	114
3.9.1.5 FASEAR BT DE 6 KV CONTRA BT DE 23 KV.	114
3.9.2 DETECTAR CABLE DAÑADO.	114
3.9.2.1 FASE A TIERRA	115
3.9.2.2 CRUZAMIENTO EN DOS FASES	115
3.9.2.3 CRUZAMIENTO EN TRES FASES	116
3.9.2.4 CRUZAMIENTO EN DOS FASES Y A TIERRA.	116
3.9.2.5 CRUZAMIENTO EN TRES FASES Y A TIERRA.	116
3.9.2.6 TIERRA ABIERTA.	117
3.9.3 DETECTAR CARGA.	117
3.9.3.1 CABLE CON HUMEDAD.	117
3.9.3.2 CABLE CON POCA CARGA.	117
3.9.3.3 CABLE CON MUCHA CARGA.	117
3.9.4 OTROS USOS.	118
3.9.4.1 CONECTAR EN PARALELO PLANTAS DE EMERGENCIA CUANDO NO SE CUENTA CON LAS LÁMPARAS DE SINCRONIZACIÓN DE DICHAS PLANTAS.	118
3.9.4.2 COMPROBAR CIERRE Y APERTURA DE LOS PROTECTORES.	118
3.9.4.3 CIRCUITO DE ALUMBRADO PÚBLICO.	119
3.10 PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA.	119
3.11 MEDICION DE RESISTENCIA DE TIERRA CON ELECTRODO MÚLTIPLE.	120
3.12 METODO DEL 62% PARA MEDICION DE SISTEMAS DE TIERRA.	123
3.13 MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.	124
CONCLUSIONES	126
FUENTES DE CONSULTA	128

INTRODUCCIÓN.

Existen muchos factores que intervienen en la actualidad para establecer planes de trabajo adecuados en la transmisión de energía eléctrica, de buena calidad, así como evitar al máximo el tiempo de interrupción del servicio de abastecimiento del servicio.

También es del dominio público que el crecimiento de la Ciudad de México (en particular el primer cuadro) ha excedido los límites de uso-demanda, así como su crecimiento respecto a los inicios de las redes de distribución, sobrepasando los regímenes de carga y voltaje a los que originalmente se les asignó a cada red (radial y/o automática). Por ello el desarrollo sobre éstas en cuanto a su crecimiento ha venido a hacerse de forma irregular, además de las condiciones del campo* como lo son oficinas gubernamentales de alto rango (Palacio Nacional, Palacio Legislativo etc.), grandes concentraciones de comercios e industrias y a todo ello se le aúna el ambulante, el tráfico vehicular y zonas de alto riesgo; lo anterior dificulta de gran manera ejecutar los planes de mantenimiento preventivo en algunas zonas. Sin embargo, no se puede hacer a un lado la obligatoriedad de efectuar en tiempo y forma todas las labores que prevengan interrupciones de energía eléctrica.

Lo anterior nos lleva a mirar hacia una realidad en la que debemos tener los elementos necesarios para dar la atención adecuada a cada caso particular dentro de las fallas típicas del sistema de cables subterráneos y tener una planeación a corto y largo plazo de lo que es la red de distribución de este tipo para evitar, en la medida de lo posible, que el sistema se interrumpa.

* Condiciones del campo refiere al lugar de desarrollo del trabajo a ejecutar, es decir dónde se encuentran las instalaciones y las condiciones geográficas, impedimentos técnicos, de seguridad, sociales, para desarrollar pruebas y reparaciones del sistema eléctrico.

Así, en los objetivos de ésta tesis se mostrarán las herramientas y equipos con que Luz y Fuerza del Centro cuenta para la detección de fallas en las redes radial y automática de mediana y baja tensión, su funcionamiento y uso; también veremos técnicas y procedimientos para localizar fallas en equipos, terminales y cables, así como las posibles causas de las mismas. De todo lo anterior debemos tomar en cuenta que las medidas de seguridad siempre serán prioridad en todos los trabajos a ejecutar.

En el capítulo 1 tendremos los antecedentes de este tema:

En el año de 1928, quedó en servicio la primera red automática de BT con alimentadores primarios de 6000V. La red cubrió la zona de más alta densidad de carga en un área de 0.8Km².

Historia de las redes de distribución.

El ingeniero Emilio Leonards ejecutó el proyecto e instalación del sistema de distribución secundaria, tipo red automática, con cables trifásicos de papel y plomo, directamente enterrados.

- Futuro de las redes de distribución de energía eléctrica.
- Selección del sistema de distribución.
- Funcionamiento del sistema de red automática en BT por autoextinción.
- Red primaria del sistema automático:

Esencialmente el sistema primario de la red automática, es un conjunto de alimentadores radiales sin enlace entre ellos, llegando directamente sin medio de protección a los transformadores de distribución localizados en los centros de carga. Falla y mantenimiento en el equipo de la red.

- Interrupción por falla en el cable de derivación al servicio en BT.
- Zonas actuales de la red automática.

En el capítulo 2 daré las características de los equipos utilizados en la detección de fallas utilizados en Luz y Fuerza del Centro como son:

Equipo de prueba laboratorio o localizador biddle y/o Hypotronics, el detector acústico, las partes principales del transformador auxiliar para el TTR, Partes principales del transformador auxiliar para el TTR, pruebas y ajuste del TTR, Megger, probador de resistencia de tierras, detector de AT (perchas bipolares), prueba de fusibles high tension (HT), concordancia de fases, prueba de ausencia de tensión antes de identificar un trabajo, lámparas de prueba.

En el capítulo 3 veremos detalladamente los procedimientos para la detección de fallas en las redes radial y automática en mediana y baja tensión con el equipo utilizado en Luz y Fuerza del Centro (LyF).

Elementos de falla, tipos de fallas más comunes en los cables aislados de MT y BT.

- Conductores a tierra. Si la resistencia tiene un valor considerable se dice que la falla es resistencia a tierra. En los cables trifásicos aislados al ocurrir una falla pueden quedar unidos dos o las tres fases entre sí aislados de tierra. Si la resistencia es considerable la falla es resistencia entre sí.
- Fallas por cables trozados. Este tipo de falla puede presentarse en cualquier tipo de red principalmente en la red en malla automática. Conductor trozado y una sección a tierra.
- Causas que originan las fallas.
- Fallas en terminales o empalmes. Medidas preventivas que deben contemplarse son: mantener los cables dentro de los rangos de temperatura, considerando la corriente que soporta el cable para condiciones ambiente, evitar que el cable pase por fuentes térmicas, etc.

- Sobre tensiones. Medidas preventivas que deben tomarse son: Adecuada tensión de operación del cable, apartarrayos adecuado, evitar excesivas pruebas de tensión, diseño del sistema para minimizar las condiciones de resonancia.
- Método práctico para el diagnóstico de fallas. Se debe reportar si la falla ocurrió en servicio o bajo prueba. Si la falla fue en el ducto o en el cable directamente enterrado. En suma cualquier anomalía relacionada con la falla.
- Recolección de muestras para examinar cables.
- Examen de las muestras. La extensión de la parte quemada incluyendo el número de conductores y la parte del empalme, y cable adyacente afectados por la falla.
- Desarrollo estadístico de fallas.
- Localización de fallas en cables subterráneos de energía. Detalle de un cable alimentador con SE's en seccionamiento.
- Método y equipo adecuado para localizar fallas en cables subterráneos.
- Conocimiento de las características y trazado de cable.
- Tensión de trabajo.
- Determinación del trazado del cable.
- Análisis de la naturaleza de la falla.
- Detección de la falla en el terreno.
- Diferentes géneros de fallas.
- Localización de fallas por observación.
- Causas comunes por las que un cable subterráneo falla. Los fenómenos transitorios debidos a corto- circuitos, fallas a tierra, aperturas bruscas, etc., En un cable dispuesto verticalmente, es forzoso que el aceite por gravedad migre a las partes bajas del cable y produzca su falla.

- Detectar cable dañado. Si comprobamos potencial entre fases no encienden los focos de las lámparas se dice que el cable está sin regreso o quemado y aislado en sus tres fases.

Al efectuar un análisis de la información expuesta determinaremos que la correcta planeación del crecimiento de las redes de distribución y el mantenimiento preventivo nos proporcionará un servicio de energía eléctrica de excelencia y el tiempo de interrupción al usuario se reducirá significativamente.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 INICIO DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO

El sistema de distribución de energía, por cables subterráneos en la Ciudad de México para servicios públicos datan del año de 1922, en que se alimentaron por cables subterráneos algunos servicios en la colonia Santa Maria y colonia San Rafael por la compañía de gas y luz, empleando cables forrados con yute y alojados en canaletas de barro ahogados en chapopote (instalación tipo gas y luz) algunos de los cuales se encuentran aún en funcionamiento.

La Ciudad de México, estuvo alimentada por medio de una red radial con alimentadores primarios de mediana tensión (MT) de 3000V, hasta el año de 1926, cuando debido al crecimiento de la Ciudad se decidió cambiar la posibilidad de instalar una red automática de baja tensión (BT) en la zona centro de la Ciudad para proporcionar el mejor servicio posible.

En el año de 1928, quedó en servicio la primera red automática de BT con alimentadores primarios de 6000V. Procedentes de la subestación (SE) Nonoalco. La red cubrió la zona de más alta densidad de carga en un área de 0.8Km². Siendo su capacidad total de carga instalada de 5150KVA, con una demanda máxima de 10000KVA en un área aproximadamente igual a la original.

A partir del año de 1938, la ciudad tuvo un crecimiento más rápido por la reconstrucción y adaptación de edificios y por lo tanto, fue necesario ampliar el área servida, así como, los alimentadores primarios y cables de BT. Por lo que respecta a la alta tensión (AT) se instalaron 3 alimentadores primarios provenientes de la SE

Jamaica y la malla de cables de BT se dividió en dos partes para formar así la red automática Nonoalco y la red automática Jamaica, ambas con 3 alimentadores primarios y un voltaje de 6000V.

Al continuar el crecimiento, de carga en la zona comercial de la ciudad fue necesario ampliar la red automática y por consecuencia el aumento en la capacidad de los transformadores de 150KVA a 200KVA y 400KVA. Con protectores de red de 800A y 1600A respectivamente.

En el año de 1965 la construcción de la red central automática de BT, con alimentación primaria de 23KV por MT. La red central tomó parte de las redes Nonoalco y Jamaica, absorbiendo así la zona de más alta densidad de carga de la ciudad de México en un área de 113Km².

En el año de 1972 la red Reforma se encuentra alimentada por la SE de Pensador Mexicano, de la cual salen 6 alimentadores (redes 71 a 76), de 23KV y una capacidad instalada de 92.3MVA, con transformadores de 500KVA y 750KVA con protectores de 1600A y 2500A. Y con lo cual se absorbe una de las zonas con más alta densidad de carga en la ciudad de México, en un área de 1097Km².

La red Reforma geográficamente se encuentra limitada por las calles de San Cosme al norte, Av. Morelos al Sur, Eje Central Lázaro Cárdenas al Oriente e Insurgentes y la calle Roma al Poniente.

México es un país que desde hace algunos años se encuentra en desarrollo social y económico, por lo que requiere de un suministro constante, suficiente y eficiente de energía eléctrica.

En todos los tiempos la tecnología ha sido el motor del progreso, durante milenios el avance de este fue demasiado lento pero desde hace algunas décadas ha

llegado a tener un desarrollo muy importante, que ha transformado la realidad, esto ligado a todos los fenómenos de carácter económico, como es el comercio entre países que es fundamental para el desarrollo de todas las naciones.

1.2 HISTORIA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.

1.2.1 PRIMERA ETAPA.

Se inicia a principios de siglo y termina en el año de 1950. En esta época la distribución por medio de líneas aéreas, se populariza la tensión usada en el sistema de distribución de MT en el primario fue de 3KV y en el secundario 440V/220V y 127V.

Las instalaciones subterráneas son conocidas en México desde principios de siglo, en las calles de República de Guatemala y República de Argentina fueron encontrados cables instalados en el año de 1901; Las bóvedas para instalar equipos y transformadores sumergibles más antiguas datan del año de 1910.

Por lo cual el alumbrado público de las calles de Francisco I. Madero en el primer cuadro de la Ciudad de México, se instaló en 1904 y se retiró en 1953 para dar paso a sistemas más modernos.

En el año de 1942 y debido a las necesidades de continuidad en los servicios. El ingeniero Emilio Leonards ejecutó el proyecto e instalación del sistema de distribución secundaria, tipo red automática, con cables trifásicos de papel y plomo, directamente enterrados.

1.2.2 SEGUNDA ETAPA.

Se puede considerar en la década de 1951 a 1960 se caracteriza por la inquietud de ampliar y modificar los sistemas de distribución, así como presentar un aspecto estético aceptable para nuestra ciudad.

Al finalizar 1960 se tiene una potencia de 96535KVA instalada en una red subterránea y en la línea aérea una potencia de 65500KVA. Un hecho importante que sobresale en esta época es que en México se inicia la fabricación de equipos y materiales eléctricos.

1.2.3 TERCERA ETAPA.

Comprende a partir del año de 1961 a la fecha y se encuentran involucrados los países atrasados y los medianamente industrializados; como lo es México, y fundan sus perspectivas de progreso en aprovechar mejor sus recursos naturales y sus energéticos es así como en el petróleo y en la energía eléctrica, fundan la esperanza de estos países en desarrollo para lograr su independencia económica y tecnológica.

La energía eléctrica en México tiene una vital importancia en el progreso económico y social, al influir directamente en el desarrollo industrial, que es la base de la economía nacional, y que para satisfacer este desarrollo, el servicio es proporcionado por una entidad del estado con carácter de servicio público.

1.3 FUTURO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

En México el crecimiento demográfico es de una forma irregular, la mayoría de la población se encuentra en las grandes ciudades con la cual se presenta el problema de tener mayor cantidad de bienes y servicios que satisfacer en un área pequeña, por ejemplo el D. F. que cuenta con una población de 8605239 millones de habitantes*, un servicio social como lo es el metro que transporta diariamente ± 1.2 millones de usuarios, esto implica el no tener interrupciones de energía eléctrica constantemente y cuando llega a ver interrupción, el tiempo de esta es mínimo del orden de 0 a 10 minutos, en la industria metalúrgica y de la industria del petróleo, a su vez en los últimos años se ha agregado al sistema eléctrico una gran cantidad de equipo que no es tan tolerante en estas variaciones. Esto ha incluido una gran cantidad de equipo que es controlado electrónicamente. Algo de control se hace directamente a través de electrónica de conversión de potencia, como son impulsores de corriente alterna (CA), corriente directa (CD), y fuentes de energía conmutadas, además del equipo electrónico que está en los controles periféricos, como computadoras y controladores lógicos programables (PLC). Con la disponibilidad de estos complejos controles, se desarrolló un control de proceso mucho más preciso, lo que hace a esto aún más susceptible a los efectos de los disturbios en el sistema eléctrico.

Los disturbios en los sistemas que se han considerado normales durante muchos años, ahora pueden causar desorden en los sistemas eléctricos industriales, con la consecuente pérdida de producción.

Adicionalmente deben tomarse en cuenta nuevas medidas para desarrollar un sistema eléctrico confiable, mismas que anteriormente no se consideraban significativas.

* Fuente: Censo de población y vivienda del INEGI, www.inegi.gob.mx del 2000.

1.4 REDES AUTOMÁTICAS

La operación de redes automáticas de distribución con CA, es la solución eficiente para suministrar energía eléctrica a centros de gran densidad de carga, donde la continuidad del servicio es esencial, ya que la BT ha sido diseñada para evitar las interrupciones debidas a fallas de los alimentadores primarios, equipo y cables de BT siendo éstas las limitaciones y carencias que presenta el sistema radial.

1.5 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

Las exigencias cada día mayores de continuidad en el suministro de energía eléctrica hacia los consumidores y la dificultad en la intervención para el mantenimiento debido a esas exigencias, ha dado como resultado una cuidadosa selección en los sistemas de distribución, con el objetivo de dotarlo de posibilidades y recursos que permitan evolucionar en forma adecuada a las características futuras de expansión.

El crecimiento de la demanda, las condiciones geográficas, el desarrollo urbanístico y las presiones gubernamentales por estética y limpieza en las instalaciones, tiende frecuentemente a fijar un determinado tipo de distribución de energía, el cual en su esquema inicial deberá estar diseñado para poderlo transformar parcial o totalmente en uno más conveniente de acuerdo con la demanda del consumidor.

De lo expresado anteriormente, podemos agregar que para seleccionar un sistema de distribución de energía eléctrica, es necesario considerar los siguientes conceptos.

- a) Tipo de Carga: La carga es susceptible de absorber energía eléctrica y puede ser diferentes tipos según la zona por electrificar; constante, continua, variable, optativa, etc., y se puede clasificar según el tipo de utilización en alumbrado público, doméstico, industrial, comercial, bancario, prensa, hospitales, bombeo, etc., siendo necesario analizar cada una de ellas para fijar en forma aproximada el factor de demanda y de diversidad para seleccionar el mejor sistema de distribución.
- b) Importancia de la Carga: Este concepto está relacionado con el punto anterior, ya que de acuerdo con los distintos tipos de carga, es necesario analizar si dicha carga es concentrada, uniforme ó una combinación de ambos, haciendo un estudio de la continuidad requerida según la importancia del servicio.
- c) Condiciones de la zona geográfica: Es muy necesario considerar la zona geográfica por electrificar para evitar gastos inútiles de equipo y material, preparando un proyecto preliminar, ya que no es lo mismo una zona irregular con grandes servicios aislados y separados por grandes avenidas, a zonas más o menos regulares en sus edificios y cargas, aún cuando en ésta se tengan grandes concentraciones de carga.
- d) Desarrollo futuro de la zona: No hay que perder de vista el tipo de construcción de la zona geográfica, ya que de ello depende mucho el desarrollo futuro e incremento de la demanda, lo cual es necesario estimar en forma aproximada en un futuro de 10 años.

- e) Densidad de la Carga: Este concepto es uno de los más importantes dentro de las consideraciones técnicas para decidir el sistema de distribución por utilizar, ya que en forma general podemos considerar que hasta $6000\text{KVA}/\text{Km}^2$ se debe emplear la distribución aérea hasta $20000\text{KVA}/\text{Km}^2$ el tipo subterráneo de red radial y arriba de $20000\text{KVA}/\text{Km}^2$ el sistema de red automática o en derivación múltiple.

- f) Regulación de Voltaje: Este concepto se ve afectado directamente por el área geográfica de la zona, la densidad de carga, la selección de la tensión, el equipo y cable por instalar, ya que con el objeto de evitar grandes caídas de potencial y proporcionar un servicio en condiciones óptimas, es necesario efectuar los cálculos necesarios de acuerdo con el proyecto preliminar.

- g) Continuidad Requerida: La selección del sistema de distribución, depende casi en su totalidad de éste concepto ya que mientras más continuidad se requiera, el sistema es más complicado y de mayor costo inicial.

- h) Normalización del Servicio: La normalización en materiales y equipos por utilizar en la instalación de una red, juega un papel muy importante en la operación y mantenimiento futuro de las instalaciones, ya que es más sencillo basarse en un material y equipo normalizado para tener una existencia bien definida.

- i) Seguridad en la Operación: La normalización de los equipos y materiales, trae por consecuencia lógica, un punto muy importante que en el diseño de un sistema de distribución no debe perderse de vista y es la seguridad en su operación, ya que con la normalización es posible llevar al trabajador a un conocimiento preciso de lo que opera y facilidad en la capacitación para ejecutar en forma correcta las maniobras o trabajos inherentes.

- j) Costo inicial de su Instalación: Las consideraciones económicas en la implantación de un sistema de distribución son muy importantes, ya que debe hacerse un estudio económico de la depreciación y recuperación del capital invertido, pero sin perder de vista la operación y mantenimiento del sistema implantado.

- k) Costo de su mantenimiento: Independientemente del costo inicial de implantación del sistema por ampliar, es necesario considerar el mantenimiento futuro de las instalaciones, ya que ahorrarse costo inicial puede ser que en el futuro el sistema adoptado se incremente considerablemente por los costos de mantenimiento.

De un análisis de los puntos anteriores, podemos afirmar que generalmente son las consideraciones técnicas y económicas las que fijan los distintos tipos de construcciones de redes, pero en muchas zonas es la decisión gubernamental la que de hecho nos lleva a otro tipo de elección debido principalmente a las razones de estética, seguridad y limpieza en el sistema urbanístico.

En el caso de las redes automáticas en la Ciudad de México, prácticamente podemos indicar que en la mayoría de los casos se construyen sobre sistemas de distribución subterránea existentes, los cuales pueden ser del tipo radial, operación múltiple, mallados, etc. De acuerdo con un plan plenamente definido, siempre tratando de aprovechar al máximo lo que existe en operación con el objeto de hacer menos gravable la inversión.

1.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RED AUTOMÁTICA EN BAJA TENSIÓN (BT) POR AUTOEXTINCIÓN.

1.6.1 RED PRIMARIA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO:

Esencialmente el sistema primario de la red automática, es un conjunto de alimentadores radiales sin enlace entre ellos, llegando directamente sin medio de protección a los transformadores de distribución localizados en los centros de carga.

Cada uno de estos transformadores están conectados a la red primaria procurando que los cercanos entre sí no queden a una misma red; con el objeto de que al existir una falla en uno de los alimentadores no salgan de servicio todos los transformadores de una misma zona; de lo anterior, se entiende que entre los transformadores conectados a un mismo alimentador existen otros conectados a alimentadores distintos. La particularidad de estas redes automáticas es que todos los alimentadores deben llevar un porcentaje de su carga normal de trabajo, de tal manera que cuando uno de ellos quede fuera de servicio, los otros puedan absorber la carga del daño sin sobrecargarse.

Se procura que la carga de todos ellos sea igual o muy semejante, siendo necesario que partan de una misma SE principal, sean exclusivos de la red y su regulación de voltaje sea simultánea para obtener uniformidad y estabilidad en la distribución de su carga.

Ahora bien, el sistema de red automática está sujeto a diferentes fenómenos, tales como disturbios, crecimientos y desequilibrios que deben ser tomados en cuenta al efectuar el proyecto; de ahí que al entrar en servicio un alimentador, deberá hacerlo con un valor más bajo que el de su carga máxima con el fin de poder absorber más corriente en caso de disturbio, de un desequilibrio o bien de los aumentos originados por el lógico y continuo crecimiento de la demanda. La carga que puede llevar un alimentador y en la cual queden comprendidos estos conceptos, es a lo que podemos llamar capacidad normal de trabajo de un alimentador, que por supuesto dependerá del número de alimentadores, del tipo de carga y normalmente estará acondicionado a las experiencias y cálculos de la compañía.

Por lo tanto es lógico que en la capacidad normal de trabajo de un alimentador, nunca deberá rebasar la capacidad máxima del mismo, aún en las situaciones más críticas, ya que de esta manera se logra aprovechar y hacer rendir la vida de los cables. Cuando este valor de la capacidad normal se acerca a la máxima, lo cual se obtiene por la lectura de los amperímetros en las subestaciones, se procede de inmediato al proyecto de nuevos alimentadores.

De lo anterior se deduce que mientras mayor sea el número de alimentadores, trabajarán con una carga más cercana a la capacidad máxima, por lo tanto para calcular el porcentaje de carga que deben llevar los alimentadores lo podemos efectuar mediante la siguiente fórmula:

Siendo: N = No Alimentadores

Xn = Carga de cada uno de ellos, se tiene:

$Xn / N-1$ = Carga adicional que debe llevar cada alimentador al salir de un servicio.

Entonces:

$$Xn + \frac{Xn}{N-1} = 100\%$$

$$Xn = \frac{100\% N - 1}{N}$$

N° ALIMT.	CARGA NORMAL
2	50.00%
3	66.60%
4	75.00%
5	80.00%
6	83.33%
7	85.71%
8	87.50%
9	88.88%
10	90.00%

Tabla 1 Porcentajes de carga normal.

En condiciones anteriores, cuando ocurre una falla en cualquier parte de la red de BT, el corto circuito queda alimentado por la capacidad combinada de todos los transformadores, provocándose una corriente de corto circuito suficiente para evaporar en el lugar de la falla, el aislamiento y cobre de los conductores, trozándose generalmente en una reducida longitud (auto extinción) en un tiempo de corto número de ciclos, lo cual no da oportunidad para producir daños en los aislamientos del resto del cable o equipo, quedando de esta manea aislada la falla sin provocar interrupciones en los servicios conectados a uno y otro lado de la falla. Si ésta ocurre en una

derivación a uno de los servicios, es relativamente corta en virtud de que se localiza en forma instantánea por la queja del cliente.

Cuando la falla ocurre fuera de la red de BT, ya sea en un transformador o en uno de los alimentadores primarios, el corto circuito queda alimentado directamente por la SE principal y por la red de BT, pero en este caso de un lado se libra por la operación de los protectores de BT de los transformadores correspondientes a ese alimentador, debido a la corriente inversa que provoca el corto circuito.

Mientras el alimentador permanece fuera de servicio con el objeto de hacer las reparaciones convenientes, la carga de BT de la red, es llevada por los otros transformadores que están conectados a otros alimentadores primarios, por lo tanto, no se provoca interrupción alguna en los servicios de BT.

Concretando, podemos decir que la red automática instalada en nuestro sistema tiene las siguientes características:

- a) Alimentadores primarios radiales operados en forma de anillo abierto, con interruptores en aceite tipo RAC, con posibilidades de conectar los cables a tierra, para proteger al personal durante los trabajos de mantenimiento.
- b) Transformadores de 500KVA y 750KVA conectados en delta estrella y están protegidos por interruptores automáticos de BT (protectores de red) que trabajan en combinación con los interruptores automáticos de los alimentadores primarios.
- c) Cables de BT unidos entre sí formando una malla que al producirse un corto circuito se aísla la falla por auto extinción. Estos cables salen de los buses aislados de las subestaciones de transformadores en interior de edificios

donde se permite desconectarlos para efectuar las pruebas de regresos y localizar los cables quemados en el año.

De lo anterior, podemos sintetizar que la red automática ha sido diseñada con el objeto de tener la continuidad en el servicio en subestaciones de:

- a) Falla y reparación de un alimentador de AT.
- b) Falla y mantenimiento en el equipo de la red.
- c) Falla y reparación de los cables de BT.
- d) Licencias para el mantenimiento del equipo y de los cables de alta y baja.
- e) Licencias para ejecutar trabajos de ampliación ó modificación de las redes.

Todos estos objetivos los cumple ampliamente la red automática y sólo la continuidad del servicio se suspende en los casos de disturbio general como:

- a) Interrupción general de la SE principal.
- b) Siniestro grave en una bóveda ó SE, que obligue a desconectar todos los alimentadores primarios de AT para apagar el incendio.
- c) Interrupción por falla en el cable de derivación al servicio en BT.

Todas estas son poco frecuentes, siendo las dos primeras no imputables a la red y la última de muy rápida reparación y restauración.

Con el empleo de redes automáticas, se obtienen ventajas muy amplias con respecto al sistema de distribución radial debido a que se tiene:

- a) Continuidad en el servicio tanto por falla en los alimentadores de alta como de baja.
- b) Facilidad para dar licencias en el equipo y cables sin causar interrupción.
- c) Menor cantidad de equipo instalado.
- d) Mejor regulación en el voltaje, sin fluctuaciones provocadas por sobrecargas momentáneas.
- e) Menor costo de operación.

- f) Mayor seguridad en el manejo y operación del sistema.
- g) Menor costo de operación.
- h) Equipo de muy buena calidad.

Por lo tanto, podemos afirmar plenamente la bondad de este sistema en zonas de gran densidad de carga como lo es el primer cuadro de la Ciudad de México y zonas aledañas.

1.7 ZONAS ACTUALES DE LA RED AUTOMÁTICA.

El sistema actual de las redes automáticas de Luz y Fuerza del Centro (LyF) abarca el primer cuadro de la Ciudad de México, el cual está alimentado por 3 sistemas de red automática:

- a) RED CENTRAL: Con seis alimentadores primarios de 23KV proveniente de la SE Pensador Mexicano y cuyos límites son: al Oriente Correo Mayor, al Poniente San Juan de Letrán, al Norte Belisario Domínguez y al Sur por Fray Servando Teresa de Mier.
- b) RED REFORMA: Con seis alimentadores primarios de 23KV provenientes de la SE Pensador Mexicano cuyos límites serán: al Oriente Eje Central, al Poniente Insurgentes, al Norte Puente de Alvarado y al sur la calle de Roma.
- c) RED VERÓNICA: Con seis alimentadores primarios de 23KV cuyos límites son: al Oriente Av. Insurgentes, al Poniente Lieja, al Norte Paseo de la Reforma y al Sur Av. Chapultepec.

CAPITULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN LyF PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS.

2.1 EQUIPO DE PRUEBA LABORATORIO O LOCALIZADOR BIDDLE Y/O HYPOTRONICS.

El equipo de prueba, laboratorio o localizador Biddle y/o Hypotronics, figura 1, sirve para verificar las condiciones de aislamiento de conductores y equipo en MT en el sistema de distribución subterránea, consta de un emisor de impulsos el cual, puede enviar estos impulsos a través del cable a intervalos cortos de tiempo, de forma propios del subsuelo.

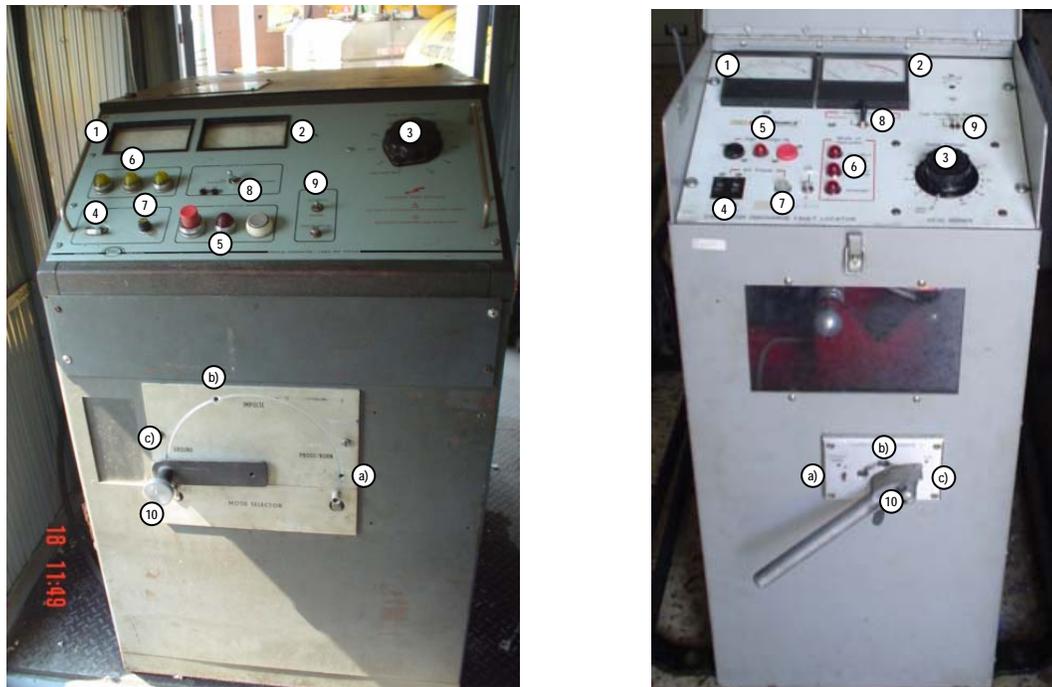


Figura 1 Equipo BIDDLE izquierda y HYPOTRONICS derecha.

Las partes principales del equipo Figura 1:

1. Kilovólmetro analógico.
2. Miliampérmetro analógico.
3. Reóstato para la regulación de voltaje.
4. Interruptor principal de encendido.
5. Fusible de protección del circuito principal.
6. Luz indicadora de posición (tierra, impulsos, probador/quemador).
7. Botón de encendido, apagado y luz indicadora de presencia de voltaje.
8. Selector de rango del miliamperímetro.
9. Selector de modo de impulsos (manual/automático).
10. Selector de funciones en posición a) QUEMADOR, b) IMPULSOS ó c)TIERRA.
 - a) Probador de aislamiento: Se utiliza para determinar el estado de aislamiento en cables aislados de MT.
 - b) Quemador: Se utiliza para facilitar la localización de fallas, con el objeto de quemarla (franquearla).
 - c) Generador de Impulsos: Proporciona una salida de alto voltaje en forma intermitente con la finalidad de rastrear y localizar la falla.

2.1.1 PRECAUCIONES.

- El mal uso de este equipo de AT puede ser extremadamente peligroso.
- Deberá leer cuidadosamente el instructivo o manual para la correcta operación del equipo.
- La seguridad es únicamente responsabilidad del operador.
- Para poder revisar el laboratorio este deberá estar desconectado de la fuente de suministro.
- Todo el personal deberá estar apartado de las partes vivas que se encuentren desnudas.
- Siga todas las medidas de seguridad.

2.1.2 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN.

Dependiendo de los requerimientos, el selector de funciones, en posición a) Prueba quemado, es usado para conducir una prueba de tensión y/o para quemar una falla como se explicó anteriormente.

Si ocurriera una falla en la prueba, a menos de 25KV, el operador debe:

1. Interrumpir la prueba, para prevenir la destrucción de la falla.
2. Continuar con la aplicación de AT con la finalidad de quemar la resistencia de la falla y además reducir tensión.
3. Puede proceder a transferir la palanca del selector a la posición de IMPULSOS, para propósito de localización de falla.

Siguiendo los siguientes pasos:

1. Deberá fijar la palanca del selector en posición de PROF/BURN (prueba/quemado).
2. Deberá de conectar el interruptor principal de la fuente de alimentación. La lámpara ámbar de prueba/quemado, se iluminará indicando que la fuente esta suministrando energía al laboratorio.
3. Deberá fijar el rango del ampérmetro a 100mA para el modo quemar (BURN), o de 5mA para el modo de prueba de tensión (PROF).
4. Deberá fijar el botón de control de AT de salida firmemente en la posición de arranque.
5. En seguida puede oprimir el botón de AT, y la lámpara roja deberá de encenderse, indicándonos con esto que la fuente esta disponible para suministrar AT.
6. Puede en este momento elevar la salida del control de AT o corriente, a través de la perilla.

NOTA: Si el rango de ampérmetro esta fijo en 5mA y si este nivel se llegara a exceder en el aparato se dispara y se apagará automáticamente.

- a) Una prueba de tensión es acompañada por incrementos graduales de control de tensión de salida desde cero en pequeños incrementos para que la tensión de salida alcance el nivel prescrito en no menos de 10 segundos y no más de 60 segundos, y entonces sosteniendo esta tensión por el periodo prescrito de tiempo sin adicionar ajuste del control de la tensión de salida. La falla es indicada por la anulación del volómetro para estabilizar la tensión prescrita sin reajuste.
- b) El quemador esta acompañado por incrementos graduales de control de tensión de salida para el nivel de tensión de prueba, o hasta que la corriente

de salida desarrolle un máximo de 100mA y entonces reajustarse como sea necesario para mantener una condición hasta que la tensión de salida de falla este bajo de 25KV o bajo de cualquier límite impuesto por la tensión de impulso.

En este punto la operación quizá sea interrumpida y transferida al modo de impulso o quizá sea continua para reducir además la tensión a través de la falla a criterio del operador, sin embargo, es necesario para llevar a cabo la ruptura en el modo de impulso a causa de la más BT de ruptura el más débil será la señal resultante, aún cuando una tensión de impulso más alta es aplicada.

7. Si se desea para propósito de prueba de tensión, coloque el interruptor de ampémetro a 5mA restablézcalo a 100mA antes de la prueba de quemado.
 - a) El rango de 100mA lee los valores RMS para el control de quemado.
 - b) El rango de 5mA lee los valores de CD verdaderos para propósitos de prueba de tensión.
 - c) Para impulsar a 25KV o algún límite prescrito debajo de 25KV, se deberá incrementar la tensión cada 10 segundos, empezando con largos incrementos pero aprovechando el límite gradualmente para así no sobrecargar ese punto. Si la falla ha sido quemada previamente, la ruptura inicial usualmente se podrá observar que ocurre antes de que la tensión final sea alcanzada.
 - d) Si la falla logra romper antes de alcanzar el nivel de prueba de tensión del cable, será necesario transferir la palanca del selector a la posición de (PROF/BURN), con la finalidad de quemar la falla y reducir la tensión por la instrucción dada al principio.

8. Si se desea empezar con el modo de IMPULSO MANUAL, este puede ser seleccionado moviendo el interruptor a esta posición. Esto se puede efectuar en cualquier tiempo mientras se tenga en la posición de IMPULSO (Impulse).

Con lo que respecta a la tensión de salida nunca deberá permitirse al operador elevar la tensión a más de 30KV. Cuando se encuentre operando en este modo de IMPULSO, ya que esto repercutirá en la vida útil del capacitor, es decir se reducirá su vida útil, es por esta razón que el laboratorio para automáticamente para así proteger al capacitor en tensiones que sobrepasen los 30KV. En algunos casos muy excepcionales, es necesario usar tensiones elevadas.

2.1.3 EL DETECTOR ACÚSTICO.

Este aparato nos sirve para detectar el ruido de la falla en el terreno y complementa al generador de impulsos.

Consta principalmente de un pupitre de comando, que lleva dentro un amplificador con regulación de volumen. A este van conectados un juego de captosres (receptores) acústicos, con guías largas y conexiones independientes, para así poder seleccionar uno u otro y poder así comparar la intensidad del ruido, y poder determinar así la dirección donde se encuentre la falla. (Ver figura 2)

La base de su funcionamiento de este selector acústico es una célula microfónica extremadamente sensible a las vibraciones del suelo y poco sensible a los ruidos ambientales.

El ensayo del generador de ondas de choque por si solo no constituye de ninguna manera, un método eficaz como localizador de fallas en los cables subterráneos pues se requiere forzosamente de tener una idea de la distancia

aproximada del alimentador así como de la ruta que este tiene, de lo contrario es necesario realizar un recorrido que puede llegar hasta de 5Km sin poder poner especial cuidado en una zona determinada y así podríamos pasar por el lugar de la falla en repetidas ocasiones sin darnos por enterados donde se encuentra la falla.



Figura 2. Detector Acústico.

2.2 TRANSFORMER TURN RATIO (TTR).

Transformer Turn Ratio (TTR) figura 3, instrumento que sirve para medir la relación de transformación de los transformadores.

La distribución de energía eléctrica en LyF, se realiza a través de transformadores (RT) tipo poste*, SE, sumergible, DRS pozo, DRS pedestal, etc., los cuales están conectados internamente en Δ -Y, estos transformadores están formados por un núcleo de láminas de hierro de silicio.

* Las características principales de un RT tipo poste son su peso, dimensiones y capacidad, todas son inferiores respecto a los tipo sumergibles; por ejemplo capacidades convencionales de RT tipo poste son de 30, 45, 75, 112.5 y 150 KVA y a diferencia de los sumergibles 300, 400, 500 y 750 KVA y su peso aproximado es de 350 Kg tipo poste contra 3000 Kg. Por lo anterior los esfuerzos mecánicos en el poste serían superados por el peso del transformador.

Este núcleo tienen 3 piernas por las cuales circula el flujo magnético, en cada pierna del núcleo de hierro del transformador se instala un devanado primario y devanado secundario, estos bobinados muchas veces llegan a fallar, pueden tener un corto circuito en el devanado primario, corto circuito en el devanado secundario, corto circuito entre espiras de los devanados primarios o secundarios, se puede abrir los devanados, etc.

Esto da como consecuencia que el transformador ya no dé servicio al usuario y cause una interrupción, por lo que el Departamento de Cables Subterráneos en su sección de Taller realiza diferentes pruebas al transformador. Una de ellas es la prueba de medición de la relación de transformación de los bobinados de los transformadores de distribución, la cual se realiza con un aparato de medición llamado TTR, figura 3.

Este aparato de medición se utiliza cuando la medición de la relación de transformación que se va a hacer es menor de 130 vueltas[†], si la medición de la relación es mayor a 130 vueltas se utiliza el TTR y un transformador auxiliar para el TTR, figura 4.

2.2.1 LAS PARTES PRINCIPALES DEL TTR SON:

1. Indicador de corriente de excitación: es un amperímetro que indica la corriente magnetizante que esta absorbiendo el transformador bajo prueba.
2. Indicador de voltaje de excitación: es un volímetro de CA que mide el nivel de excitación, el cual es de 8V.

[†] Mas adelante se explicará el procedimiento para calcular el número de vueltas del devanado.

3. Detector de cero energía de corriente de excitación: es un micro amperímetro (galvanómetro) con escala de cero en el centro, el cual sirve para detectar cero energía de CA, el cual tiene acoplado un rectificador.
4. Perilla para mover los números del 0 al 12: indica las decenas y centenas de la relación que se mide.
5. Perilla para mover los números del 0 al 9: indica las unidades de la relación que se mide.
6. Punto decimal.
7. Perilla para mover los números del 0 al 9: indica los decimos de la relación que se mide.
8. Perilla para mover los números del 0 al 100: indica los centésimos y milésimos de la relación que se mide.
9. Manija del generador: palanca que va acoplada al rotor del generador, el cual es una fuente de potencia con la que se excitan los devanados secundarios del transformador patrón que trae internamente el TTR y del transformador que se está probando, es un generador de imán permanente que puede suministrar 8V a una frecuencia de 60 ciclos por segundo.
10. Caimán rojo (CR) y caimán negro (CN).
 - a) sirve para poner en paralelo los devanados de AT del transformador bajo prueba y del transformador patrón del TTR.
 - b) sirve para poner en serie los devanados de AT del transformador auxiliar y el transformador patrón del TTR.
11. Prensa roja (PR) y prensa negra (PN).
 - a) Sirve para poner en paralelo los devanados secundarios del transformador patrón del TTR y del transformador bajo prueba.
 - b) Sirve para poner en paralelo los devanados secundarios del transformador auxiliar, transformador patrón del TTR y del transformador bajo prueba.



Figura 3. TTR.

2.2.2 LAS PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR PARA EL TTR.

- 1.- Interruptor de relación 100:1 y 200:1.
- 2.- Caimán rojo (CR) y caimán negro (CN).
- 3.- Prensa roja (PR) y prensa negra (PN).



Figura 4 Transformador auxiliar para el TTR.

2.2.3 USO DE LAS PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR PARA EL TTR.

1. El Interruptor de relación es para conectar internamente el transformador auxiliar en paralelo o en serie, 100:1 y 200:1.
2. Caimanes rojo y negro sirven para conectar el devanado primario del transformador auxiliar con el TTR en serie y este conjunto conecta auxiliar y TTR en paralelo con el transformador bajo prueba.
3. Prensa roja y negra sirven para conectar el devanado del auxiliar y el TTR en paralelo y este conjunto en paralelo con el transformador bajo prueba.

2.2.4 PROBAR Y AJUSTAR EL TTR.

1. Poner todas las mirillas en el valor cero (0.000).
2. Conectar los caimanes entre sí.
3. Las prensas deben estar libres y no deben tocarse entre sí y sus tornillos correspondientes.
4. Opere el generador a 8V constantes y observe que la aguja del detector aparezca en el cero o sea en el centro de su escala, si esta condición no se da, ajuste la aguja del cero con un desarmador en su tornillo correspondiente.
5. Sin accionar el generador obsérvese la aguja del detector, ésta debe de estar ligeramente fuera del cero de la escala más o menos 1.5mm.

2.2.5 COMPROBACIÓN DE LA RELACION CERO

1. Poner todas las mirillas en el valor desde cero.
2. Conectar los caimanes.

3. Las prensas deben tener sus tornillos apretados contra el cuerpo de la prensa asegurando un buen contacto, teniendo cuidado que las prensas no se toquen.
4. Se acciona el generador hasta obtener 8V constantes, se observa la aguja del detector a que indique cero, si esto no ocurre se mueve la cuarta perilla que mueve los números de la mirilla del punto 11 hasta que la aguja del detector se estabilice en el cero.
5. La comprobación es correcta si la indicación de la aguja en cero se obtiene cuando en la cuarta mirilla se movió menos de la mitad de una división partiendo del cero de la escala.

2.2.6 COMPROBACIÓN DE RELACIÓN UNITARIA.

1. Poner todas las mirillas para leer el valor de uno (01.000).
2. Unir la prensa negra con el caimán negro, la prensa roja con el caimán rojo, teniendo cuidado que no se toquen caimán negro y prensa negra con caimán rojo y prensa roja.
3. En las prensas roja y negra, apretar tornillo correspondiente contra el cuerpo de las prensas asegurando un buen contacto.
4. Accione el generador hasta obtener 8V constantes, la aguja del detector debe marcar cero, si esto no ocurre se ponen las mirillas en la posición de (00.999) y se mueve la perilla del punto 15 hasta que la aguja del detector marque cero.
5. La comprobación será correcta si en la cuarta mirilla se movió menos de la mitad de una división.

2.3 MEGGER.

El Megger, figura 5 es un instrumento que nos ayuda a probar el estado del aislamiento (en estado sólido) de un cable de energía eléctrica, genera corriente continua (CC) que nos permite conocer la resistencia del aislamiento del cable. Es un aparato muy conocido dentro del departamento de cables, e indispensable para poder realizar diferentes pruebas a los cables y equipos, consta de 2 puntas para su conexión, el neutro y el positivo.

El neutro se conecta al plomo del cable ó a su pantalla de conductor de neutro y el positivo que induce CC a la fase del cable a probar.



1. Pantalla de lectura de 0 – ∞ en $M\Omega$.
2. En la parte inferior se conectan los cables de neutro (color negro) que tiene un caimán de agarre y el positivo (rojo) termina en punta e induce un voltaje CC.
3. Botón de encendido, que se mantendrá oprimido al efectuar la prueba de aislamiento para tomar la lectura (al soltarlo deja de inducir el voltaje y por tanto se apaga).

Figura 5. Megger

2.3.1 PRUEBAS.

Separadas las guías, línea y tierra se opera el aparato, ya sea por medio de la manivela o el botón si es electrónico, el instrumento indicará una lectura de infinito (∞).

Al unir los puntos nos dará una lectura de 0 ohms (Ω), esto indica que no hay aislamiento entre los puntos, al realizar este paso nos indica si el aparato esta en condiciones de operación.

Conexión: Se debe revisar que el cable por probar tenga su plomo, es decir, por medio del Megger, se conectará la punta de línea en el plomo del cable y la punta de tierra en la tierra general o en otro punto de tierra diferente al cable que se probará.

La lectura que obtendremos será de cero, esto es con el fin de verificar que el cable no este aislado de tierra y se efectuó una prueba falsa.

Cable monofásico: Teniendo el punto de tierra como patrón de prueba, se procede a probar el conductor. Si el Megger nos diera una lectura de cero, el cable esta a tierra, lo cual indica que es necesario localizar la falla.

Si el Megger nos indica una lectura de infinito, puede indicar dos aspectos principalmente cuando hay duda de que el cable esta fallando que el cable esté en buenas condiciones, que el cable presente una falla aislada.

Cable trifásico: Se conectarán las guías del Megger entre fases y posteriormente cada fase con tierra.

Si se obtiene una lectura de cero indica que hay contacto entre fases esto es una falla franca. Si se obtienen lecturas diferentes entre fases puede indicar que es una falla semiaislada entre conductores en este caso se debe utilizar el equipo Biddle (ver inciso 2.1) para hacer la falla franca.

Si se obtiene una lectura de infinito, el cable está en buenas condiciones.

Aplicación: El Megger genera de 250V a 1000V con una pequeña corriente y se escoge el voltaje para aplicar.

Se debe utilizar la escala de 1000V para cable de longitud mayor de 1000m.

La escala de 500V para longitudes de 400m a 1000m.

La escala de 250V para longitudes de 1m a 400m.

La resistencia del aislamiento se mide en ohms (Ω).

$$1000\Omega = 1 \text{ kilo-ohm (k}\Omega\text{)}$$

$$1000000\Omega = 1 \text{ mega-ohm (M}\Omega\text{)}$$

Si el Megger da una lectura que no sea cero infinito, se aplica la norma que considera un $M\Omega$ por cada KV, es decir.

Un cable de 6KV, deberá tener una lectura de $6M\Omega$ de resistencia de aislamiento.

Un cable de 23KV, deberá tener una lectura de $23M\Omega$ de resistencia de aislamiento.

2.4 PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE (MEGGER).

Este equipo de prueba también es un MEGGER que sirve para verificar las condiciones en que se encuentra el aceite dieléctrico de transformadores e interruptores, la diferencia es clara el aislante a evaluar se encuentra en estado líquido.

Figura 6.

Sus partes principales son:

1. Pantalla led 0.0 — 60.0 KV. Pantalla digital iluminada.
Iluminación de alto voltaje activo.
Iluminación de nivel de rampa.
2. Controles principales arranque, paro y pausa con reloj de 1 minuto automático para prueba de resistencia.
3. Selección de niveles de rampa determina el modo de operación (semiautomático) con 0.5, 2 o 3KV/s de nivel seleccionable de elevación de voltaje.
4. Indicador de alto voltaje.
5. Interruptor principal de encendido — apagado.



Figura 6. Probador de rigidez dieléctrica.

2.4.1 CAUSAS DE ACEITE DEFECTUOSO

El aceite usado en transformadores y equipos de conmutación puede acabar siendo inservible a causa de cuatro motivos principales:

- a) Baja resistencia dieléctrica.
- b) Alto contenido de acidez.
- c) Alto contenido de fangos.
- d) Contenido excesivo de agua libre.

2.4.2 ASPECTO DE LA MUESTRA.

La baja rigidez dieléctrica puede producirse por muchas causas, siendo la más común partículas extrañas o fibras y agua combinadas.

Solamente una persona con experiencia podrá juzgar por su aspecto la condición de un aceite aislante, pero una guía general podrá obtenerse a través de las siguientes observaciones un aspecto nebuloso puede indicar que se ha formado fango.

2.5 PROBADOR DE RESISTENCIA DE TIERRAS.

El probador de resistencia de tierras figura 7, es un equipo que se utiliza en la evaluación del estado de los sistemas de aterrizamiento en subestaciones y diversos equipos que conforman el sistema de distribución.

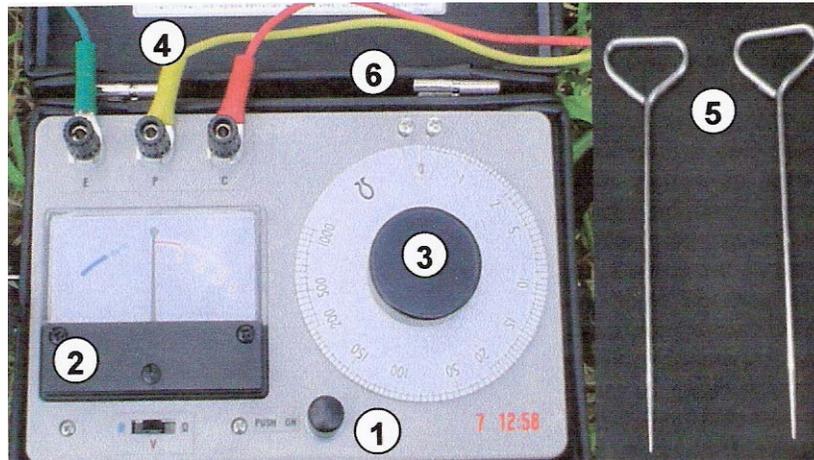


Figura 7. Probador de resistencia de tierras.

1. Botón de encendido y apagado
2. Galvanómetro.
3. Reóstato.
4. Terminales “E”, “C” y “P” de izquierda a derecha:
 - ✓ “E” induce una corriente a la resistencia de prueba
 - ✓ “C” es el contacto a la resistencia de prueba
 - ✓ “P” es la referencia conectada para determinar la resistividad del suelo.
5. Anclas que se entierran directamente en el suelo donde se conectan “P” y “C” indistintamente pero equidistantes EP y PC
6. Percha en la que se conecta “E” para inducir la corriente a la resistencia de prueba

El probador contiene un oscilador impulsado por una batería, esta proporciona una corriente a la resistencia de prueba, la cual va de la terminal E a la C, la diferencia de potencial en la resistencia se aplica a través de las terminales E y P causando una deflexión en el galvanómetro, figura 8.

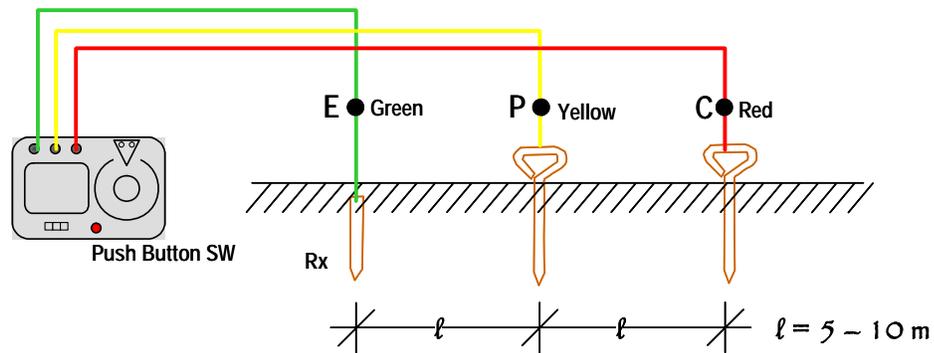


Figura 8. Forma en que se conecta el probador de resistencia de tierras.

La diferencia de potencial de la resistencia de prueba se balancea por medio de un reóstato variable que proporciona una resistencia igual y opuesta, al balancear no hay flujo de corriente en el circuito de potencia.

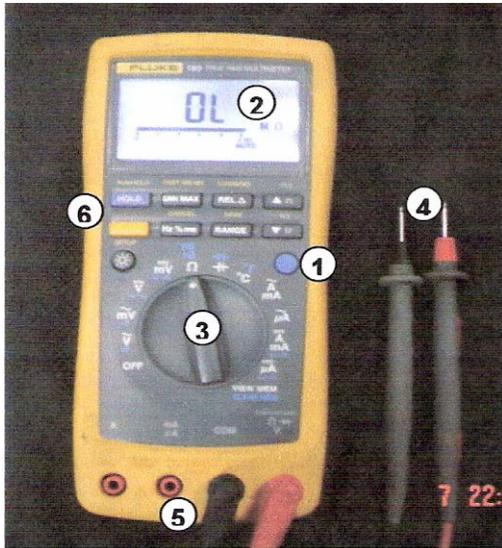
2.6 MULTÍMETRO.

Multímetro figura 9, instrumento de medición utilizado para medir parámetros de resistencia, diferencia de potencial, corriente, detección de nivel de ruido y continuidad.

2.6.1 CARACTERÍSTICAS

- CA de 0 — 600A \pm 10%.
- Tensión alterna de 0 — 600V rms \pm 10%.
- Tensión directa 0 — 600VCD \pm 10%.

- Resistencia 0 — 4000 ohms \pm 10%.
- Continuidad 0 — 40 ohms.
- Fijación de lectura máxima.
- Pantalla de cristal liquido.
- Botón para sostener lectura.
- Doble aislamiento.
- Precisión menor del 2 %.



1. Botón de encendido y apagado.
2. Display
3. Selector de función
4. Puntas de contacto para prueba.
5. Bornes de conexión de puntas de contacto dependiendo de la función seleccionada.
6. Funciones diversas como:
 - ✓ Relación,
 - ✓ Frecuencia,
 - ✓ Valores máximos y mínimos,
 - ✓ Hold
 - ✓ Continuidad.

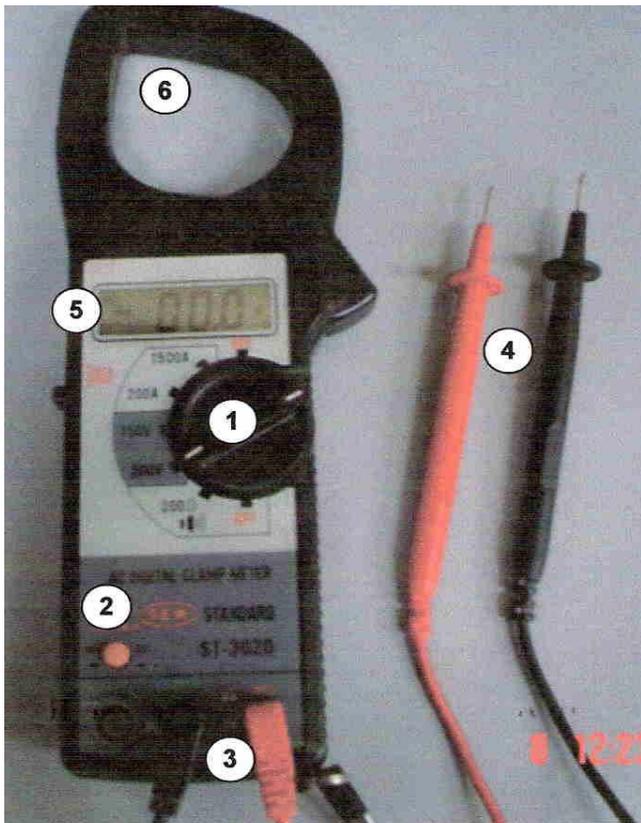
Figura 9. Multímetro.

2.7 VOLTAMPÉRMETRO DE GANCHO.

Voltampérmetro de gancho para BT: instrumento de medición utilizado para medir voltajes y corrientes en circuitos de BT. Figura 10.

2.7.1 CARACTERÍSTICAS

- Tensión de operación 0 — 600VCA \pm 10%.
- Rangos de corriente 0 — 1000ACA \pm 10%.
- Frecuencia 60Hz.
- Amplitud de la quijada 3.81cm.
- Precisión \pm 2%.
- Display digital 1.11cm.
- Masa aproximada 425g.



1. Selector de función
2. botón de encendido y apagado.
3. bornes de conexión a las puntas de prueba.
4. puntas de prueba.
5. Display digital
6. Gancho ó quijada para la medición del flujo de corriente eléctrica.

Figura 10. Voltampérmetro de gancho para BT.

2.8 DETECTOR DE ALTA TENSION (PERCHA CATU Y PERCHAS BIPOLARES).

2.8.1 PERCHA CATU

Es una percha probadora de presencia de tensión cuya sección es muy delgada a manera de poderse introducir por huecos reducidos, figura 11. La lamparita neón se encuentra colocada hasta la mitad de la longitud de la percha, con la finalidad de poder observar con facilidad dicha lámpara neón aun cuando la percha esté introducida por un espacio muy reducido.

Para probar el buen funcionamiento de esta percha se cuenta con equipo adicional, como una pistola- magneto capaz de generar el potencial mínimo para que la percha encienda con 2 o 3 gatillazos.

El borne de la tierra del magneto esta conectada a la cancha de la pistola y la del potencial al cañón; en esta forma, al acercar el electrodo de la percha al cañón de la pistola, se cierra el circuito a través del cuerpo humano.

Si esta percha piensa introducirse dentro de equipo con aceite, debe lavarse previamente con tricloroetileno o tetracloruro de carbono (figura 23).

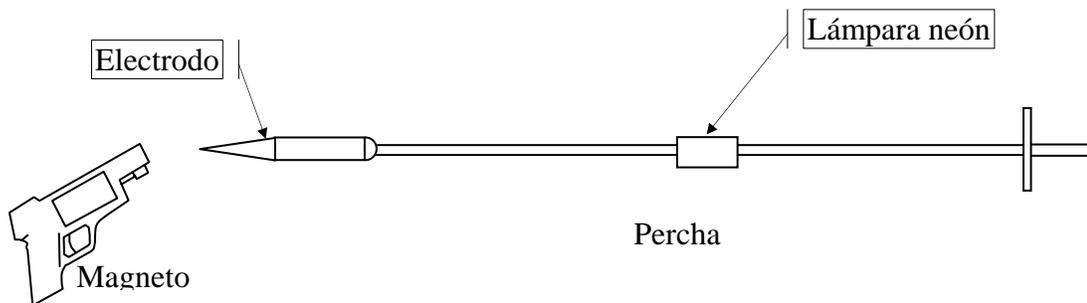


Figura 11. Percha CATU y pistola probadora.

2.8.2 PERCHAS BIPOLARES.

Detector de alta tensión (perchas bipolares) figura 12: instrumento de prueba que nos determina la presencia o ausencia de potencial en un circuito eléctrico de MT.



Figura 12. Detector de AT (perchas bipolares).

La percha bipolar Detex CL-8-36, se compone de dos elementos en forma de pértigas de 1.15m de longitud, constituida cada una de una antena.

Las dos antenas terminan en una pieza conductora en forma de “V” que permite apoyarse sobre los conductores. Una de las pértigas lleva el elemento detector constituido de un tubo luminiscente que cuando se ilumina se nota en las ventanas del elemento.

Unido al elemento detector va en un cilindro graduado en KV que permite adaptar el aparato a la tensión deseada, desde 2000V a 36000V.

Las pértigas van unidas por un cordón aislado de 1.40m agregando dos antenas CI-8-05 que atornillan a las pértigas se puede alcanzar dos puntos distantes de 2.25m estas antenas miden 0.55 m.

2.8.3 FUNCIONAMIENTO.

Ajuste de la Tensión: Un ajuste correcto del cilindro graduado en KV es importante para asegurar un buen funcionamiento y sobre todo para obtener la completa extinción del tubo luminiscente al contacto de dos conductores de la misma fase.

Ajustado sobre una tensión muy elevada, la iluminación del tubo puede no producirse. En una tensión muy baja hay riesgo de que se ilumine por el efecto capacitivo aunque las dos antenas estén al mismo potencial. El ajuste del cilindro nunca deberá hacerse BT.

- a) Prueba de fusibles High Tension (HT). Esta prueba puede servir como ejemplo típico de aplicación del detector bipolar. Se toca primero, con el elemento detector, el borne arriba de cada fusible, la iluminación del tubo indica que la tensión llega normalmente a la entrada del aparato. Se hace entonces contacto con el elemento auxiliar en el borne de salida. La extinción del tubo indica que los bornes están a un mismo potencial por lo que el fusible está intacto. Por el contrario, si el indicador sigue iluminado quiere decir que hay una falla en el fusible.
- b) Concordancia de Fases. Después de haber verificado por la detección simple la presencia de la tensión en cada uno de los conductores de una parte y otra, se identifican como siguen los de la misma fase:

Se toca primero con el elemento detector, uno de los conductores del primer circuito. El tubo se ilumina con una intensidad no muy fuerte

confirmando la presencia de tensión. Se toca después con el elemento auxiliar, sucesivamente cada uno de los conductores del segundo circuito.

Los que son de igual fase se identifican por la extinción del tubo, los de fase contraria forman un incremento en la iluminación.

2.8.4 PRUEBA DE AUSENCIA DE TENSIÓN ANTES DE IDENTIFICAR UNA FALLA.

Sucede frecuentemente que una línea aislada de su fuente de alimentación, pero aún no puesta a tierra tiene una tensión residual relativamente elevada, resultante de la inducción de líneas vecinas bajo tensión. En estas condiciones dará una indicación positiva pudiéndose creer que no se ha ejecutado el corte de la corriente.

El ajuste del detector CL-8-36 resuelve esta dificultad, con relación a la diferencia tan grande entre la tensión del régimen y la inducida en la línea, el aparato ajustado a la tensión del régimen no funcionará si efectivamente la línea esta conectada a su fuente de alimentación.

Después de esta prueba se podrá ajustar el cilindro graduado hasta la más BT investigando si los circuitos presentan una tensión inducida por lo menos igual a la sensibilidad del indicador, o sea 2000V.

2.8.5 PERCHA BIPOLAR DE CARÁTULA INDICADORA.

La percha bipolar Biddle 4-36 se compone de dos elementos en forma de pértigas de 1.40 metros de longitud, constituidos cada una de una antena.

Las dos antenas terminan en una pieza conductora en forma de “V” que permite apoyarse sobre los conductores. Una de las pértigas lleva el elemento detector constituido por una carátula y una aguja indicadora que al energizarse nos permite tomar una lectura de 0KV a 35KV.

Las pértigas van unidas por un cordón aislado de 1.40m agregando dos extensiones que miden 0.55m atornilladas a las pértigas, se puede alcanzar dos puntos distantes hasta de 3.10m.

2.8.6 PERCHA SONORA.

Es un instrumento electrónico, que trabaja a base de 4 pilas “AA”, que detecta campos eléctricos, generalmente se utiliza para detectar presencia o ausencia de potencial en terminales tipo codo, es necesario retirar con el bastón y el equipo de protección adecuado, el tapón de la parte superior de la terminal, para poder acercarla lentamente, hacia el pequeño disco metálico y si el circuito esta energizado, al tocarlo sonará la alarma integrada al aparato.

2.8.7 FASEO Y CORRIMIENTO DE MARCAS.

Cuando se realiza un faseo (buscar fases hermanas), lo que se hace en realidad es identificar las fases que están generadas en el mismo tiempo y el mismo ángulo.

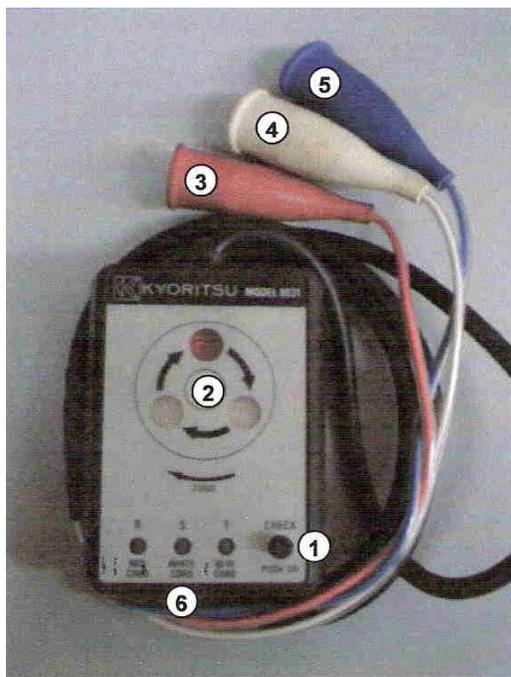
Este tipo de trabajos es cotidiano dentro del Departamento de Cables Subterráneos y para evitar equivocaciones es necesario marcar y en algunos casos

hacer corrimiento de marcas* para comprobar que efectivamente las marcas corresponden con las fases.

El faseo y corrimiento de marcas se realiza tanto en MT como en BT.

2.9 SECUENCIÓMETRO.

Secuenciómetro figura 13, instrumento de prueba que determina la correcta o mala secuencia entre las fases de un circuito eléctrico con el fin de que los motores trifásicos giren correctamente. Existen diferentes instrumentos que se utilizan en Cables Subterráneos exclusivamente para buscar la secuencia de un servicio, con el fin de que los motores trifásicos giren correctamente (a la derecha).



1. Botón de encendido y apagado.
2. Secuenciómetro de disco.
3. Conexión a fase roja.
4. Conexión a fase blanca.
5. Conexión a fase azul
6. Leds indicadores de dirección.

Figura 13: Secuenciómetro.

* Dicho corrimiento de marcas es colocar una cinta de aislar común en los cables de las fases antes de ser cortadas para no equivocarse al efectuar la reparación. Generalmente se usan los colores rojo, blanco y azul.

2.9.1 CONEXIÓN.

El instrumento cuenta con tres guías de cable, que serán utilizados para hacer diferentes combinaciones de pruebas (existen seis diferentes combinaciones), en las tres puntas de un conductor de BT en redes de LyF (BC) bornes de equipos, buses, etc. hasta localizar la secuencia correcta.

2.9.2 LECTURA.

En el secuenciómetro de disco, cuando la lectura es correcta éste gira hacia la derecha, si la lectura es incorrecta, el disco gira hacia la izquierda.

En los modelos de los focos o leds, viendo de frente el instrumento, cuando encienda a mayor intensidad el foco o led, del lado izquierdo indica que la secuencia es incorrecta, si enciende a mayor intensidad el lado derecho la secuencia será correcta.

Secuencias correctas a la derecha. ABC / CAB / BCA

Secuencia incorrecta ó a la izquierda CBA / ACB / BAC

2.10 LÁMPARAS DE PRUEBA.

Lámparas de prueba figura 14, es un instrumento de uso común que sirve para detectar ausencia o presencia de potencial, continuidad en un cable, verificar potencial a 125V, 220V y 440V.

Es recomendable que después de utilizar este detector de potencial de BT, sea guardado teniendo cuidado que sus cables de extensión terminado en puntas sea enrollado de manera que no se lastimen dichas terminales, no golpearlas, para evitar

que los focos se fundan y revisar periódicamente sus componentes para cerciorarse de su buen estado.

El uso de este detector de potencial de BT ha influido grandemente para evitar y prevenir accidentes.

Este trabajo es un reconocimiento a los primeros trabajadores de este departamento de Cables Subterráneos, ya que fueron ellos quienes idearon y desarrollaron este aparato que tanto beneficio a traído al departamento en lo relacionado con trabajo, como en lo que concierne a seguridad.

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

NOTA: Estas lámparas fueron diseñadas desde el año de 1923.



Figura 14. Lámparas de prueba.

2.10.1 GENERALIDADES.

Las lámparas de prueba son un instrumento de uso común en el Departamento de Cables Subterráneos, utilizadas por personal de las tres secciones para distintos fines (únicamente por BT) como son:

- a) Detectar potencial en cable.
- b) Identificar Fases.
- c) Detectar cables dañados.
- d) Detectar carga o humedad en el cable.
- e) Otros usos.

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

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

2.10.2 CONSTRUCCIÓN.

Las lámparas de pruebas constan de lo siguiente: Dos focos de 40W (siempre deben ser los dos de la misma capacidad) 120V y un interruptor que permite conectar los dos en serie o un solo foco directamente a 125V; 2 resistencias de 5Ω , cada una de alambre de nicromel #22 conectadas en paralelo y un interruptor que permite poner en paralelo las resistencias con focos, una caja de cerolón o similar de

18cm × 16cm en donde se colocan en forma adecuada las partes; una extensión de alambre duplex #10 con terminales en forma de puntas.

2.10.3 FUNCIONAMIENTO.

Cuando el interruptor está en posición 220V y el botón 2 sin oprimir, los focos quedan conectados en serie, lo que nos permite comprobar potencial entre fases, o sea, 220V, y los focos encenderán a su intensidad normal. Si comprobamos potencial entre fases y tierra, los focos encenderán a media intensidad.

Si el interruptor lo cerramos, es decir, lo ponemos en posición de 125V, el foco “A” queda puentado y solamente podemos comprobar potencial entre fase y tierra, encendido el foco “B” a su intensidad normal, si en esta posición comprobamos potencial entre fases al foco “B” se le aplicarán 220V y se dañará.

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

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS, EN LAS REDES RADIAL Y AUTOMÁTICA EN MEDIANA Y BAJA TENSION CON EQUIPO UTILIZADO EN LUZ Y FUERZA DEL CENTRO (LyF).

3.1 ELEMENTOS DE FALLA.

Los elementos de falla en un sistema de distribución de energía eléctrica, son todos los componentes que intervienen en dicho arreglo, por los cuales circula corriente eléctrica.

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

Un sistema de distribución comprende los alimentadores primarios que parten de las SE, los transformadores para reducir la tensión al valor de utilización por los clientes y los circuitos secundarios hasta la entrada de la instalación del consumidor, los alimentadores primarios, las derivaciones de la alimentación troncal son trifásicas, las tensiones entre hilos varían según los sistemas de distribución se tienen 6KV y 23KV.

Los circuitos secundarios son generalmente trifásicos, de cuatro hilos de 127V entre fases y neutro y 220V entre fases.

	MT		BT
	23KV	6KV	220V/127V
Red radial.	x	x	x
Red radial con derivaciones.	x	x	x
Red radial con amarres.	x	x	x
Red radial con anillo abierto.	x		
Red en malla o automática.			x

Tabla 3. Arreglos que se tienen en MT y BT en redes subterráneas.

3.2 TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS CABLES AISLADOS DE MEDIANA TENSION (MT) Y BAJA TENSION (BT).

Las fallas de un sistema subterráneo se pueden presentar en diferentes puntos de trayectoria de estas redes, si se presentan en terminales, equipos de operación de seccionamiento, estas fallas tienen la particularidad de estar visibles, pero si se presentan en la canalización (en ductos o directamente enterrados), los cables presentan la particularidad casi siempre de que la falla no sea visible.

En los puntos siguientes se describirán las fallas más comunes que se presentan en los cables de MT y BT.

3.2.1 CONDUCTORES A TIERRA.

Cuando el dieléctrico de un cable aislado pierde sus características aislantes, pueden quedar con 1, 2 o 3 fases directas a tierra (o al neutro del circuito que está conectado firmemente a tierra). Si la resistencia tiene un valor considerable se dice que la falla es resistencia a tierra.

Este tipo de falla se puede presentar en cualquier tipo de red de MT o BT excepto en una red secundaria en malla automática, así como en cualquier tipo de cable (figura 15).

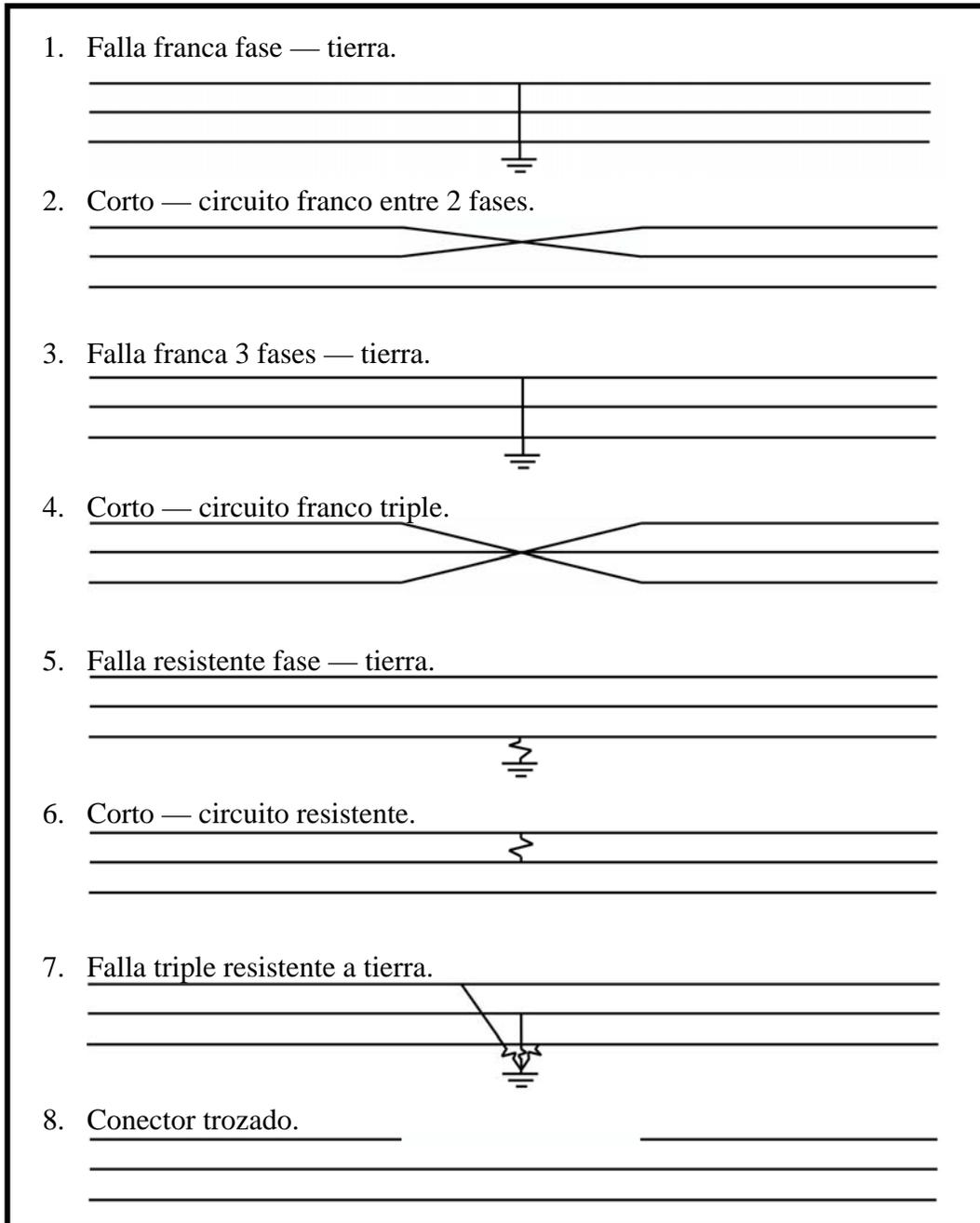


Figura 15. Tipos de fallas.

3.2.2 ENTRE CONDUCTORES.

En los cables trifásicos aislados al ocurrir una falla pueden quedar unidos dos o las tres fases entre sí aislados de tierra. Si la resistencia es considerable la falla es resistencia entre sí. Dicha resistencia es producida al quemarse el conductor y el dieléctrico generando produciendo carbón.

Este tipo de falla se puede presentar en circuitos trifásicos de cualquier tipo en red de MT y BT excepto en una red secundaria en malla automática.

3.2.3 FALLAS POR CABLES TROZADOS.

Los cables trifásicos y monofásicos de MT pueden tener una falla en la que queden trozados y aislados en una, dos o las tres fases incluyendo en algunas ocasiones al neutro.

Este tipo de falla puede presentarse en cualquier tipo de red principalmente en la red en malla automática.

También puede presentarse esta falla pero con una, dos o tres fases resistentes a tierra ya sea en un extremo o en ambos. Este tipo de falla puede presentarse en cualquier tipo de red excepto en la red secundaria en malla automática (figura 16).

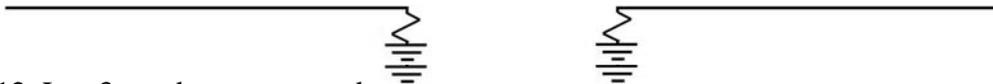
9. Conductor trozado pero unido por una resistencia (carbón).



10. Conductor trozado y una sección a tierra.



11. Conductor cortado y puesto a tierra resistente por 2 lados.



12. Los 3 conductores trozados.



13. Los 3 conductores trozados y puestos a tierra en un extremo.



14. Trozados los 3 conductores y resistentes a tierra por los 2 lados.

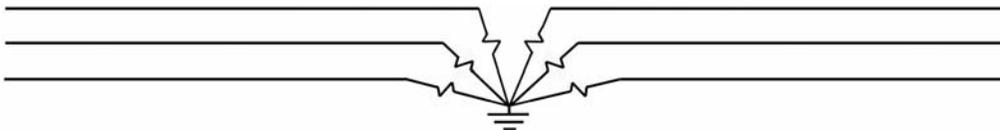


Figura 16. Tipos de fallas.

3.3 CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS.

3.3.1 DAÑO MECÁNICO.

Este tipo de falla es generada o atribuida al manejo e instalación del cable, sus principales factores son: cortes, compresión o aplastamiento, pinchazón o abrasión.

La manifestación de los daños pueden ser: alambres torcidos, pantallas rotas, cubiertas rotas, deformaciones internas por compresión o cortes.

Medidas preventivas que deben tomarse al introducir el cable a la canalización son: evitar cualquier tipo de impacto, evitar el desbordamiento cuando se desenreda el cable, no arrastrar el cable sobre objetos cortantes, prevenir o evitar la torsión cuando se este jalando el cable, no dejar caer los carretes durante su manejo.

3.3.2 FALLAS EN TERMINALES O EMPALMES.

Este tipo de falla son las que tienen mayor frecuencia en las redes subterráneas y sus principales factores son: mano de obra mal capacitada, mala aplicación de los instructivos, mal uso de los materiales empleados así como la baja calidad de estos materiales por parte de los fabricantes.

La manifestación de estos daños en este equipo son: arqueado superficial, aislamiento carbonizado en las terminales o en empalmes, hinchazón del aislamiento, pantallas no puestas a tierra.

Medidas preventivas que deben de tomarse son: seguir los instructivos que los fabricantes incluyen en cada equipo, capacitar al personal encargado de elaborar dichos trabajos, inspeccionar regularmente las superficies por contaminación y deterioro, el material expuesto deberá estar libre de material semiconductor, evitar el

contacto del aislamiento con aceites o hidrocarburos, conectar solidamente las pantallas a tierra, etc.

3.3.3 TEMPERATURAS EXCESIVAS.

Los materiales tienen un rango de temperatura de operación, y un rango de temperatura máxima y sus principales factores de falla son: falsos contactos y corrientes de corto circuito.

La manifestación de los daños pueden ser: cubiertas endurecidas, porosidad en los aislamientos, conductores descoloridos, chaquetas flojas, aislamientos agrietados o deformes.

Medidas preventivas que deben contemplarse son: mantener los cables dentro de los rangos de temperatura, considerando la corriente que soporta el cable para condiciones ambiente, evitar que el cable pase por fuentes térmicas, etc.

3.3.4 EFECTO CORONA.

Cuando el potencial de un conductor se eleva hasta valores en los cuales la densidad de campo en su superficie es muy cercana a la rigidez dieléctrica del aire (30KV/cm), (a una presión de 760mmHg y a una temperatura de 25°C), los iones en el aire se aceleran y en su movimiento chocan con moléculas neutras produciendo nuevos iones, y sus principales factores son: humedad en el medio ambiente.

La manifestación de los daños puede ser una pequeña descarga con efectos luminosos (visibles en la oscuridad). El aire envuelve parcialmente al conductor y se produce el ozono cuyo olor se percibe fácilmente, en presencia de humedad se forma ácido nitroso que, con el ozono puede atacar a los metales así como los materiales aislantes.

Las manifestaciones de los daños pueden ser: Luz azul brillante, ruido silbante, precipitaciones de contaminantes carbonizados en el aire, erosión del aislamiento, cortes o agrietamientos perpendiculares al eje del cable.

Medidas preventivas que deben tomarse son: Tensión de operación del cable adecuada, apartarrayos adecuados, evitar excesivas pruebas de tensión, diseño del sistema para minimizar las condiciones de resonancia.

3.3.5 SOBRE TENSIONES.

Es una distorsión en la forma de onda de tensión, y sus principales factores de falla son: Descarga atmosférica, apertura o cierre de interruptores.

La manifestación de los daños pueden ser: Arqueos en las terminales, perforaciones en el aislamiento, arborescencias dentro del aislamiento, bajas lecturas con Megger.

Medidas preventivas que deben tomarse son: Adecuada tensión de operación del cable, apartarrayos adecuado, evitar excesivas pruebas de tensión, diseño del sistema para minimizar las condiciones de resonancia.

3.3.6 DAÑO POR ANIMALES.

Los principales animales que dañan al cable en la canalización son los roedores, y los principales factores de falla son: desbaratan con los dientes la pantalla del plomo de los cables o entre el aislamiento y la cubierta. En algunas SE de gabinete se introducen por los ductos las ratas o los gatos llegando hasta las barras de los buses energizados de MT originando fallas.

Las evidencias encontradas que causan estos daños: Marcas de dientes en los cables, animales muertos en la vecindad de la falla, termitas en cables, larvas, túneles, etc.

Las medidas preventivas que deben tomarse son: Hacer revisión constante, tapar canalizaciones en los extremos con elementos de hule.

3.3.7 MEDIOS QUÍMICOS.

Sus principales factores de falla son: los aislamientos y las cubiertas o armaduras de los cables aislantes están en contacto directamente con el terreno o con el medio ambiente, donde en algunos casos se presentaban determinados ácidos, sales o agentes químicos orgánicos que perjudican las cubiertas de los cables. La corrosión es la degradación del metal a través de sus combinaciones químicas con los elementos no metálicos tales como el oxígeno, azufre, etc., siendo los metales los materiales más afectados.

Las manifestaciones de los daños pueden ser: Excesiva hinchazón, decoloración.

Medidas preventivas que deben tomarse son: selección de cables y materiales adecuadamente de acuerdo al medio químico que se presente, para los equipos metálicos enterrados o sumergibles se recomienda aplicar, recubrimientos orgánicos tales como:

Esmaltes: vítreos o de porcelana.

Recubrimientos plásticos: Goma, neopreno, vinilo o polietileno.

3.4 MÉTODO PRÁCTICO PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS.

Este método tiene la finalidad de determinar la causa o causas probables de falla en cables, empalmes, terminales u otros tipos de accesorios, fuera de servicio.

3.4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR.

La nomenclatura del cable u otro tipo de identificación, la fecha y hora de la falla, localización de la falla incluyendo las distancias desde el centro del empalme más cercano o pozo de visita, longitud del tramo entre centro de pozos de visita o entre SE, clase del ducto y cualquier otra información digna de tomarse en cuenta.

El calibre y tipo de cable (incluyendo el calibre, número y forma de los conductores, espesor del aislamiento y si existe alguna envoltura sobre la cubierta), tensión nominal y de operación, fabricante, año de fabricación y fecha de puesta en servicio.

Para empalmes, terminales y otros accesorios, también es utilizado el año de fabricación y la clase de materiales utilizados como aislantes.

Se debe reportar si la falla ocurrió en servicio o bajo prueba. Si el cable o accesorio estaba o no normalmente sumergido en agua u otro líquido en el punto de falla, incluyendo empalmes, o bien si el cable en el punto de falla se encontraba embebido en concreto u otro sólido.

Si la falla fue en el ducto o en el cable directamente enterrado. La conexión del suelo o de la calle en que sucedió la falla. Si existe alguna indicación de interferencia de un agente exterior.

Cualquier condición anormal observada mientras el cable se retiró, que pueda tener alguna relación con la falla tal como: grava, pedazos de concreto en el ducto, fallas adyacentes, pantallas o soportes faltantes o flojos.

Si la falla ocurrió en un cable directamente enterrado; el tipo de suelo circundante, humedad del terreno, vías de tranvía, ferrocarril o metro, cenizas y carbones minerales o vegetales. En suma cualquier anomalía relacionada con la falla.

3.4.2 RECOLECCION DE MUESTRAS PARA EXAMINAR CABLES.

Siempre que sea posible debe obtenerse para examen una muestra de cable de 2m de longitud incluyendo la falla, al centro, u otra evidencia de malas condiciones de cada sección de cable que ha fallado o se ha retirado al comprobar una falla potencial.

Por lo menos son necesarios esos 2m, que de todos modos generalmente se cortan como desperdicio para quitar el cable contaminado o dañado. En algunos casos, sin embargo, es necesario utilizar una muestra más corta para reducir el costo de material empleado en las reparaciones.

Las siguientes muestras pueden ser útiles: 0.30m de cable tomado a una distancia de 5m por lo menos de la falla y del empalme más cercano. Esta muestra puede omitirse si implica la destrucción del cable útil, o si el examen de la muestra de falla indica que no hay necesidad de examinar un tramo normal de cable.

En algunos casos en que está dudosa la causa de la falla, el examen de muestras adicionales puede ser útil pero no necesario obtenerlas para todas las fallas.

Dos muestras no menos de 0.15m cortadas en los extremos del tramo. Si la falla ocurre en un pozo de visita, solamente es necesario tomar una muestra en el extremo del tramo de cable.

Si las muestras se van a tomar de tramos de cables que se van a desechar, se sugiere que estas sean de 0.30m de longitud, reduciendo cualquier fuga de humedad o líquido aislante de la muestra. Es de notarse que el cable con aislamiento laminar (papel impregnado de aceite), en los pozos de visita, a menudo se ve afectado en su extremo por sus condiciones tales como: golpes en la cubierta, migración del aceite, degolladura del extremo en el empalme; y por lo tanto, puede no indicar la condición del cable distante de los extremos.

Si las muestras no van a ser examinadas inmediatamente después de ser cortadas, su extremo debe ser sellado con cinta para evitar la pérdida del aceite y la entrada del aire, humedad u otros contaminantes.

3.4.2.1 EMPALMES.

Debe examinarse todo el empalme y por lo menos 0.30m de cable a cada lado del empalme, no importando el voltaje de la red, si es que puede obtenerse sin aumentar mucho el costo de reparación. Si el empalme se reconstruye sin retirarlo, la cubierta y parte del aislamiento que se retira deben ser examinados. Ver figura 17.



Figura 17. Cable 6 PT 1 × 70, falla provocada por reducido radio de curvatura.

3.4.2.2 TERMINALES Y CONECTORES AISLADOS SEPARABLES (CAS).

Deben examinarse toda la terminal y CAS, y por lo menos 0.30m del cable adyacente, no importando el voltaje de la red, si es posible obtenerlo sin aumentar mucho el costo de la reparación. Ver imagen 18.

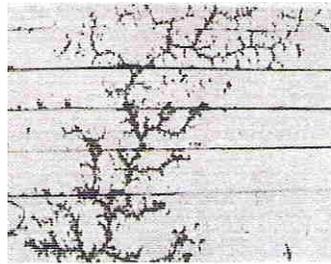


Figura 18.

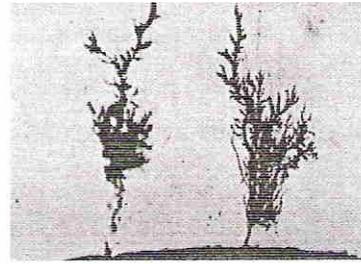
Terminal tipo codo en cable 23 TC 1×70 falla provocada por mal manejo del cable y terminal

3.4.2.3 EXAMEN DE LAS MUESTRAS.

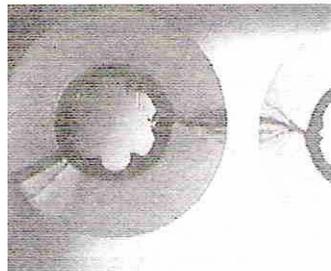
Al iniciar la disección de una muestra, hacerlo del lado opuesto a la falla y anotar lo encontrado, observando detenidamente cada capa o etapa de construcción, y si se requiere hacerse un análisis más detallado, tendremos que observar con ayuda de una lente de aumento o al microscopio partes pequeñas de aislamiento, para lo cual tenemos que efectuar cortes laminares radiales o longitudinales de tal modo que la muestra observada tenga un espesor máximo de 1mm determinando la presencia de arborescencias de agua o eléctricas, ecos y contaminantes Ver figura 19.



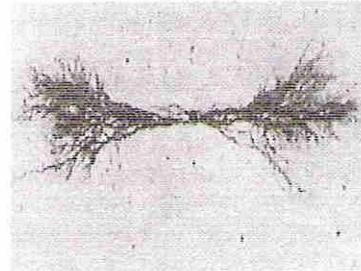
Arborescencia en
papel impregnado



Arborescencias "ventiladas" en
Aislamiento extruido



Arborescencias perforando
el aislamiento



Arborescencia tipo "corbata de
moño"

Figura 19. Arborescencias en aislamientos.

En caso de aislamientos laminares la operación se efectúa en las cintas. En ocasiones se vuelve complicado al analizar una falla establecer su causa recurriendo en tales casos a examinar las muestras de un laboratorio.

Todas las observaciones hechas en el examen de las muestras disponibles deben ser registradas. Es conveniente tener formas dispuestas para este propósito.

Debe incluirse la siguiente información:

3.4.2.4 PARA CABLES.

La longitud y superficie de la parte quemada, incluyendo el número de conductores y la parte de la sección del cable abarcada por la falla.

Puede ser de gran utilidad la elaboración de un croquis de la parte quemada o una fotografía incluyendo una regla de 0.30m para registrar la magnitud del daño. Deben de examinarse cuidadosamente las cubiertas para localizar fracturas, picaduras, corrosión, cuarteaduras, desgastes, etc.

Si se sospecha que estaba inicialmente defectuosa, debe de cortarse un anillo de ella y probarlo de acuerdo a las normas y especificaciones adecuadas al tipo de la cubierta el cable. Debe de anotarse el grado y magnitud del abultamiento o aflojamiento de las cubiertas en el punto de la falla y fuera de él, para determinar la causa de la falla, debe de retirarse una a una las partes componentes de cable hasta el conductor y examinarlas detenidamente.

Cuando se analiza la falla de un cable con aislamiento laminar (papel impregnado con aceite), se debe de retirar varias cintas a la vez. Debe anotarse cualquier irregularidad en las cintas aislantes o en las pantallas y en los rellenos; defectos que probablemente tenía el cable al fabricarse tales como: saturación imperfecta, pliegues, grietas, arrugas, bordos, e inscripciones en el aislamiento, presencia de materias extrañas, irregularidades en la superficie del conductor, y cualquier condición anormal. Ver figura 20.



Figura 20.

Cable 23 PT 1 × 240, falla provocada por mal manejo en la instalación del cable.

También se buscarán indicaciones de daños, tales como quemaduras, cintas perforadas, puntos de carbón, cera, etc., con este objetivo se utilizan generalmente los siguientes términos para describir tales condiciones:

- a) Saturación: Buena, aceptable, o pobre, uniforme o manchada.
- b) Arrugas, pliegues, o bordos: ligeros, moderados, o grandes.
- c) Cera: Espesa, moderada, o ligera en cantidad dura o suave, en escamas o en hilos.
- d) Quemaduras o carbonización: Quemaduras con agujeros diminutos, en forma de ramificaciones, manchas de carbón.

Cuando se analiza la falla de un cable con aislamiento extruido (de tipo seco), alastomérico, debe de anotarse todas las irregularidades en la pantalla sobre aislamiento (cuando el color de este lo permita), localización tamaño, e intensidad. De estas, residuos de quemaduras por efecto corona, quemaduras por arborecencias, quemaduras en anillo sobre el aislamiento o longitudinales en forma de ramificaciones, y estado de aislamiento, tal como, elasticidad resistencia al desgarre, doblez, etc., anotar los defectos que inicialmente desde la fabricación trae el aislamiento tales como: excentricidad, espesor, coloración, ralladuras longitudinales y bordes longitudinales en las diferentes capas etc.

La presencia de humedad en el aislamiento es detectable en aislamientos de papel impregnado de aceite, con relación al número de capas afectadas, localización y cantidad, por ejemplo, ninguna , ligera, moderada o saturada, por inspección visual.

En aislamientos extruídos (de tipo seco), alastoméricos, la humedad es detectable además por las manchas rojas y opacas en las cintas de cobre de la pantalla o hilos concéntricos de cobre al neutro, síntomas de oxidación del cobre aún en el conductor. En casos severos llegan a observarse gotas diminutas de rocío.

3.4.2.1 PARA EMPALMES.

La extensión de la parte quemada incluyendo el número de conductores y la parte del empalme, y cable adyacente afectados por la falla.

Puede ser útil un croquis del área quemada o una fotografía incluyendo un tramo de 0.30m para registrar la magnitud del daño. La cubierta del empalme debe examinarse cuidadosamente para buscar fracturas, picaduras, corrosión ataque químico, cuarteaduras, desgaste, y señales de fatiga debido al pandeo y aplastamiento causados por cambios de presión interior, o exterior y daño mecánico.

Debe anotarse la uniformidad con la que el empalme esté lleno de compuesto. También debe notarse la naturaleza del compuesto.

Las soldaduras y sellos deben de ser examinados para buscar posibles fugas y si se sospecha que hay fuga, o porosidad, debe cortarse la soldadura con una segueta y examinar el corte. Otro método es determinar si la gasolina se filtra o no a través de las soldaduras o de los sellos. En algunos casos pueden probarse con una presión de aire de $0.7\text{Kg}/\text{cm}^2$ (10psi).

En ocasiones por olvido, se dejan las cintas utilizadas como ayuda en la reparación del cable ocasionando esta una falta de sello y la penetración de humedad. El empalme debe examinarse para determinar la calidad de la mano de obra y su

similitud con el diseño, o bien con el dimensionado de la preparación del cable recomendado, por las normas del fabricante.

Cuando se requiere determinar la causa de la falla, debe quitarse el aislamiento del empalme y cable adyacente desenrollando unas cuantas cintas a la vez y examinándolas, observando el traslape, la existencia de huecos, huellas de quemaduras por descargas parciales, arrastre en las capas externas, manchas de carbón. Envejecimiento de las cintas y degradación por ionización, grado de diferencia entre cable y aislamiento y coloración del mismo anotando cualquier irregularidad encontrada. Deben examinarse las conexiones a tierra, sellos del empalme y anotar cualquier irregularidad presente.

3.4.2.6 PARA TERMINALES Y CAS.

Semejante a empalmes pero además deben de examinarse cuidadosamente los empaques, las boquillas y el cuerpo metálico para buscar fugas o porosidad.

Se deben de revisar los cortes de la pantalla, bordes del aislamiento, prensado del conector, pendiente y longitud del cono de alivio, adherencias entre semiconductor y aislamiento, adherencia entre cable y CAS, examinar los soportes, sistemas de conexiones a tierra o cualquier otro punto cercano que indique la posibilidad de haber propiciado la falla.

3.4.3 DESARROLLO ESTADÍSTICO DE FALLAS.

Una empresa suministradora de energía eléctrica (LyF). En el año de 1996 del 1° de enero al 30 de septiembre recibió 748 quejas de fallas, de las cuales 206

fueron en 23KV, y 499 fueron en BT. Para analizar los elementos de falla, dividiremos estas en dos partes una será de BT 127V entre fase y neutro, o de 220V entre fases, y la otra será la MT cuyos voltajes son 23KV, y 6KV.

En el cable	40%
En las uniones	50%
En las terminales	03%
En los transformadores	04%
En interruptores y cajas	02%
En otras	01%

Tabla 3. Elementos de falla en MT.

Las uniones T's o D's con	80%
En el cable	15%
En terminales o mufas	03%
Otras	02%

Tabla 4. Elementos de falla en BT.

3.5 LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS DE ENERGÍA.

Prólogo: Para dar una ligera idea de las consecuencias que puede traer la omisión, retraso o atención defectuosa de una falla en una red de distribución, se enunciarán algunos ejemplos, los cuales se pueden catalogar como los más relevantes, y de las consecuencias que puede traer consigo dicha falla.

- a) La falla en un cable que alimenta a un hospital, si este no cuenta con alimentación de emergencia, (planta generadora de emergencia o doble alimentación), la falta o retraso en el restablecimiento inmediato de dicho servicio eléctrico, puede traer como consecuencia el fallecimiento de algún paciente que posiblemente se encuentre en el quirófano, o posiblemente puede traer serias dificultades con los recién nacidos que se encuentren en incubadoras.

- b) La falla de un cable que alimente una fábrica, puede traer como consecuencia el deterioro de un horno, la paralización de la producción, la inactividad de los obreros, ocasiona pérdidas cuantiosas, generando una seria y fuerte reclamación hacia la empresa suministradora de energía eléctrica.

- c) La falla de un cable que alimenta una sección importante de la red de distribución; las consecuencias pueden ser, en estos casos, igualmente costosas, debiendo someter a la red a circunstancias tan desfavorables que den lugar al daño o destrucción del equipo, pudiendo ocasionar, una interrupción, una larga y costosa reparación, el empleo en demasía de horas-hombre-trabajadas, de lo que hubiera podido ser en un menor tiempo la reparación en una atención simple, correcta e inmediata de la falla, mayor seguridad.

Entiéndase por una buena localización a la determinación exacta del lugar preciso donde se encuentra la falla de un cable, sin la necesidad de haber cortado el cable en algún otro sitio diferente a donde la falla se encuentra, realizando el ensayo en un tiempo mínimo.

De acuerdo con la experiencia y tomando en cuenta los diversos parámetros que intervienen en una localización, puede decirse que no siempre es posible tener 100% de probabilidades de éxito y mucho menos que toda la falla pueda atacarse

bajo un mismo tipo de ensayo de localización, sino por el contrario, debe siempre considerársele como un problema nuevo, diferente de los demás.

De cualquier manera y sea cual fuera el tipo de falla y el tipo de canalización sobre la que esta se busca, para tener las mayores probabilidades de éxito, es necesario tomar en cuenta las condiciones explicadas en el cuadro adjunto y que determinan en general, la manera en que se piensa desarrollar este tema (tabla 5).

3.5.1 CUALIDADES DE LAS CANALIZACIONES SUBTERRÁNEAS QUE FACILITAN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FALLAS.

De hecho las facilidades que presenta la canalización, serán punto determinante en la precisión y brevedad de la ejecución del ensayo de la localización y por consiguiente en la posibilidad de éxito.

Dicho acceso debe existir en ambos extremos del cable y es indispensable para permitir la conexión de los instrumentos de localización empleados durante el ensayo, a parte de que el doble acceso posibilita ejecutar 2 mediciones desde extremos opuestos, comprobando así la veracidad de los cálculos al coincidir los dos resultados.

Cualidades de la red para facilitar la localización.	Acceso en los extremos de alimentación.	SE en seccionamiento (abiertas). Interruptores con tomas de conexión (varillas, Perchas bipolares, triclороetileno, etc.).
Métodos y equipos adecuados.	Medios de seccionamiento.	Seccionadores de 2, 3 y 4 vías, seccionador de transformadores (terminal, desbrochables y seccionadores de servicio) Desconector Homopolar,
Pericias del técnico localizador.	Análisis de la naturaleza de las fallas.	Megger, Óhmetro.
Localización de cables de BT.	Prelocalización.	Franqueo de la falla: (El quemador Biddle), Generador de Ondas Estacionarias.
CARACTERÍSTICAS DEL CABLE TRAZADO Y SITUACIÓN TOPOGRÁFICA.		
Localización en red automática.	Detección de Fallas.	En terreno Generador de Ondas de Choque y el detector Biddle en DC
	Experiencia: Técnico.	Especializados, géneros de fallas, instrumentos y procedimientos.
	Pistas.	Olor, tizne, nata cobradiza sobre el agua etc. Explicación general de diferentes causas de fallas. Puntos vulnerables: uniones, terminales etc.
	Aclaraciones.	Deducciones técnicas. Son difíciles de localizar, no hay detección en el terreno. Método de las caídas de tensión en los servicios.

Tabla 5. Localización de cables de energía en MT

En seguida se enumeran algunos de estos tipos de accesos y la manera de operar en ellos con la debida seguridad.

3.5.1.1 SUBESTACIÓN EN SECCIONAMIENTO.

Estas deben de ser de tipo abierto, para facilitar el acceso a las terminales de salida de los cables al conectar los instrumentos y poder conectar en las barras de paso, dispositivos detectores de fallas (figura 21).

A) Detalle de un cable alimentador con SE's en seccionamiento.

B) Diagrama unifilar de la AT de una SE de seccionamiento.

3.5.1.2 SECCIONADORES CON TOMAS PARA CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS.

Estos dispositivos pueden ya venir preparados de fábrica en los seccionadores o adaptárseles a los que no los tienen.

Una toma de este tipo consiste fundamentalmente en practicar un taladro sobre la tapa de un seccionador en aceite de tipo sumergible, el cual esta machueleado con cuerda cónica y cerrado en permanencia con un tapón macho.

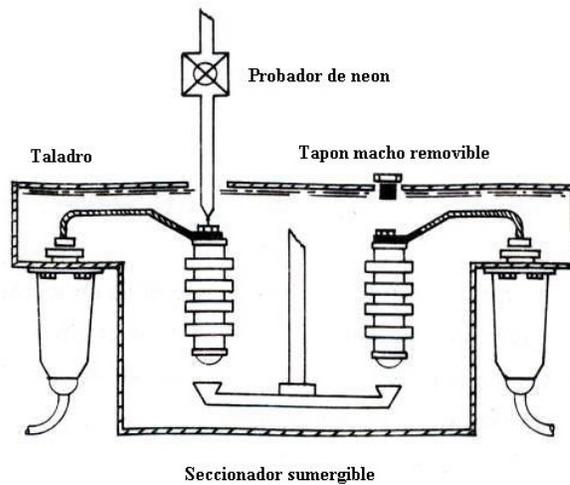
El diámetro de este taladro es de $2.5\text{cm} \pm$ y coincide a plomo con una de los bornes interiores del seccionador. Dicho borne puede también practicársele un pequeño taladro machueleado de 1.5cm aproximadamente (figura 22).

3.5.1.3 FORMA DE CONECTAR UN INSTRUMENTO SOBRE EL SECCIONADOR.

- A. Se limpia perfectamente con gasolina blanca la zona del taladro y se remueve con un tapón macho.
- B. Se lava el probador neón súper delgado (percha bipolar), con tricloroetileno o tetracloruro de carbono y se introduce por el orificio hecho por el taladro hasta tocar el electrodo del borne del seccionador.

En esta forma se comprueba la presencia o ausencia de tensión.

- C. Se introduce después una banderilla de cobre de 1.2cm de diámetro previamente lavada en tricloroetileno o tetracloruro de carbono. Esta varilla termina en la parte inferior, en un tornillo del mismo diámetro que el del borne del seccionador, donde se atornilla firmemente.
- D. El hueco de la varilla y el taladro de la tapa se obtura con un tornillo prensaestopas de nylon que aparte de empacar, aísla eléctricamente la varilla de cobre del tanque del seccionador.
- E. Se repite el mismo procedimiento sobre las otras tomas del seccionador que piense utilizarse.
- F. Sobre la zapata superior de las varillas de cobre, se conectan las guías de los instrumentos por emplearse.



Detalle de las tomas para conectar instrumentos en los seccionadores en aceite tipo sumergible.

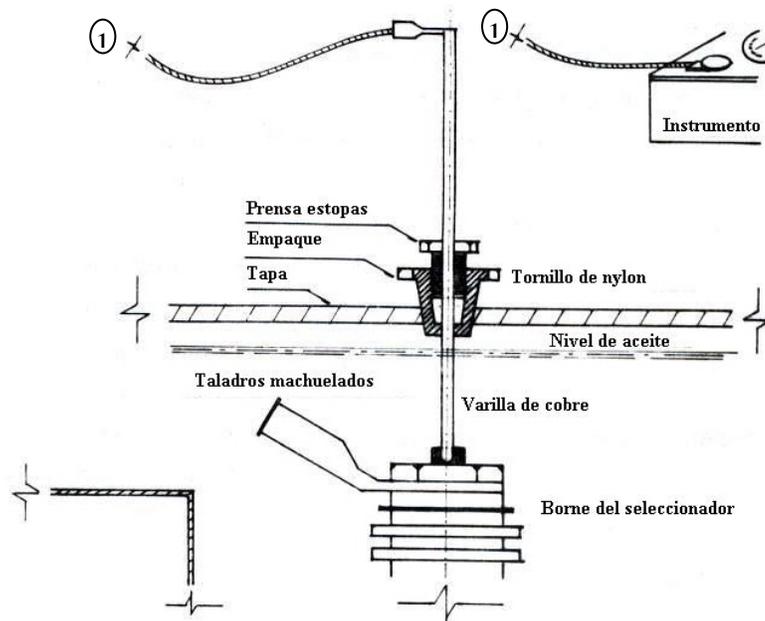


Figura 22. Seccionadores con toma para conexión de instrumentos.

① Si lo que se va a verificar es la ausencia de potencial, entonces se va a conectar una percha CATU ó unas perchas bipolares; pero si lo que se instalará será el equipo BIDDLE y/o el HYPOTRONICS se acoplará el cable de V_{CC} para efectuar las pruebas tanto en la modalidad de quemador y/o como impulsos.

3.5.2 USO DE LA PERCHA CATU.

Este instrumento se utiliza para verificar la ausencia de potencial en interruptores de seccionamiento ó de paso con medio aislante líquido*. Previo se conecta todo a la barra superior del BUS, se efectúa una limpieza en la parte superior del tanque antes de destaparlo, para evitar contaminar el dieléctrico, se retiran las tapillas (una por cada fase) y se verifica el no potencial para así proceder al desarme del equipo, valorar el daño y efectuar su reparación.

3.5.3 MEDIOS DE SECCIONAMIENTO: SECCIONADORES DE 2, 3 Y 4 VIAS.

Principalmente se cuenta con los seccionadores de 2, 3 y actualmente hasta de 4 vías que dividen el alimentador en varias secciones, permitiendo cierta flexibilidad de interconexión entre estas.

Además de los mencionados anteriormente, existen otros seccionadores que por su construcción y montaje especial, facilitan extraordinariamente las localizaciones de la falla (figura 23).

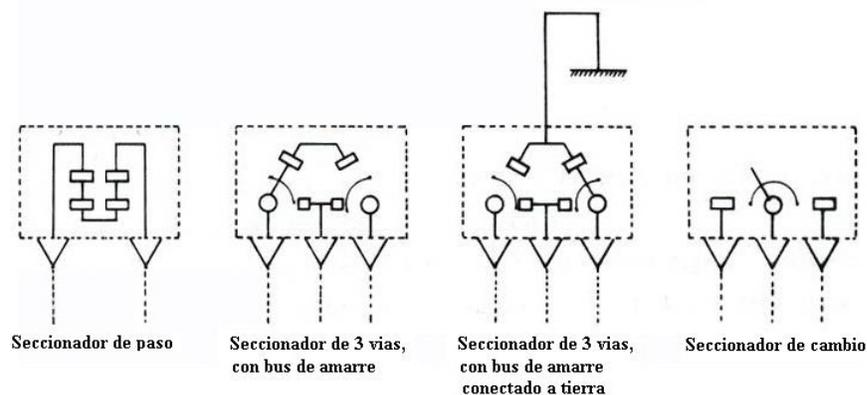


Figura 23. Seccionadores de 2 y 3 vías en aceite, tipo sumergible.

* Puede ser aceite dieléctrico ó AT-3 que también es un dieléctrico..

3.5.4 DESCONECTADOR UNITARIO DE 2 PALANCAS.

Este va incorporado a la AT de los transformadores de distribución, es de tipo sumergible y va totalmente lleno de aceite.

Consta en sus elementos fundamentales, de una varilla metálica oscilante guiada dentro de una funda aislante cuyos extremos son metálicos y en el centro puede estar provista o no de una cámara de extinción.

La parte inferior de este conjunto sirve de perno de giro y de borne a la conexión de la terminal de entrada. La parte superior (la oscilante) posee dos cuchillas de conexión opuestas, así este mecanismo al ser accionado por una de las palancas oscila, conectando en una posición la toma del transformador y en la otra la toma de tierra.

Pero esto no quiere decir que en estas posiciones quedaron ya definitivamente conectados el cable con el transformador o con la tierra, para ellos es necesario que la varilla metálica baje accionada por la segunda palanca, que deslizándose por la funda, pone en contacto los dos extremos del mecanismo, terminando así de conectar eléctricamente la terminal de llegada del cable alimentador con el transformador o con tierra.

3.5.5 TERMINALES REMOVIBLES EN LA AT DE LOS TRANSFORMADORES.

Estas como su nombre lo indica tiene la facultad de poderse zafar del transformador con relativa facilidad y rapidez, desconectando esta del cable y permitiendo ejecutar conexiones sin riesgo de humedecer ni uno ni otro.

Estas son monofásicas y sus órganos de contacto pasan a través de boquillas araldísticas ó de epoxiest que, aparte de realizar su función como aisladores, a la tensión deseada, sellan perfectamente todo acceso al interior tanto del transformador, como del cable.

El llenado de estas terminales por ser tan pequeño el volumen, puede ser a base de resinas araldísticas, poliesteros o resinas vegetales del tipo “Novoid X” de la Oconite Co. Ltd.

Este seccionador unitario de dos palancas tiene la ventaja de darle a su operador un tiempo de reflexión entre el accionamiento de la primera y segunda palanca, pudiendo meditar aún si la maniobra que va a ejecutar es la correcta.

Como material adicional trae ya de fábrica las tomas, que para la conexión de instrumentos, facilitando enormemente el ensayo Murray para la localización de fallas en el cable.

VENTAJAS:

Permite aislar eléctricamente al transformador para realizar en él pruebas.

En las redes automáticas esto facilita mucho las revisiones de los disyuntores a corriente inversa (protectores). Conecta a tierra el cable, permitiendo a quienes trabajan en él, hacerlo con la debida seguridad.

Ayuda a desconectar totalmente el cable de los transformadores para poder realizar en este, pruebas bajo tensión sin afectar a los demás transformadores.

Sirve para conectar instrumentos, como ya se dijo antes, facilita los métodos de localización de fallas.

3.6 DESCONEJIÓN DE LAS ACOMETIDAS A LOS SERVICIOS.

Aunque este es un asunto de BT conviene tratarlo en este capítulo, ya que definitivamente es de suma importancia para facilitar así la localización de fallas en cables de BT.

Un medio de seccionamiento, cualquiera que sea debe siempre existir en todos los servicios, por insignificante que estos sean, ya que con un solo cable que quede conectado con el equipo de medición, estropea totalmente el ensayo.

Estos seccionadores pueden incorporarse a las cajitas de distribución tipo fachada, a las barras de distribución en servicios pesados o cuando hay casos de puertas cerradas, conviene más instalar una caja de seccionamiento a dos vías en banqueta.

3.7 MÉTODO Y EQUIPO ADECUADO PARA LOCALIZAR FALLAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS.

Para obtener un mayor porcentaje de éxito en la localización de fallas de los cables de las redes subterráneas, debe seguirse por regla general un cierto método, el cual consiste a grandes rasgos en el desarrollo de los siguientes puntos.

3.7.1 CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y TRAZADO DE CABLE.

Para facilitar los cálculos durante los ensayos, precisa conocerse del cable.

a) TENSION DE TRABAJO.

Este parámetro dependerá de la tensión de trabajo del alimentador en el que requiere que sea localizada la falla, (6 y 23 KV).

b) SECCIÓN DEL CONDUCTOR.

La sección de un conductor puede ser determinada por la experiencia del técnico localizador de la falla, ya que a simple vista solo se aprecia el diámetro del cable, así mismo se podrá determinar dependiendo si se trata de un alimentador, una acometida de una fábrica, un cable puente, acometida para fraccionamiento

c) LONGITUD DEL CABLE.

Evidentemente este parámetro es de suma importancia conocerlo, ya que es necesario para el técnico localizador indicarle al personal cual es la ruta y la distancia del cable, obviamente, el contar con un plano del recorrido del cable nos facilitará aún más la localización de la falla.

d) DETERMINACIÓN DEL TRAZADO DEL CABLE.

Suponiendo que no se cuenta con el plano de detalle o este no se encuentra actualizando con lo que respecta a las modificaciones de desviaciones o ruta del cable. En el caso de los cables enterrados el método más usado en la actualidad es el de la utilización del laboratorio Biddle y/o Hypotronics, mencionado en el capítulo 2.

La figura 24 nos muestra el diagrama de conexiones del laboratorio Biddle.

Posición de la Bobina Buscadora.-

A) Cuando el eje del núcleo de la bobina y el eje del cable, están contenidos en un plano perpendicular al piso:

En este caso se buscará un mínimo entre dos máximos de intensidad de ruido, para situar la bobina encima del eje del cable.

Esta posición de la bobina se utiliza siempre que se busca la ruta de un cable enterrado desde el piso, ya que con este método la zona de indicación es muy ancha.

B) Cuando el eje del núcleo de la bobina está contenido en un plano normal al eje del cable y al piso: En este caso se buscará un máximo entre dos mínimos de intensidad de ruidos, para situar la bobina sobre el eje del cable buscado.

Esta posición de la bobina se utiliza siempre que se desea determinar cual de un grupo de cables en una excavación, es el que se esta buscando, como puede observarse en las figuras 25 y 26.

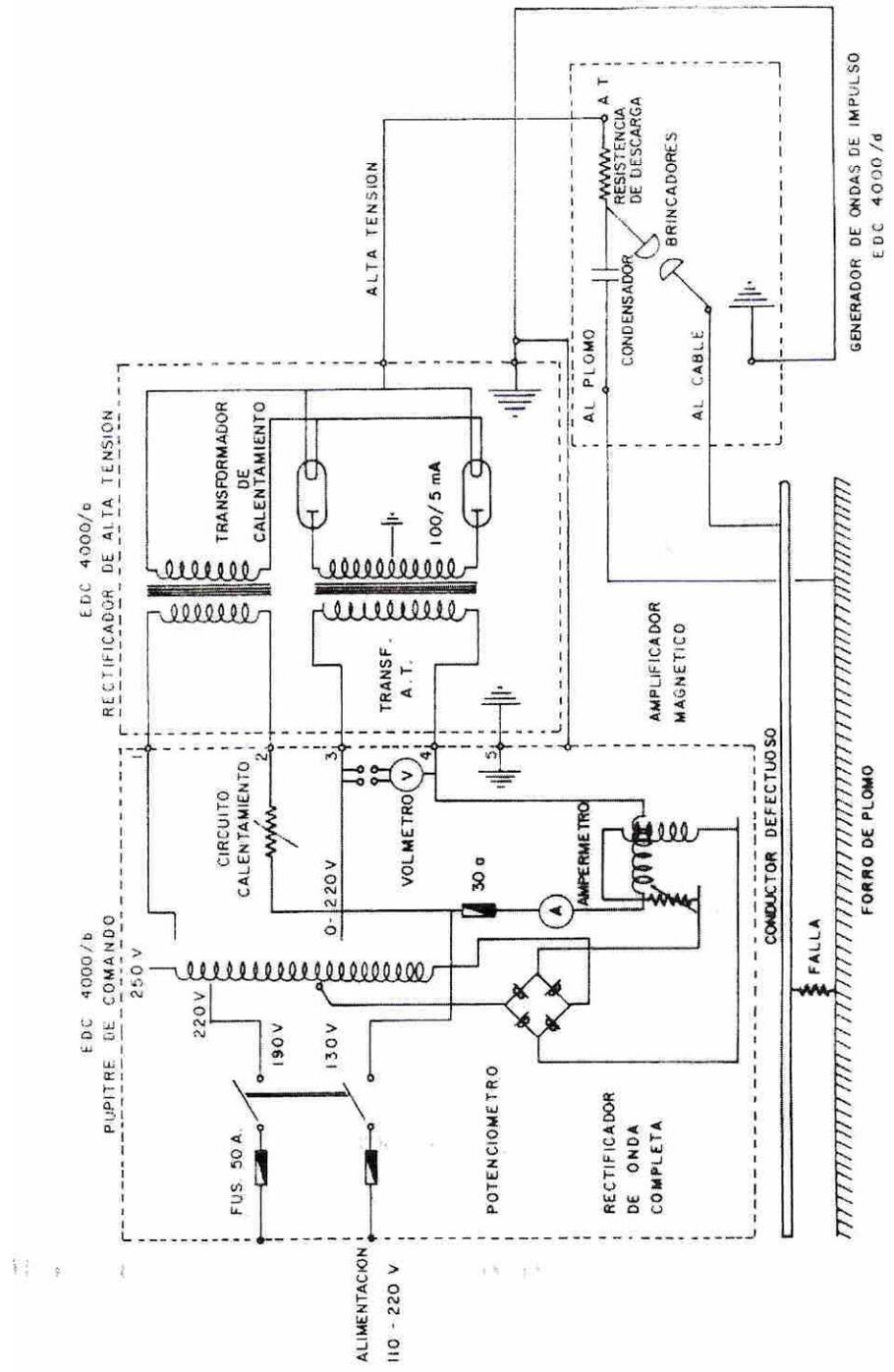


Figura 24. Diagrama de conexión del laboratorio Biddle

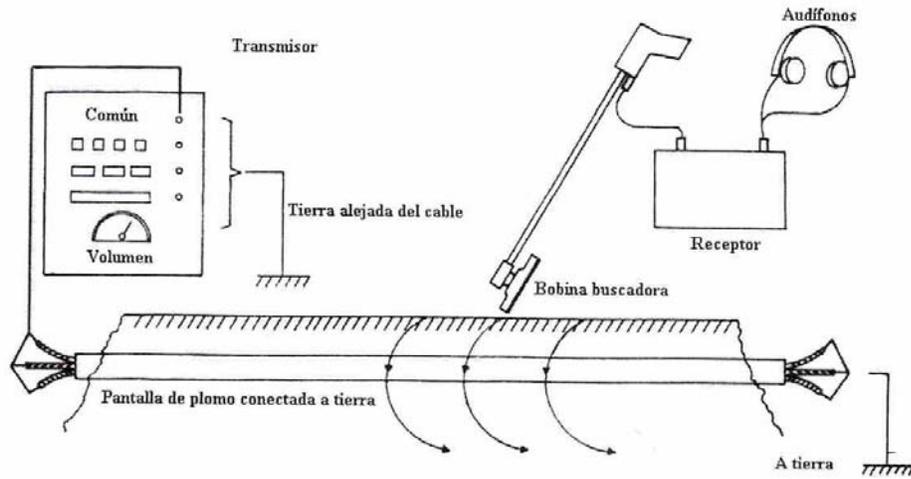


Figura 25. Conexiones de la bobina buscadora.

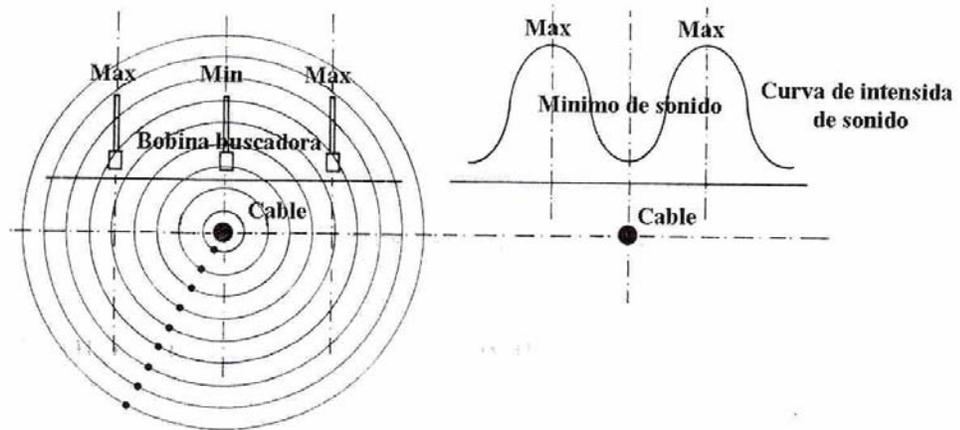


Figura 26. Posiciones de la bobina buscadora.

3.7.1.1 ANÁLISIS DE LA NATURALEZA DE LA FALLA.

Una vez determinados los puntos anteriores, se procede a un análisis previo sobre los extremos del cable, para saber en forma, lo más precisa posible, el género de la falla y así poder elegir, por consiguiente el método adecuado en las pruebas de localización; este análisis consiste en medir:

3.7.2.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA FALLA.

Esto se hace por medio de un medidor de resistencia de aislamiento, también conocido como (Megger), es un aparato muy conocido dentro del departamento de cables, e indispensable para poder realizar diferentes pruebas a los cables y equipos, este aparato se describirá mas adelante.

Si la resistencia de la falla nos diera cero Mega- ohms, se continua la medición de la resistencia de falla con un óhmetro o un PUENTE DE WHEASTONE, y que nos dan ya lecturas bajas de resistencia en ohms.

Las mediciones se hacen por los dos extremos del cable, de preferencia tomando lecturas de cada una de las fases contra el plomo o pantalla de tierra, así mismo entre las fases.

De esta prueba se deduce que podemos tener:

- a) 1, 2 ó 3 fases falladas a tierra. De acuerdo con las mediciones de fase contra plomo o pantalla de tierra.
- b) 2 o 3 conductores cortocircuitados, de acuerdo con la medición entre fases.

Este caso en los cables blindados no existe, debido a que la metalización o plomo siempre va conectada a tierra.

- c) Falla franca o falla resistente a tierra. De acuerdo con las lecturas del Óhmetro y del Megger (figura 27).

Estas lecturas son muy importantes porque nos determinan si hay o no precisión de efectuar un franqueo (quemar la falla).

Con esto queremos decir que si la falla no esta bien declarada o lo que es lo mismo es muy resistente o que se encuentre aislada, será necesario abrir el aislamiento en el punto de falla, y volver a probar para que exista un camino franco para la corriente de falla.

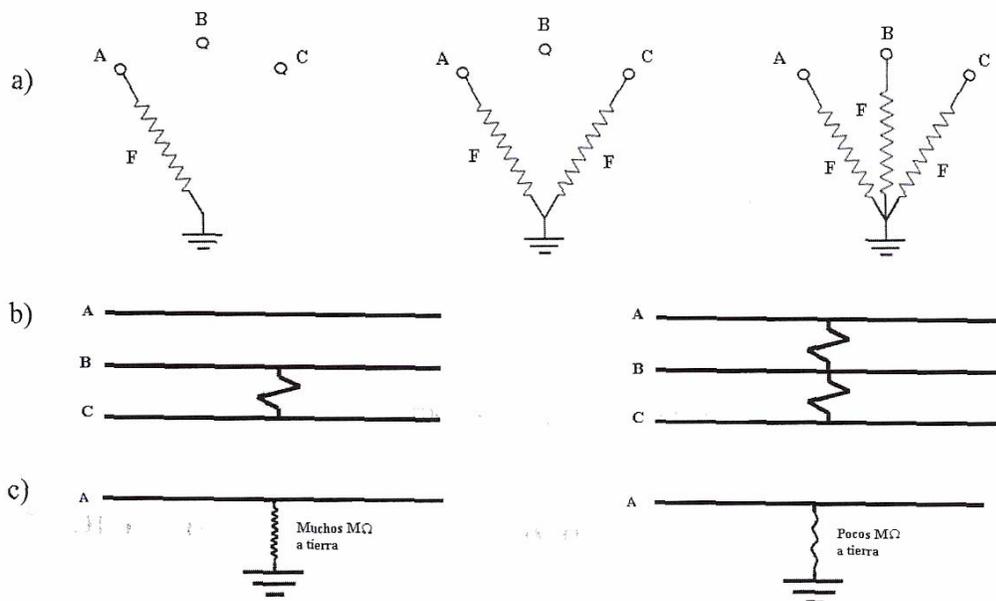


Figura 27.

- Fases falladas a tierra, de acuerdo con la medición Fases/Plomo.
- 2, o 3 conductores corto-circuitados, de acuerdo con la medición entre fases.
- Falla franca o falla resistente a tierra, de acuerdo con las lecturas del óhmetro y del Megger.

3.7.1 DETECCIÓN DE LA FALLA EN EL TERRENO.

Todos los métodos e instrumentos para llevar a cabo los ensayos de prelocalización anteriormente descritos, arrojan únicamente resultados aproximativos, no siempre son exactos, por lo tanto jamás hay que darlos por definitivos, como para decidirse a abrir una excavación o cortar el cable en el lugar cuya distancia haya resultado marcada con los datos del ensayo efectuado. Para eliminar la duda acerca del lugar donde la falla se encuentra, es necesario comprobar físicamente que la falla se encuentre en ese lugar, antes de proceder a intervenir sobre el cable.

El procedimiento más común para llevar a cabo este ensayo, es la aplicación del generador de ondas de choque.

Este método consiste principalmente en enviar a través del conductor defectuoso del cable, estando el resto de los conductores conectados al plomo, a una onda de impulso capaz de brincar en forma de arco en la falla produciendo ruido.

Este ruido puede ser escuchado directamente por el oído en las boquillas de los ductos dentro de los pozos de visita, si se trata de un cable instalado en ductos o en el caso de cables armados directamente enterrados, por medio del detector acústico, (captor, amplificador y audífonos).

Para que estos ruidos sean audibles, sea cual fuera el medio de escucharlos, se necesita cuando menos un nivel de energía de ruido equivalente a 300 Joules como mínimo. Por consiguiente se necesitan aparatos capaces de producirlos.

Toda la gama de aparatos utilizados para este ensayo, puede agruparse prácticamente en dos tipos.

- a) Generadores de impulsos a cadencia por reloj- ruptor
- b) Generadores de impulsos a cadencia por intervalos de descarga.

Solo se hablará de este último en la descripción por ser el único conocido en este departamento.

Generador de ondas de choque Biddle/Hypotronics.

Consta este equipo de tres elementos principales para producir las ondas de choque y de un elemento, el detector acústico para captarlas:

1. El pupitre de comando.
2. Un rectificador de alta tensión.
3. Un generador de ondas de choque por condensador a intervalos.

Observando la figura 28, tenemos que en el pupitre de comando:

Alimentación del potenciómetro con tensión selectiva de 110/127V.

Los circuitos de salida del potenciómetro son 2: Uno a tensión fija, alimenta el primario de un transformador monofásico para el calentamiento del filamento.

En el circuito primario de dicho transformador, esta intercalado en serie una resistencia variable para regulación de la tensión de salida del transformador.

El segundo circuito de salida del potenciómetro (el de tensión variable), alimenta al primario de un transformador monofásico BT /AT en el caso de un arco sostenido en el circuito de AT (quemando fallas).

En paralelo tenemos conectado un voltmetro (+) con escala de 0 a 12KV, y de 0 a 60KV (-). La conmutación de las tensiones de alimentación a este circuito se hace en el potenciómetro por medio de diferentes tomas (Taps), que varían refiriéndose en AT, a tensiones de salida de: 3, 4, 7, 10, 12, 15, 18, 20, 25, 36, 53 y 60 KV.

Dos fusibles de 50A, protegen la alimentación del potenciómetro de la línea y se desconecta a esta mediante un interruptor bipolar.

El circuito encerrado dentro del primer cuadro a líneas punteadas, representa todos los aparatos contenidos dentro del pupitre de comando.

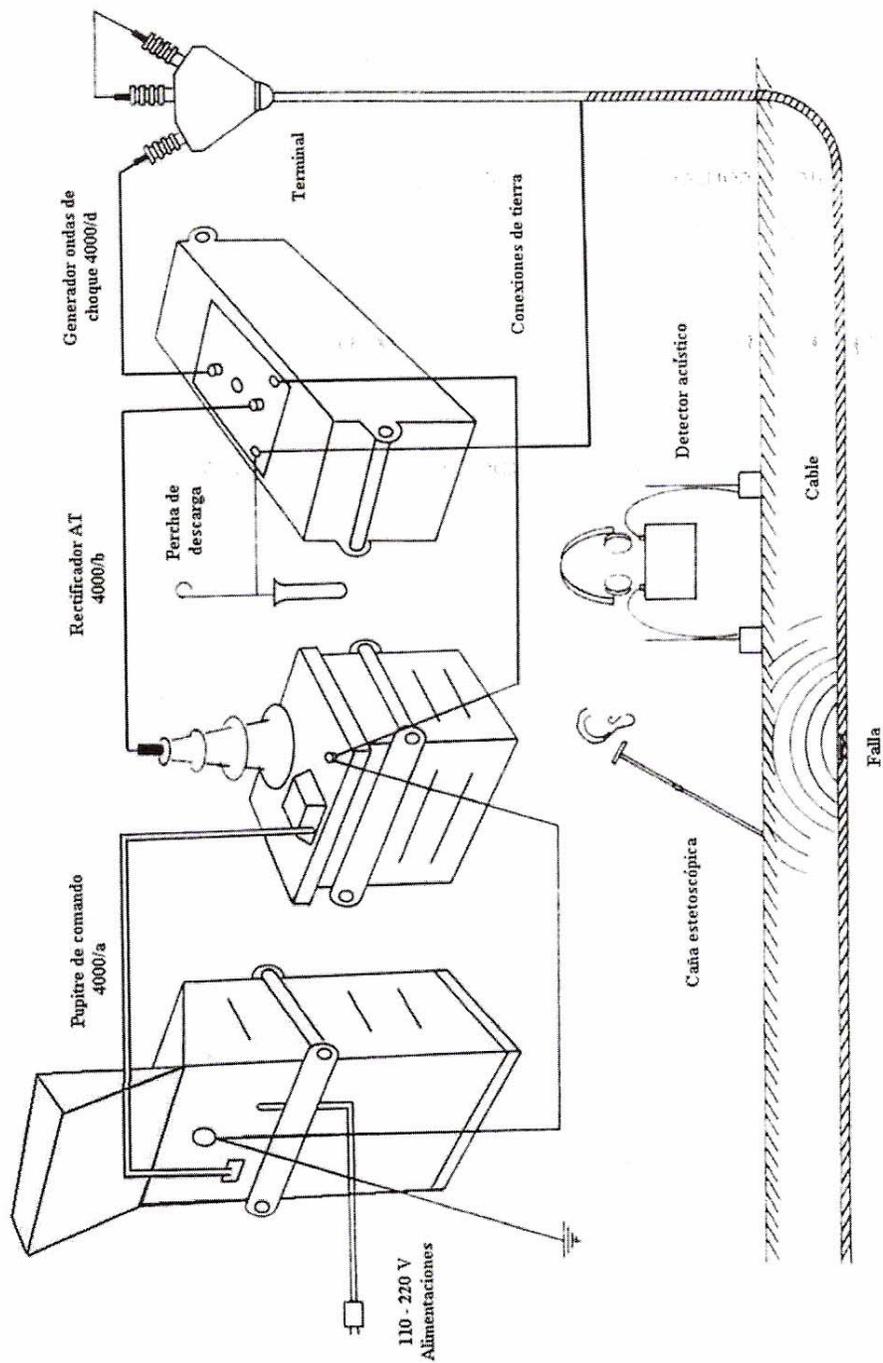


Figura 28. Detalle del montaje de aparatos Biddle.

4. Rectificador de Alta Tensión (EDC 4000/b).

En este están contenidos: El transformador de calentamiento, (ya explicado), el transformador de BT/AT sumergido en aceite.

En el centro del devanado secundario del transformador BT /AT tiene una conexión a tierra y las salidas de AT

Para establecerse el circuito de AT que a través de tierra gracias a la conexión central la tierra en el devanado secundario del transformador AT/BT.

- 1) Análisis de la naturaleza de la falla.
- 2) Detección de la falla en el terreno.
- 3) Características y trazado del cable.

En el caso de quemado de la falla, la condición anterior es indispensable para lograr la intensidad necesaria en la falla capaz de establecer un arco sostenido, suficiente para formar carbón en dicho lugar, reduciéndose en esta forma el valor a la resistencia de la falla.

Para los propósitos anteriores, el control del amplificador magnético en el pupitre del comando, tiene un selector para obtener dos valores diferentes de intensidad máxima de salida en AT (100 y 5 mA).

El valor de 100mA corresponde a la posición “Quemar” en el selector y es el valor de intensidad utilizado para ejecutar los ensayos de franqueo de fallas en los cables subterráneos.

El valor de 100mA corresponde a la posición de “Choque” en el selector y es el de valor máximo de intensidad aplicado al generador de ondas de choque.

El segundo cuadro a líneas punteadas indica las conexiones y aparatos contenidos dentro del rectificador de AT, la conexión de las cuatro líneas de salida del pupitre al rectificador, se hace por medio de un cable flexible y dos clavijas-receptáculos. La conexión de tierras se hace por separado.

5. Localizador de fallas para cables de media tensión Marca Biddle/Hypotronics.

Precauciones de seguridad:

El mal uso de este equipo de alta tensión, puede ser extremadamente peligroso.

La seguridad es responsabilidad del usuario.

El equipo de prueba y el cable al cual esta conectado son fuentes de energía eléctrica de alta tensión y todas las personas que ejecutan o asisten en las pruebas deben de tomar todas las precauciones de seguridad prácticas para prevenir contactos con las partes energizadas del equipo de prueba y el circuito relacionado. Las personas involucradas en las pruebas deben estar separadas por lo menos 0.90m, de todas las partes del circuito energizado con alta tensión, a menos que el aparato de prueba se encuentre desenergizado y esto deberá de verificarse y confirmarse con la persona encargada de efectuar las pruebas con dicho equipo.

Todas las partes del circuito de prueba deberán estar aterrizadas. Cualquier persona que no se encuentre directamente involucrada con el procedimiento de conexión, de operación de este equipo, deberá de retirarse del lugar así como acordonar la zona donde se este trabajando por medio de señalizaciones, como avisos o cinta de hule donde indique peligro alta tensión, en alguno de los casos será necesario emplear al mismo personal para desviar o no permitir el paso por la zona donde se esté trabajando.

Los usuarios del equipo de alta tensión deberán tomar nota que las descargas de alta tensión y otras fuentes de voltaje de electricidad grande o campos magnéticos pueden interferir con el funcionamiento apropiado de los marcapasos del corazón. El personal que usa el marcapasos, deberá de observar avisos sobre el posible riesgo de operar estos equipos o cerrar el equipo durante la operación.

Los impulsos eléctricos de alta tensión y los pulsos de corriente resultante crean especiales problemas de seguridad tan grandes como los rápidos cambios de impedancia pueden generar altos niveles de tensión.

El equipo de prueba diseñado, suministra dos separados y distintos sistemas de tierras: la tierra del chasis del aparato y la tierra de la fuente. La tierra del chasis del aparato, la cual tiene que estar conectada a una buena tierra local. Está diseñada para proteger al operador previniendo una diferencia de potencial entre el chasis del aparato y la tierra en la inmediata vecindad. La tierra de la fuente esta diseñada para regresar la corriente de impulso de regreso al capacitor. La BT final de la salida del cable será nula.

En la terminación de una prueba, aun después de que la potencia ha sido retirada del equipo de pruebas, la energía puede estar almacenada en el capacitor de impulso y el cable. Por esta razón la resistencia de tierra automática y la posición de tierra están incluidas en este equipo. La resistencia rápidamente reducirá la energía almacenada a un nivel bajo de seguridad. La condición de descarga esta indicada por el volómetro, inmediatamente después del uso del interruptor SELECTOR DE MODO deberá regresarse a la posición TIERRA (GROUND), la cual coloca un circuito de resistencia baja en el cable de salida y la potencia suministrada. El capacitor de impulso esta automáticamente conectado por la resistencia de descarga, cuando no está en uso.

Nunca deberá de conectar el aparato de prueba a equipos que se encuentren energizados, o en zonas cuya atmósfera sea explosiva.

Es imperativo no operar el aparato de prueba en la posición de IMPULSO con alguna de las cubiertas de los lados o de las tapas retiradas.

La energía almacenada en los capacitores usados en este equipo tienen inherente posibilidad de fallas en las boquillas, en cualquier momento estos pueden destruirse y lanzar piezas de porcelana, tornillería, etc., en todas direcciones a alta velocidad. Las cubiertas colocadas prevendrán seguramente al personal si este tipo de falla pudiera ocurrir.

Si el aparato de prueba esta operado de acuerdo con las precauciones de seguridad antes mencionadas y en la selección de TIERRA (Ground), y si todas las tierras esta correctamente hechas, los guantes de hule no son necesarios, sin embargo se recomiendan como un procedimiento de seguridad de rutina el empleo de estos guantes de hule, no solo cuando se realicen las conexiones de alta tensión sino también cuando se manipulen los controles del Laboratorio BIDDLE así se asegura esto como un procedimiento de seguridad excelente.

PREPARATIVOS.

1. Trabajando con un alto respeto para las prácticas de seguridad, asegúrese que todo el equipo esta desenergizado, identifique el cable fallado; obtenga acceso en ambas puntas del cable; coloque barreras o avisos y conecte las tierras de seguridad a todos los cables bajo prueba.
2. Escoja una localización que permita las siguientes condiciones.
 - a) El conductor de alta tensión y la cubierta del cable tienen que estar accesibles.

- b) Una conveniente toma de corriente eléctrica para la conexión del laboratorio tiene que estar disponible dentro de los 15m (50 pies), de la localización escogida, al menos que una opción de cable de salida mas larga esté suministrado. El alambre de tierra del servicio tiene que estar conectado a una tierra de baja resistencia segura.
- c) Una tierra de baja resistencia tiene que estar dentro de lo alcanzable sin extender los cables de tierra.
- d) El aparato de prueba tiene que estar dentro de los 30m (100 pies), del final del cable al menos que una opción de salida mas largo este suministrada.
- e) El área de operación debe estar tan cerca como sea posible.
- f) No deberá haber material inflamable almacenado en la vecindad del aparato de prueba.
- g) Suministre adecuada ventilación para el laboratorio de prueba.
- h) La utilización de luces de precaución son recomendadas.

PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN

Precauciones:

- El mal uso de este equipo de alta tensión puede ser extremadamente peligroso.
- Deberá leer cuidadosamente el instructivo o manual para la correcta operación del equipo.
- La seguridad es únicamente responsabilidad del operador.
- Para poder revisar el laboratorio este deberá estar desconectado de la fuente de suministro.

- Todo el personal deberá estar apartado de las partes vivas que se encuentren desnudas.
- Siga todas las medidas de seguridad.

CHEQUEO PRELIMINAR.

Para asegurar una prueba segura, el siguiente procedimiento preliminar está recomendado.

- Cuando pruebe un cable que tenga protección (hilos, neutros, cubierta de plomo), es necesario que la cubierta del cable esta presente y adecuada.
- Conecte la guía del cable de salida del aparato de prueba (conductor central), al conductor del cable de baja resistencia. Asegúrese que el conductor expuesto y la mordaza estén suficientemente aislados para aplicar la tensión de prueba.
- Conecte el cable de tierra del chasis del aparato y la guía de BT del cable de salida del aparato a la tierra local.
- Coloque un puente (alambre del #10 AWG^{*}), de la conexión de la unión del paso dos a la cubierta (plomo, hilos neutros), del cable bajo tierra. Esta conexión completará un paso de baja resistencia de la salida del aparato de prueba a través de la cubierta del cable, a la conexión de tierra de la cubierta y a través del regreso de la tierra local al aparato de prueba.
- Eleve la tensión de prueba lentamente, cuidando de no exceder 50KV, en el volómetro de prueba del laboratorio. Continúe incrementando la tensión hasta que la lectura de prueba del ampérmetro alcance los 100mA, o que el volómetro

* AWG (American Wire Gauge) = calibre de alambre americano.

alcance los 50KV. Con una lectura de 100mA y una salida de 50KV o menos, la cubierta del cable tiene una conexión de tierra adecuada y la prueba de alta tensión requerida puede ser ejecutada o efectuada.

- Regrese la tensión de salida del aparato a cero. Coloque el selector de modo en la posición TIERRA (Ground), Retire el puente del paso # 4 y conecte la guía de BT del cable de salida del laboratorio (conductor externo), a la cubierta del cable bajo prueba.
- Proceda con la prueba requerida.
- No continúe probando si la corriente y voltaje requerido del paso #5 no es encontrado. Este es una indicación de que la conexión de tierra de la cubierta del cable no es adecuada.

MODO: SELECCIÓN DE PRUEBA O QUEMADO.

Dependiendo de los requerimientos, el selector de prueba quemado es usado para conducir una prueba de tensión y/o para quemar una falla como se explicó anteriormente.

Si ocurriera una falla en la prueba, a menos de 25 KV, el operador debe:

- (1) Interrumpir la prueba, para prevenir la destrucción de la falla.
- (2) Continuar con la aplicación de alta tensión con la finalidad de quemar la resistencia de la falla y así además reducir tensión.
- (3) Puede proceder a transferir la palanca del selector a la posición de IMPULSOS, para propósito de localización de falla.
 - Pueda romper la continuidad de la prueba para prevenir además la destrucción de la falla.

- El operador puede seguir aplicando tensión con la finalidad de quemar la resistencia de la falla y así reducir la tensión a menos de 25KV., para posteriormente colocar la palanca del selector en posición de IMPULSOS.
- Deberá fijar la palanca del selector en posición de PROF/BURN (prueba/quemado).
- Deberá de conectar el interruptor principal de la fuente de alimentación. La lámpara ámbar de prueba/quemado, se iluminará indicando que la fuente esta suministrando energía al laboratorio.
- Deberá fijar el rango del ampermetro a 100mA para el modo quemar (BURN), o de 5mA para el modo de prueba de tensión (PROF).
- Deberá fijar el botón de control de tensión de alta tensión de salida firmemente en la posición de arranque.
- En seguida puede oprimir el botón de alta tensión, y la lámpara roja deberá de encenderse, indicándonos con esto que la fuente esta disponible para suministrar alta tensión.
- Puede en este momento elevar la salida del control de alta tensión o corriente, a través de la perilla.

NOTA: Si el rango de ampermetro está fijo en 5mA y si este nivel se llegara a exceder en el aparato se dispara y se apagará automáticamente.

6.1 Una prueba de tensión es acompañada por incrementos graduales de control de tensión de salida desde cero en pequeños incrementos para que la tensión de

salida alcance el nivel prescrito en no menos de 10 segundos y no más de 60 segundos, y entonces sosteniendo esta tensión por el periodo prescrito de tiempo sin adicionar ajuste del control de la tensión de salida. La falla es indicada por la anulación del volómetro para estabilizar la tensión prescrita sin reajuste.

- 6.2 El quemador esta acompañado por incrementos graduales de control de tensión de salida para el nivel de tensión de prueba, o hasta que la corriente de salida desarrolle un máximo de 100mA y entonces reajustarse como sea necesario para mantener una condición hasta que la tensión de salida de falla este bajo de 25KV o bajo de cualquier límite impuesto por la tensión de impulso.

En este punto la operación quizá sea interrumpida y transferida al modo de impulso o quizá sea continua para reducir además la tensión a través de la falla a criterio del operador, sin embargo, es necesario para llevar a cabo la ruptura en el modo de impulso a causa de la más BT de ruptura el más débil será la señal resultante, aún cuando una tensión de impulso más alta es aplicada.

7. Si se desea para propósito de prueba de tensión, coloque el interruptor de ampérmetro a 5mA restablézcalo a 100mA antes de la prueba de quemado.

7.1 El rango de 100mA lee los valores RMS para el control de quemado.

7.2 El rango de 5mA lee los valores de corriente directa (CD) verdaderos para propósitos de prueba de tensión.

7.3 Para impulsar a 25KV o algún límite prescrito debajo de 25KV, se deberá incrementar la tensión cada 10 segundos, empezando con largos incrementos pero aprovechando el límite gradualmente para así no sobrecargar ese punto. Si la falla ha sido quemada previamente, la ruptura inicial usualmente se podrá observar que ocurre antes de que la tensión final sea alcanzada.

7.4 Si la falla logra romper antes de alcanzar el nivel de prueba de tensión del cable, será necesario transferir la palanca del selector a la posición de (PROF/BURN), con la finalidad de quemar la falla y reducir la tensión por la instrucción dada al principio.

8. Se desea empezar con el modo de IMPULSO MANUAL, este puede ser seleccionado moviendo el interruptor a esta posición. Esto se puede efectuar en cualquier tiempo mientras se tenga en la posición de IMPULSO (Impulse).

Con lo que respecta a la tensión de salida nunca deberá permitirse al operador elevar la tensión a más de 30KV. Cuando se encuentre operando en este modo de IMPULSO, ya que esto repercutirá en la vida útil del capacitor, es decir se reducirá su vida útil, es por esta razón que el laboratorio para automáticamente para así proteger al capacitor en tensiones que sobrepasen los 30KV. En algunos casos muy excepcionales, es necesario usar tensiones elevadas.

EL DETECTOR ACÚSTICO.

Como ya se mencionó anteriormente, este aparato nos sirve para detectar el ruido de la falla en el terreno.

Consta principalmente de un pupitre de comando, que lleva dentro un amplificador con regulación de volumen. A este van conectados un juego de captosres (receptores) acústicos, con guías largas y conexiones independientes, para así poder seleccionar uno u otro y poder así comparar la intensidad del ruido, y poder determinar así la dirección donde se encuentre la falla.

La base de su funcionamiento de este selector acústico es una célula microfónica extremadamente sensible a las vibraciones del suelo y poco sensibles a los ruidos ambientales.

El ensayo del generador de ondas de choque por sí solo no constituye de ninguna manera, un método eficaz como localizador de fallas en los cables subterráneos pues se requiere forzosamente de tener una idea de la distancia aproximada del alimentador así como de la ruta que este tiene, de lo contrario es necesario realizar un recorrido que puede llegar a ser hasta de 5Km. Sin poder poner especial cuidado en una zona determinada y así podríamos pasar por el lugar de la falla en repetidas ocasiones sin darnos por enterados donde se encuentra la falla.

3.7.2 PERICIAS DEL TÉCNICO LOCALIZADOR.

Esta condición juega un papel tan importante como las anteriores (cualidades de la red, método y equipo), ya que en ausencia de esta, se tendrían grandes probabilidades del fracaso rotundo en la localización de la falla, así como el daño a el aislamiento del cable, a los equipos instalados y a los instrumentos, debido a la carencia de experiencia del operador.

Experiencia: Se sugiere que las personas encargadas de estos trabajos deberían de ser, dos técnicos especializados como mínimo en el ensayo de estos trabajos, y ser seleccionados dentro de un grupo técnico o de ingenieros con dos años mínimos de experiencia en estos trabajos.

3.7.3 DIFERENTES GÉNEROS DE FALLAS.

Como ya se hizo mención, la falla debido a su naturaleza, y para ser objeto de estudio mas clara, la dividiremos en tres grupos que a continuación se mencionan: falla a tierra, corto circuito y trozadura de cable. Además de esta clasificación, existen infinidad de subgrupos donde caen todas las fallas que resultan de la combinación de las tres fallas fundamentales.

3.8 LOCALIZACIÓN DE FALLAS POR OBSERVACIÓN.

Otro de los detalles que caracterizan la pericia del técnico localizado, como en el caso de los detectives, es el de olfatear un rastro o pista que haga suponer la presencia de la falla.

Entre los rastros podemos numerar los siguientes:

- a) Olor a cable quemado (olor muy especial), en la entrada de los ductos o en la tierra de la excavación, la cual nos da indicios de que la falla se encuentra cerca.
- b) La presencia de tizne en las paredes de los pozos de visita, en las boquillas de los ductos y hasta en la misma excavación, son indicios en la mayor parte de los casos que la falla se encuentra muy cerca. Es muy recomendable que en el caso de los pozos de visita estos se les de un aseo para quitar los restos de tizne y así evitar en un futuro el posible engaño de una falla anterior.
- c) La presencia de humo en un pozo de visita, nos indica sin temor a errar que en ese lugar se encuentra la presencia de la falla.
- d) En algunos casos en donde los pozos de visita se encuentra inundados de agua, donde la visibilidad de los cables es casi nula, la presencia de una nata cobrizada sobre el espejo del agua o la presencia de una nata de aceite, puede ser indicios de que la falla se encuentre en ese lugar o muy cercano al mismo.
- e) En algunos casos cuando la falla es muy reciente, y cuando la magnitud de la falla es considerable, se alcanza a percibir a través del tacto una diferencia de temperatura en la superficie del suelo, esto también nos sirve como indicio de la posible ubicación de la falla.
- f) Cuando la falla es reciente y esta provoca una explosión, en muchos de los casos, las personas, peatones, comerciantes, agentes de seguridad, etc., indican donde se escucho la explosión, y esto nos indica el lugar de la falla ahorrando

así tiempo de interrupción, se ve abatido gracias a la cooperación de la gente que estuvo en el lugar.

3.8.1 CAUSAS COMUNES POR LAS QUE UN CABLE SUBTERRÁNEO FALLA.

1. Un piquete mecánico. Generalmente cuando se efectúan obras de urbanización se practican excavaciones, y es muy común que los operadores de las maquinarias de excavación por error o ignorancia dañen el cable subterráneo, en la mayoría de estos casos la falla se manifiesta de inmediato o en alguno de los casos llega a producirse la falla un tiempo después de acuerdo a la magnitud del daño.

2. Corrosión química.- La presencia de determinados ácidos, alcalinos o de las sustancias que en combinación dan lugar a estos, pueden atacar violentamente las cubiertas de plomo y perforarlas.

3. Corrosión electrolítica.- La presencia de instalaciones de corriente directa. Propicia en muchas ocasiones, que dicha corriente deje sus conductores para fluir libremente por las cubiertas de plomo, pero en el lugar donde estas dejan el cable para regresar a sus colectores, allí se produce en el forro de plomo una corrosión tan violenta, que perfora las cubiertas

4. Cristalización.- El continuo movimiento del cable dentro del ducto debido a las dilataciones y contracciones de este a consecuencia de su régimen de carga, terminan por orientar las moléculas del forro de plomo, agrietándose este en longitudes considerables.

5. Rozamiento o Ralladuras.- La falta de cuidado en el tiraje, la suciedad en los ductos o la falta de precauciones en lugares filosos, producen incisiones o cortaduras de las cubiertas de plomo.

6. Asentamientos del subsuelo.- Esto es muy frecuente en la ciudad de México por tanta construcción actual y tan poco compacto el terreno, produce restiramientos en las cubiertas de plomo, que llegan a reventarse, produciéndose ahí una degolladura.

7. Diferencias de potencial.- Los fenómenos transitorios debidos a cortocircuitos, fallas a tierra, aperturas bruscas, etc., producen corrientes residuales que fluyen por las cubiertas de plomo, elevándose en ocasiones el potencial de una cubierta respecto a las otras, de ahí que en lugares donde una cubierta con potencial toca o pasa cerca de otra o de una estructura que propicie una diferencia de potencial adecuada a la descarga, esta produce formando el vulgarmente llamado tierraço, que perfora las cubiertas de plomo dejando allí un hueco considerable.

8. Introducción de agua, humedad.- Todos los fenómenos anteriores dan lugar a la introducción de agua o humedad dentro del cable es la de hacer descuidadamente la confección de una junta o derivación, por ejemplo el mal empacado permite vías de agua o humedad, que repercuten invariablemente en la falla del cable de ese lugar.

9. Sobrecargas.- Un cable que trabaja todo el tiempo sobrecargado, llegan a quemarse sus aislamientos, perdiendo sus cualidades dieléctricas, y provocando falla.

10. Falsas maniobras.- Una falsa maniobra en la operación puede dar lugar a producir corto circuito que retueste por completo los aislamientos del cable y genere su falla.

11. Migración de aceite en la posición vertical.- En un cable dispuesto verticalmente, es forzoso que el aceite por gravedad migre a las partes bajas del cable y produzca su falla.

12. Vejez.- Con el tiempo la resequeza de los aislamientos en un cable provoca el fenómeno de ionización que aumenta sus pérdidas y trae posteriormente su falla.

13. Defecto de fabricación.- También un defecto en el encintado, impregnación o en la aplicación de la cubierta de plomo, puede dar lugar a ionizaciones o vías de humedad posteriores que hagan fallar al cable.

14. defectos de manipulación.- Manos sucias o sudorosas, reventado de aislamientos al forzarlos en curvatura o pocas precauciones al confeccionar una junta o terminal, trae irremediamente la falla.

Causas poco frecuentes.- La roída de rata y el incendio exterior, pueden considerarse como poco frecuentes, en los récords de fallas.

15. Roído de rata.- Las ratas no comen el plomo de cable, pero les gusta afilarse los dientes en el, de ahí que resulten a veces incisiones bastantes considerables a consecuencia de esto.

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

3.8.2 PUNTOS VULNERABLES.

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

Juntas, derivaciones, terminales, pozos de visita, cruces de vías de ferrocarril, instalaciones del tren ligero, lugares donde hay mucho salitre, obras públicas en construcción, aglomeraciones de cables en galerías etc.

3.8.3 DEDUCCIONES PÚBLICAS.

De los resultados de los análisis del tipo de falla y del conocimiento de las condiciones y trazado de las canalizaciones subterráneas, se puede deducir de manera aproximada, si la falla se encuentra en lugar seco o húmedo, de acuerdo con el valor de la resistencia de falla inicial, si la falla se encuentra cerca o lejos de la SE principal, continuar, de acuerdo con la bandera del detector a sobrecorrientes calibradas, que accionó, o algunas otras especulaciones que ya no se mencionan. Para que el técnico lleve a cabo con acierto su localización, conviene entre otras cosas, que siga al pie de la letra el reporte que a continuación se muestra, y que no tiene mas finalidad que el de repararle la memoria de lo que debe hacerse y, por otro lado, este reporte puede archivar para que sirva de experiencia en las localizaciones futuras.

3.9 DETECTOR DE POTENCIAL DE BT.

Las lámparas de prueba mencionadas en el capítulo 2 han sido enriquecidas con la aportación de experiencias obtenidas en el terreno de los hechos, tanto por ingenieros, sobrestantes y trabajadores para obtener lo que actualmente es esta norma, para el uso de la misma. Ver figura 29.



Figura 29. Lámparas de prueba utilizándose para identificar una falla en BT

Enseguida se enlistan las aplicaciones que se le dan a las lámparas de prueba en el Departamento de Cables Subterráneos, para pruebas en BT.

FORMAS DE UTILIZARSE

Nota: antes de cualquier uso de las lámparas de prueba, compruebe el buen estado de los dos focos de 40Watts, de la resistencia y que los contactos del botón no estén cerrados.

3.9.1 Detectar potencial.

Coloque el interruptor en posición de 125V después una terminal de las lámparas se colocará a la tierra (plomo, arreglos de tierra, neutro, etc.) efectiva, y la otra terminal se conectará a una fase, el foco “B” de las lámparas deberá encender a su intensidad normal y al comprobar con las otras fases sucederá lo mismo.

Si al efectuar la prueba los focos de la lámpara no encienden, nos indicará que el cable o equipo no tiene potencial.

Para probar la continuidad del cable y dejar identificadas sus fases se hace lo siguiente: Aislar las tres fases, se conecta arbitrariamente cualquier fase del cable conocido con el cable a identificar.

Punto 1.- Con las lámparas de prueba en posición de 125V conecte una de las terminales de las lámparas de prueba a tierra y con la otra terminal de las lámparas encuentre la que tiene potencial, demostrándole al encender el foco y marque en ambos extremos. Para identificar las dos fases restantes repita las indicaciones anteriores.

Probando por BT de un transformador se puede determinar la falta de una, dos o tres fases por AT.

Cuando haga falta una fase por AT haga uso del punto 1, al probar con las lámparas, presencia de potencial de fase a tierra por el lado de baja tensión del transformador podemos observar que prende el foco “B” de las lámparas en dos de las fases y en la otra fase prenderá a muy baja intensidad. Si cambiamos el interruptor 1 en posición a 220V para comprobar potencial entre fases (por BT) se observará que los focos de las lámparas encenderán a mediana intensidad en dos casos y en una de las comparaciones entre fases los focos se encienden a su intensidad normal.

Cuando faltan dos fases por AT, probando por baja tensión de fase a tierra cada una de las fases del transformador podemos observar el foco B de las lámparas encenderá a su intensidad normal en uno de los casos y en las dos pruebas restantes el foco no encenderá.

Si probamos entre fases observaremos que en las tres pruebas los focos de las lámparas no encenderán.

Cuando hacen falta tres fases por AT haga uso del punto 1 probando por baja tensión de fase a tierra cada una de las fases del transformador podemos observar que el foco B de la lámpara de pruebas no encenderá en ninguna de sus tres fases. Si probamos entre fases con interruptor (1) en posición de 220V, tendremos como a continuación se explica.

3.9.1.1 EN FASES

Probando como fusible los focos de las lámparas no deberán encender una frente a otra por ser de la misma fase (hermanas). Esto deberá ser igual en los puntos 1, 2, 3, lo que quiere decir, que podemos cerrar el paralelo de las fases A, B, y C, son hermanas (están en fase) con A', B' y C' respectivamente.

3.9.1.2 FUERA DE FASES

Supóngase que se tienen dos circuitos uno frente a otro, ya sea en una caja de cuatro vías, buses o simplemente dos cables trifásicos distintos por empalmar, uno lo representamos con las letras A, B, C y el otro por las letras A' B' y C'.

Probando como fusible 220V como se muestra en la figura anterior en el punto (1), los focos encenderán a su intensidad normal indicándonos con eso que la fase A' es hermana (o en fase) con B; si se quiere comprobar A' con C los focos encenderán, lo que demuestra que tampoco son hermanas.

Si probamos como fusibles 220V B con B' punto (3) de la figura anterior, los focos encenderán a su intensidad normal indicándonos con esto que la fase A' con C los focos encenderán, lo que demuestra que tampoco son hermanas.

Si probamos como fusible 220V B con B' punto (3) de la figura anterior, los focos encienden a su intensidad normal, esto indica que B no es hermana con B' pero si cambiamos una terminal de las lámparas como indica el punto (4) en la figura, los focos se apagarán, Probando como fusible C contra C' como indica el punto 5) en la figura, las lámparas NO encienden, esto quiere decir que C con C' son hermanas (están en fase).

Solución: Esto se corrige dejando fijas según el caso AB o A'B' y cambiar A por B o A' por B' y solo por baja tensión.

3.9.1.3 FUERA DE ÁNGULO

Supóngase que se tiene dos circuitos, uno frente a otro.

Compruebe potencial en los circuitos A, B, C, y A' B' C' probando a 125V y a 220V.

Probando como fusible (a 220V), los focos de las lámparas encenderán siempre una fase frente a otra y probando una fase contra las otras tres, en una los dos focos encenderán a su intensidad normal y en las otras dos fases los focos encenderán a media intensidad, o sea, aproximadamente 125V.

Solución: De acuerdo con el ingeniero encargado se harán los cambios adecuados por AT del transformador.

3.9.1.4 FUERA DE ÁNGULO Y DE FASES.

Las lámparas encenderán siempre al probar como fusible una fase contra las tres de enfrente a su intensidad normal (220V) o las tres a media intensidad (125V).

3.9.1.5 FASEAR BT DE 6 KV CONTRA BT DE 23 KV.

Probando como fusible, los focos de las lámparas encenderán muy poco en las tres fases de los dos circuitos probados, pero probando una contra las otras dos fases del circuito contrario los focos de las lámparas encenderán a tres distintas intensidades, una muy baja +55V, una casi normal +90V y otra mas alta que lo normal + 250V. Se dice que quedan en fase cuando como fusible (una fase frente a la otra) los focos de las lámparas encienden al mínimo de intensidad, NO SE DEBE CERRAR EN PARALELO.

3.9.2 DETECTAR CABLE DAÑADO.

Quemado y aislado en una, dos y tres fases. Este tipo de falla normalmente se presenta en la Red Automática. Al desconectar un cable (abrir en un bus, caja de 6 vías, etc.) retirando sus placas y comprobar que tenga potencial el cable abierto (probando regresos), encontramos lo siguiente. Comprobando potencial a 220V

tendremos dos fases y una no (dos buenas y una mala), es decir, encenderán ambos focos entre las dos fases con potencial y no encenderán el foco de las lámparas de prueba a su intensidad normal y una fase NO encenderá (falta una fase), se tiene quemado y aislando una fase.

Si comprobamos potencial entre fases no enciende los focos de las lámparas, pero al comprobar potencial de fase a tierra, únicamente enciende en una fase, se dice que el cable está quemado y aislado en 2 fases.

Si comprobamos potencial entre fases no encienden los focos de las lámparas se dice que el cable está sin regreso o quemado y aislado en sus tres fases.

Los siguientes casos se presentan normalmente en los sistemas radiales.

3.9.2.1 FASE A TIERRA

Probando como fusible, los focos de las lámparas de prueba encenderán a media intensidad oprimiendo el botón para cerrar el interruptor número 2 se notará que no baja la intensidad de los focos inmediatamente se pone rojo la resistencia, esto nos indica que dicha fase está a tierra. Esta misma situación se puede presentar en las otras dos fases. (No se deberá cerrar a través del fusible).

3.9.2.2 CRUZAMIENTO EN DOS FASES

Al probar la primera fase como fusible y los focos de las lámparas no encienden, se puede cerrar dicha fase con un fusible ; al probar la siguiente fase como fusible, los focos de las lámparas encenderán a su intensidad normal (220V), y al dar un piquete con el interruptor N° 2 la resistencia se pondrá al rojo inmediatamente, lo que indica que el cable tiene regreso y es debido al cruzamiento de la fase que se

cerró, por lo que probando como fusible nos marca fases contrarias. (NO se debe cerrar esta fase).

3.9.2.3 CRUZAMIENTO EN TRES FASES

Al probar como fusible (a 220V) y los focos de las lámparas no encienden, se puede cerrar esa primera fase, al probar las siguientes fases como fusible, los focos de las lámparas encenderán a su intensidad normal (220 V), comprobando estas dos últimas fases a tierra se encontrará que efectivamente tienen regreso, lo que indica que las tres fases están cruzadas (En este caso solo puede cerrarse una fase).

3.9.2.4 CRUZAMIENTO EN DOS FASES A TIERRA

Probando como fusible 220V los focos de las lámparas de prueba encenderán a media intensidad en dos de sus fases, oprimiendo el botón para cerrar el interruptor 2, se notará que no baja la intensidad de los focos e inmediatamente se pone roja la resistencia (esto sucede en las dos fases), así pues nos indica que dichas fases están cruzadas y a tierra (no se debe cerrar ninguna de las dos fases que se encuentran cruzadas).

3.9.2.5 CRUZAMIENTO EN TRES FASES Y A TIERRA.

Probando como fusible 220V los focos de las lámparas de prueba encenderán a media intensidad en sus tres fases, oprimiendo el botón para cerrar el interruptor 2 (piquete), se notará que no baja la intensidad de los focos e inmediatamente se pone al rojo la resistencia (esto sucede en las tres fases), lo cual nos indica que las tres fases están cruzadas y a tierra; (no debe cerrarse ninguna fase).

3.9.2.6 TIERRA ABIERTA.

Se comprobará que existe potencial a 220V (entre fases), pero al probar fase a tierra 125V los focos de las lámparas NO encienden y si se sostiene la prueba por un tiempo, observaremos que los focos encenderán con poca intensidad y con variaciones, indicando con ello que la tierra está abierta.

3.9.3 DETECTAR CARGA.

3.9.3.1 CABLE CON HUMEDAD.

Al probar como fusible un cable que no tiene servicios conectados los focos de las lámparas encienden a poca intensidad y al dar un piquete con el interruptor N° 2, los focos de las lámparas de prueba se apagan totalmente y la resistencia NO se calienta, indicándonos este efecto que el cable tiene humedad.

3.9.3.2 CABLE CON POCA CARGA.

Al probar como fusible 220V para alimentar una fase con carga, los focos de las lámparas de prueba encenderán a media intensidad y al dar un piquete con el botón N° 2, los focos de las lámparas bajan su intensidad o se apagan y la resistencia NO se pone roja, indicándonos este efecto que se puede cerrar la fase.

3.9.3.3 CABLE CON MUCHA CARGA.

Al probar como fusible para alimentar una fase con carga los focos de las lámparas de prueba (con el interruptor a 220V encenderán a su intensidad normal, se oprime el botón N° 2 (piquete) y se notará que la intensidad de los focos casi no baja

y la resistencia se pone roja pero no inmediatamente indicándonos que se puede cerrar la fase. Esta prueba se repite con las fases restantes.

3.9.4 OTROS USOS.

3.9.4.1 CONECTAR EN PARALELO PLANTAS DE EMERGENCIA CUANDO NO SE CUENTA CON LAS LÁMPARAS DE SINCRONIZACIÓN DE DICHAS PLANTAS.

Para este caso, es necesario contar con 2 lámparas de prueba, cada una de ellas se conecta como fusible 220V; si los focos de las dos lámparas se encienden y se apagan al mismo tiempo la planta estará en rotación y fases respecto al sistema y en el momento que los focos de las lámparas de prueba estén apagados se podrá cerrar el paralelo.

Si los focos de las lámparas de prueba NO se prenden y apagan al mismo tiempo, se dice que la planta no está en rotación. En este caso se seguirán haciendo pruebas hasta encontrar las fases correspondientes.

3.9.4.2 COMPROBAR CIERRE Y APERTURA DE LOS PROTECTORES.

Al cierre: Se comprobará que hay potencial de 220V del lado transformador después se conectan las lámparas de prueba entre la fase A lado de la red y tierra, la carga que representan los focos de las lámparas de prueba ocasionan que el protector de cierre y en este momento los focos de las lámparas enciendan.

A la apertura: Para que el protector opere a la apertura, se conectan las puntas de las lámparas y se oprime el botón 2 de las lámparas de prueba protector (piquete), las resistencias se ponen inmediatamente al rojo y el protector debe abrir,

no se deberá sostener mucho tiempo esta operación, pues las resistencias de las lámparas se quemarán.

3.9.4.3 CIRCUITO DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Al probar como fusible 220V, la primera fase indicará que el cable está sin regreso y se podrá cerrar esta fase; al probar como fusible la segunda fase, los focos de las lámparas de prueba encenderán a su intensidad normal 220V y se comporta como un cable cruzado, pero al oprimir el botón N° 2, los focos de las lámparas bajan de intensidad o se apagan, esto indica que se trata de un circuito de alumbrado público (existe en casos en que no baja la intensidad de los focos, se presenta una vibración luminosa o parpadeo en ellos).

Otros usos que pueden darse a estas lámparas de prueba pueden ser para alumbrarse, para tratar de aislar una falla en baja tensión señalización, piloto, etc.

3.10 PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA.

Los sistemas de tierras como elementos de una subestación, deben inspeccionarse y recibir mantenimiento.

El objetivo de una conexión a tierra es facilitar el paso de corriente del sistema de potencia a tierra en caso de falla; la oposición que presenta a la circulación de esta corriente se llama resistencia de tierra.

Las características de una conexión a tierra, varían con la composición y el estado físico del terreno, así como de la extensión y configuración de la malla de tierras. El terreno puede estar formado por combinaciones de materiales naturales de

diferente resistividad, puede ser homogéneo y en algunos casos estar formado de granito, arena o roca; materiales de alta resistividad.

Consecuentemente, las características de una conexión a tierra, varía con las estaciones del año, las cuales se producen por cambios en la temperatura, contenido de humedad y composición del terreno.

La construcción de redes de tierra tiene por objeto reducir la resistencia de tierra; la cual está formada por un conjunto de conductores enterrados a una profundidad de 0.30 a 0.50m, espaciados en forma uniforme y conectados a varillas (electrodos) de 3 metros de longitud.

Las funciones de la red de tierras son las siguientes:

- a) Conducir o drenar a tierra las corrientes producidas por sobretensiones.
- b) Evitar sobrevoltajes peligrosos que pongan en riesgo la seguridad del personal.
- c) Para la operación de sistema eléctrico, como lo son las conexiones de los neutros de equipos, evita sobrevoltajes que resulten peligrosos para los mismos y al personal,
- d) Conexiones a tierra que se realicen temporalmente durante maniobras o mantenimiento de la instalación.
- e) La disponibilidad de una conexión a tierra para protección de descargas atmosféricas.

3.11 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA CON ELECTRODO MÚLTIPLE.

El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras que utiliza por lo regular el método de caída de potencial; este método involucra la utilización de dos electrodos auxiliares: uno de potencial y otro

de corriente. El electrodo de corriente se usa para hacer circular una corriente a través del sistema de tierra a medir.

El medidor consta de 4 terminales (C1, C2, P1 y P2).

La prueba se efectúa mediante la técnica de los tres puntos, en el cual dos terminales (P1 C1) del aparato de prueba se puentean para conectarse directamente al electrodo de la red de tierras que se pretende probar. La terminal de potencial. (P2) se conecta al electrodo de potencial P2 y la terminal de corriente (C2) al electrodo de corriente C2.

Las varillas de prueba P2, C2 deberán clavarse a una profundidad de 0.50 a 0.60m aproximadamente.

La distancia (d) del electrodo bajo prueba de la red de tierras al electrodo de potencial (P2) se va variando y en cada punto se toma una lectura de resistencia (R). Se recomienda iniciar con una distancia $d = 5m$. Puede aumentarse o disminuirse este valor (3, 6, 10m) de acuerdo con el criterio de la persona que efectúa la prueba, considerando siempre obtener los puntos (d, R)

Suficientes para trazar la curva.

La distancia (L) a la que clavará el electrodo de corriente (C 2) es igual a $4D$ y se calcula partiendo del círculo equivalente de la superficie que cubre la red de tierras. Generalmente la superficie es rectangular, por lo que se tiene:

$$A r = l \times a$$

Donde: A r = superficie de la red

l = largo

A = ancho

El área o superficie de un círculo es: $A_c = n \times D^2 / 4$

Igualando: $A_r = A_c'$

Se obtiene: $1 \times a = n \times D^2 / 4$

De donde: $D = 2 \sqrt{1 \times a / n}$

Donde : D = diámetro equivalente de la superficie que cubre la red de tierras

De aquí se obtiene: $L = 4D$

Esta distancia es una longitud de referencia, por lo que en la práctica y de acuerdo con la experiencia de campo puede llegar a ser menor o mayor de 4 D.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los valores obtenidos de resistencia se grafican contra la distancia (d), en esta curva, la parte plana u horizontal, nos indica la resistencia real (RT) de la red de tierras que se ha probado. En la práctica no se obtiene uniformidad en las lecturas de (R) por lo que al graficar los resultados se trazará la curva de tal manera que pase por el mayor número de puntos. Cada punto tendrá sus coordenadas (R, d).

Se recomienda los siguientes valores límites de resistencia de la red de tierra de una subestación como valores aceptables en época de estiaje.

CAPACIDAD DE LA SE EN KVA	RESISTENCIA EN TIERRA Ω
1,500	15
1,501 – 10,000	10
Mayores de 10,000	2

3.12 MÉTODO DEL 62% PARA MEDICIÓN DE SISTEMAS DE TIERRA.

Este método se ha adoptado en base a consideraciones gráficas. Es confiable dado su principio de operación.

Este método se aplica únicamente cuando los tres electrodos están en línea recta y la “tierra“ es un solo electrodo, tubería o placa.

Dependiendo de la longitud del electrodo, se especifica la distancia del electrodo de potencial (P2) y el electrodo corriente (C2).

Generalmente en Comisión Federal de Electricidad y LyF se utilizan electrodos (varillas de tierra) de 3m de longitud y un diámetro de 19mm. Por lo anterior la distancia del electrodo bajo prueba, al electrodo de corrientes es de 30m.

RECOMENDACIONES.

Antes de realizar la prueba es necesario comprobar la correcta operación del equipo, realizando las siguientes actividades:

- a) Ajuste del cero.
- b) Comprobación de batería
- c) Ajuste eléctrico del cero.
- d) Comprobación de sensibilidad.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Cuando se efectúa este tipo de estudios en terreno se toman cuatro mediciones en direcciones opuestas para obtener el valor promedio. Estos valores deberán ser de 2Ω en época de lluvias y 10Ω en época de estiaje.

3.13 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La resistividad del terreno esta en función del tipo de compactación, contenido de humedad y sales solubles en los estratos. La resistividad es el inverso de la conductividad.

La resistividad es una forma indirecta, rápida y práctica de valorar las condiciones del terreno, que se utiliza tanto para los diseños de redes de tierra y estudios de protección catódica.

Debido a la variación de la humedad del terreno, la lectura de resistividad no es constante.

Se calcula la resistividad del terreno (P) mediante la fórmula:

$$P = 2 \times n \times 1 \times R$$

Dónde:

P = resistividad del terreno

R = resistencia medida en ohms.

1 = separación entre electrodos en cm.

CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Para medir la resistividad del terreno, normalmente se utiliza el método de Wenner o de los cuatro electrodos, haciendo una cuadrícula del terreno y realizando varias mediciones con separación variable entre los electrodos.

Este método consta de cuatro electrodos de pequeñas dimensiones dispuestos en línea recta, siendo los dos electrodos interiores de potencial y los dos exteriores de corriente.

Las mediciones deben realizarse principalmente sobre las diagonales del terreno.

Sobre las líneas trazadas en el terreno (cuadrangular o rectangular) se deberá variar la distancia entre los electrodos, como se muestra. Partiendo siempre del centro del terreno.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con los datos obtenidos en el punto anterior se calcula la resistividad con la formula antes mencionada dándonos una aproximación muy cercana al tipo de terreno en el que estamos trabajando y las previsiones que se deben de tomar para bajar la resistividad si éste fuera el caso.

CONCLUSIONES.

En éste trabajo doy las herramientas y metodología para uso y aplicación en la detección de fallas de las redes radial y automática en mediana y baja tensión con equipo utilizado en luz y fuerza del centro que, en términos generales puede ser utilizada para este mismo efecto en cualquier línea de transmisión. El campo de aplicación es muy extenso y en la actualidad, a nivel mundial existen tecnologías de punta que aún no se han aplicado por su inaccesibilidad financiera o por requerir de un reordenamiento en el sistema, lo cual sería de un alto costo más sin en cambio se tiene la necesidad de que aún con las condiciones actuales se dé un servicio optimo como lo requiere la industria actual.

Existen diversos tipos de fallas, únicamente enumeramos las más frecuentes, esto nos lleva a la conclusión que a pesar de tener los conocimientos necesarios y las herramientas para detectar, localizar, reparar fallas así como la experiencia en campo, la mejor forma de evitar interrupciones será la implementación de programas específicos de mantenimiento preventivo para tener un adecuado funcionamiento de las redes eléctricas de distribución.

Es importante saber el tipo de geografía en la cual se va a trabajar para desarrollar la reparación en forma adecuada, esto implica efectuar un estudio previo del trabajo a desarrollar, de esta forma se llevarán al lugar los elementos necesarios para ejecutar las pruebas, materiales y equipo.

Las condiciones de seguridad, hablando del manejo de potencial eléctrico, nunca serán excesivas ya que es de primordial importancia, salvaguardar la integridad física de los trabajadores y transeúntes en el lugar donde se lleve a cabo cualquier trabajo así como el cuidado del equipo y las líneas de transmisión.

Algunos de los puntos tratados a lo largo de este trabajo pueden ser desarrollados de una manera mas extensa e inclusive ser caso de estudio para otras tesis, pero solo trate de establecer los parámetros necesarios y, que a mi parecer son los meramente indispensables para efectuar los trabajos en forma más práctica y en base a la experiencia que he adquirido durante mi estancia en el departamento de Cables Subterráneos de LyF.

FUENTES DE CONSULTA.

Título: Manual Técnico de Cables de Energía.

Autor: Grupo CONDUMEX.

Editorial: LITO – GRAPO.

Año de edición: Enero 2005.

Título: Localización de fallas en redes de distribución.

Autor: Información Técnica de Luz y Fuerza del Centro.

Título: Redes de Distribución.

Autor: Roberto Espinoza y Lara.

Editorial: LIMUSA.

Título: Redes eléctricas.

Autor: Jacinto Viqueira Landa.

Editorial: Representaciones y servicios de ingeniería, S. A.

Título: Introducción al análisis de redes eléctricas en sistemas de potencia.

Autor: Gilberto Enríquez Harper.

Editorial: LIMUSA.

Otras publicaciones:

- **Manuales de los equipos utilizados, hechos por los proveedores.**
- **Folletos técnicos del Instituto de Investigaciones Eléctricas.**
- **Directrices y normas sobre aspectos de calidad en el servicio de la energía eléctrica.**