UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autor:
Chancusig Chiliguano Kevin Giovanny

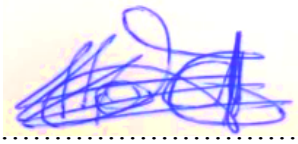
Tutor Académico:
Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso. MSc

LATACUNGA – ECUADOR
2021

DECLARACION DE AUTORIA

Yo, Chancusig Chiliguano Kevin Giovanny declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**, siento el Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



……

Chancusig Chiliguano Kevin Giovanny

C.I: 172105993-7

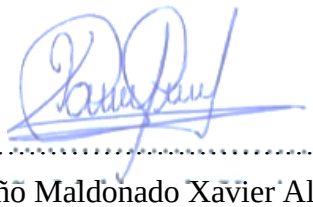
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO, de **CHANCUSIG CHILIGUANO KEVIN GIOVANNY**¸ de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

El Tutor



……

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante **CHANCUSIG CHILIGUANO KEVIN GIOVANNY** con el título de Proyecto de titulación "**DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**", ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

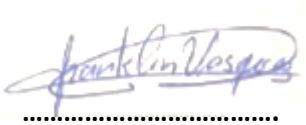
Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:



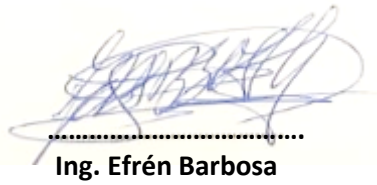
……

Ing. Wilian Guamán Cuenca
CC: 0603578956



……

Ing. Franklin Vásquez
CC: 1710434497



……

Ing. Efrén Barbosa
CC: 0501420723

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente al Divino Niño Jesús y la Virgen de Guadalupe que me han dado la sabiduría y fortaleza para continuar en los momentos más difíciles de mi carrera. A mi ejemplo de vida mi padre Freddy y mi ejemplo de superación mi madre Susana por su apoyo incondicional en todo momento que los he necesitado y por demostrarme con su ejemplo que se puede conseguir cada meta con esfuerzo y sacrificio, a mis hermanos Wendy y Samir por estar conmigo siempre.

A mi familia Chancusig; mi Mami Sole y mi abuelito Alberto por cada uno de sus consejos y su ayuda en cualquier momento, a mis tíos Omar, Wilmer, Juan, Sandra por compartir sus buenas y malas experiencias conmigo para poder aprender de ellas.

A mi familia Chiliguano; a mi mami Rous y mi papi Toño por ser mi ejemplo y mi ayuda en momentos complicados, a mis tíos Uva, Beto, Pato, Sole, Moni, Jaque, y por su aliento siempre a Karen, Ivonne, Jefferson.

A mi tutor de tesis Ing. Xavier Proaño, a quien hizo posible esta tesis mi tío Jorge Andrango, Ing. María Lema, Ing. Pablo Sotomayor, Ing. Quisaguano, Ing. Tupisa, Ing. Mario Barba y a la EEQ en general.

A mis amigos y compañeros en mi segunda ciudad Latacunga, a: Freddy, Leo, Jordin, Alex, Andre, Cristopher, Andy, Damián, Bryan, Fabián, Moyita, Mafer, Maely, Anabel por estar presente en todo momento.

Kevin Chancusig

DEDICATORIA

Al Divino niño Jesús, a la Virgen de Guadalupe, a mi padre Freddy Chancusig a mi madre Susana Chiliguano, a mi hermanita Wendy y mi hermanito Samir.

A mi abuelita Rous , a mi abuelito Antonio.

A mi abuelita Soledad y a mi abuelito Alberto.

"It was all a dream…"

The Notorious B.I.G.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.

Autor:

Kevin Giovanny Chancusig Chiliguano

RESUMEN

Toda empresa de distribución de energía eléctrica que cuenta con redes soterradas de media tensión está expuesta a una falla en cualquier parte de la misma, es por ello que el implementar nuevas tecnologías con sus respectivos procedimientos es fundamental para asegurar su confiabilidad y su calidad de servicio.

En este proyecto se elaboró los procedimientos que se deben seguir para la localización de fallas en cables eléctricos subterráneos de media tensión aplicando equipos del sistema Megger Centrix 2.0. En primer lugar se realizó la recopilación bibliográfica de todos los aspectos que intervienen en la búsqueda de una falla en las redes de distribución soterradas de media tensión. A continuación con el fin de poder validar los métodos con los cuales se guía el sistema se ha realizado una prueba en campo en una red de distribución perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y se ha propuesto realizar simulaciones basándose en normativas como la IEEE Std 1234-2019, utilizando el software PSCAD para el análisis del TDR (reflectometría en el dominio del tiempo), mientras que para la localización preciso acústica se utilizó el software Matlab – Simulink implementando sus circuitos característicos.

Finalmente como resultados se obtuvieron porcentajes de error entre la medida en campo y la simulación elevados pero que a pesar de ello se pudo demostrar que el principio de funcionamiento de los equipos utilizados están presentes en las simulaciones realizadas, todo lo mencionado anteriormente se resume en las tablas de datos que contienen cada una de las pruebas al final de los métodos simulados.

Palabras clave: TDR, Localización preciso acústica, Cables eléctricos subterráneos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: DETERMINATION OF PROCEDURES FOR LOCATING FAULTS IN MEDIUM VOLTAGE UNDERGROUND ELECTRICAL NETWORKS USING THE MEGGER CENTRIX 2.0 SYSTEM OF THE ELECTRIC COMPANY QUITO.

Author: Kevin Giovanny Chancusig Chiliguano

ABSTRACT

Every electric power distribution company that has medium voltage underground networks is exposed to a failure in any part of it, which is why implementing new technologies with their respective procedures is essential to ensure its reliability and quality of service.

In this project, the procedures to be followed for the location of faults in medium voltage subway electrical cables using Megger Centrix 2.0 system equipment were elaborated. First of all, a bibliographic compilation of all the aspects involved in the search for a fault in medium voltage underground distribution networks was carried out. Then, in order to validate the methods used to guide the system, a field test was performed in a distribution network belonging to Empresa Eléctrica Quito (EEQ) and it was proposed to perform simulations based on standards such as IEEE Std 1234-2019, using PSCAD software for TDR analysis (reflectometry in the time domain), while Matlab - Simulink software was used for precise acoustic location, implementing its characteristic circuits.

Finally as results were obtained percentages of error between the field measurement and the high simulation but in spite of this it was possible to demonstrate that the principle of operation of the equipment used are present in the simulations performed, everything mentioned above is summarized in the data tables that contain each of the tests at the end of the simulated methods.

Keywords: TDR, Acoustic precise location, Underground electric cables

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: "**DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES ELÉCTRICAS SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO EL SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**" presentado por: **Chancusig Chiliguano Kevin Giovanny**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniera y Aplicadas,** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Julio del 2021

Atentamente,

MARCO RAUL BELTRAN SEMBLANTES

CENTRO DE IDIOMAS

Mg. Mayra Clemencia Noroña Heredia.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
C.C. 0501955470

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACION GENERAL 1
2. INTRODUCCIÓN 3
2.1. EL PROBLEMA 3
2.1.1 Situación Problemática 3
2.1.2. Formulación del problema 3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN 3
2.3. BENEFICIARIOS 4
2.3.1 Beneficiarios directos 4
2.3.2 Beneficiarios indirectos 4
2.4. JUSTIFICACIÓN 4
2.5. HIPÓTESIS 4
2.6. OBJETIVOS 4
2.6.1 Objetivo General 4
2.6.2 Objetivos Específicos 4
2.7. SISTEMA DE TAREAS 5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 6
3.1. ANTECEDENTES 6
3.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN 7
3.2.1. Clasificación de las redes de distribución 8
3.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN SOTERRADAS 10
3.4. CABLES UTILIZADOS EN REDES SOTERRADAS DE MEDIA TENSIÓN 11
3.4.1. Elementos que componen los cables de media tensión 11
3.5. LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SOTERRADOS 20
3.5.1. Fallas más comunes en cables 21
3.6. DIAGNÓSTICO DE CABLES ELÉCTRICOS SOTERRADOS DE MEDIA TENSIÓN 23
3.7. SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0 24
3.7.1. Equipos que conforman la Centrix 2.0 26
3.7.2. Principio de funcionamiento de las pruebas en cables soterrados de MT 28
3.7.3. Principio de funcionamiento de la prelocalización de fallas o avería en cables soterrados de MT 31
3.7.4. Principio de funcionamiento la localización exacta de averías en cables soterrados de MT 34
3.7.5. Tecnologías de Pre localización de fallas en el Sistema Megger Centrix 2.0 36
3.7.6 Prueba y diagnóstico de cables 39
3.8. MANTENIMIENTO EN CABLES SOTERRADOS DE MEDIA TENSIÓN 39

4. MATERIALES Y MÉTODOS 42
4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 42
4.2. MATERIALES E INSTRUMETOS 42
4.2.1. Normativas 42
4.2.2. Software 43
4.3. LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE 43
4.3.1. Procedimientos para la localización de fallas en redes soterradas de medio voltaje 44
4.3.2. Simulación de la pre localización de fallas en cables de media tensión 48
4.3.3. Simulación de la localización de fallas en cables de media tensión en Matlab – Simulink. 51
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 57
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE TDR 57
5.2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN PRECISO ACÚSTICA 63
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67
6.1. CONCLUSIONES 67
6.2. RECOMENDACIONES 68
7. BIBLIOGRAFÍA 69
8. ANEXOS 72
ANEXO A. Criterios de Seguridad antes de realizar las pruebas. 72
ANEXO B. Prueba #1 Trazado / Ruta 75
ANEXO C. Prueba #2 Identificación de la falla 86
ANEXO D. Prueba #3 Pre – localización de la falla 90
ANEXO E. Prueba #4 Localización Exacta de la falla 95
ANEXO F. Prueba #5 Identificación del tipo de cable 97
ANEXO G. Prueba #6 Reparación 98
ANEXO H. Dirección URL Manual del sistema Megger Centrix 2.0 100
MANUAL DE USUARIO 100
ANEXO I. Diseño del sistema propuesto en el software PSCAD 101
ANEXO J. Protocolo de Resultados 105
ANEXO K. Informe de mediciones realizadas en campo para redes soterradas de medio voltaje. 106
ANEXO L. Aplicación experimental de los procesos 107
ANEXO M. Simulación acústica 113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Estructura del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) [6]. 8
Figura 3. 2. Redes de distribución de acuerdo al tipo de carga. 9
Figura 3. 3. Redes de distribución según su ubicación geográfica. 9
Figura 3. 4. Redes de distribución según su construcción. 9
Figura 3. 5. Enlace aéreo – subterráneo [9]. 10
Figura 3. 6 Composición de cables aislados [11]. 11
Figura 3. 7. Conductor de siete hilos cableado Clase B [12]. 12
Figura 3. 8. (a) Cableado Comprimido, (b) Cableado Compacto [12]. 12
Figura 3. 9. Distribución del campo eléctrico con un blindaje semiconductor [12]. 13
Figura 3. 10. Cable para Media tensión con apantallamiento de cinta de cobre. 15
Figura 3. 11. Cable para media tensión con apantallamiento con neutro concéntrico. 16
Figura 3. 12. Cable para media tensión con elementos en contra de la penetración de humedad. 17
Figura 3. 13 Partes de un cable aislado de papel impregnado [14]. 17
Figura 3. 14 Partes de un cable aislado con polietileno reticulado (XLPE) [14]. 18
Figura 3. 15 Partes de un cable aislado con goma etileno propileno (EPR) [14]. 18
Figura 3. 16. Ejemplo de un tendido eléctrico fallado por causas térmicas [17]. 19
Figura 3. 17. Circuito equivalente de una falla de baja resistencia [21]. 22
Figura 3. 18. Circuito equivalente de una falla de alta resistencia [21]. 22
Figura 3. 19. Circuito equivalente de una falla intermitente [21]. 22
Figura 3. 20. Circuito equivalente de una falla debido a un cable cortado [21]. 23
Figura 3. 21 Van Megger Centrix 2.0 [25]. 25
Figura 3. 22. Equipo Megger MFM10 [26]. 26
Figura 3. 23. Equipo Megger TDM 45 [26]. 27
Figura 3. 24. Equipo Megger BPS5000-D [26]. 27
Figura 3. 25. Equipo Megger PDS 60 [27]. 28
Figura 3. 26 Teleflex VX- Reflectómetro [25]. 28
Figura 3. 27. Representación gráfica de la prueba VLF, entre el furgón y los cables [30]. 31
Figura 3. 28. Características de una onda viajera al alcanzar el punto de transición de dos líneas de diferente impedancia característica [32]. 32
Figura 3. 29. Método de Decaimiento [21]. 34
Figura 3. 30. Representación gráfica que muestra el flujo de retorno de señal a través del suelo [30]. 35
Figura 3. 31. Representación gráfica del acoplamiento de señal en el conductor interno [30]. 36
Figura 3. 32. Representación gráfica de la localización de fallas en la cubierta, entre el furgón y los cables [30]. 36
Figura 3. 33 Ejemplo de las curvas obtenidas mediante la tecnología [25]. 37
Figura 3. 34 Curvas obtenidas mediante la tecnología Multidisparo ARM [25]. 38
Figura 3. 35 Prueba y diagnóstico de cables del sistema Megger Centrix 2.0 [25]. 39

Figura 4. 1. Procedimientos para la localización de fallas en redes soterradas de medio voltaje in situ. 45
Figura 4. 2. Aplicación de TDR en cables de energía [38]. 46
Figura 4. 3. Logotipo del software PSCAD. 48
Figura 4. 4. Procedimientos para la simulación de la pre localización de fallas en PSCAD. 49
Figura 4. 5. Creación de un nuevo proyecto de simulación e interfaz de PSCAD. 49
Figura 4. 6. Creación de cable a través de tramos. 50

Figura 4. 7. Configuración de la señal externa y finalización del circuito de simulación..... 50
Figura 4. 8. Circuito final y reflectometría de la falla en el sistema. 51
Figura 4. 9. Logotipo del Software Matlab R2017a y la herramienta Simulink 52
Figura 4. 10. Modelado del cable con parámetros RLC mediante tramos. 52
Figura 4. 11. Generador de impulsos en modo repetitivo. 53
Figura 4. 12. Modelamiento del receptor de sonido..... 54
Figura 4. 13. Diagrama de bloques para la transformación a decibeles. 55
Figura 4. 14. Diseño de los bloques en Simulink con las fórmulas explicadas..... 55
Figura 4. 15. Diagrama de bloques del modelo en Simulink para la simulación de los transitorios electromagnéticos..... 55
Figura 4. 16. Diagrama de bloques en Simulink para la simulación de los fenómenos de estudio..... 56

Figura 5. 1. Circuito modelado en PSCAD..... 57
Figura 5. 2. Comparación de gráficas simulada y medida. 57
Figura 5. 3. Gráfica obtenida en campo con el Método ARM con 5kV**.** 58
Figura 5. 4. Gráfica obtenida en simulación con el Método ARM con 5kV..... 58
Figura 5. 5. Circuito modelado en PSCAD para el Método ARM..... 60
Figura 5. 6. Gráfica obtenida en campo con el Método ARM con 20kV. 61
Figura 5. 7. Gráfica obtenida en simulación con el Método ARM con 20kV..... 61
Figura 5. 8. Respuesta de corriente en la línea en un tramo antes de la falla. 64
Figura 5. 9. Respuesta de corriente en la línea, directamente sobre la falla..... 64
Figura 5. 10. Respuesta de corriente después de la falla. 65
Figura 5. 11. Valores de intensidad obtenidos mediante la simulación. 66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Clasificación de los tipos de aislantes en cables de media tensión. 14

Tabla 5. 1. Tabla de resultados con el porcentaje de error entre las medidas simuladas y de campo (pre localización) 63
Tabla 5. 2. Tabla de resultados con el porcentaje de error entre las medidas simuladas y de campo (localización acústica) 66

1. INFORMACION GENERAL

Título del Proyecto

"Determinación de procedimientos para la localización de fallas en redes eléctricas soterradas de medio voltaje utilizando el sistema Megger Centrix 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito".

Fecha de inicio:

Lunes 03 de mayo del 2021

Fecha de finalización:

Viernes 23 de julio del 2021

Lugar de ejecución:

Latacunga

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

Proyecto de investigación vinculado:

Estudio de Campos electromagnéticos en Sistemas Eléctricos de Potencia: Caso Provincia de Cotopaxi

Equipo de trabajo:

Tutor del proyecto de investigación:

Nombre:	Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
Celular:	0960184127
Cédula de Ciudadanía:	0502656424
Correo electrónico:	xavier.proano@utc.edu.ec

Coordinador del proyecto de investigación:

Nombre:	Kevin Giovanny Chancusig Chiliguano
Celular:	0995617264

Cédula de Ciudadanía: 172105993-7

Correo electrónico: kevin.chancusig9937@utc.edu.ec

Dirección: Cantón Quito, Provincia de Pichincha

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Explotación y diseño de Sistemas eléctricos de potencias.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

Mediante la aplicación del sistema Megger Centrix 2.0 se pretende la realización de pruebas en cables de media tensión soterrados y posterior a ello encontrar averías en los mismos, debido a que es una tecnología nueva se necesita el desarrollo de los procedimientos que faciliten la detección de la distancia de fallas en las redes eléctricas soterradas, abasteciendo con información acerca del lugar aproximado o cercano en el que los grupos de trabajo deberán intervenir y adoptar medidas en los sistemas de distribución de energía local.

Debido al crecimiento de algunos de los sistemas de distribución de energía eléctrica en el mundo, el problema de la descontinuidad en el servicio debido a fallas o averías, es de gran interés para los agentes del sector eléctrico y más aún cuando se trata de redes de distribución soterradas debido a que encontrar la distancia en la que se ha producido una falla se torna complicado y lleva mucho más tiempo por el mismo diseño que estas tienen, lo que las diferencia de las redes aéreas en las cuales se puede hacer una inspección visual y resolver el problema en menor tiempo.

En la actualidad la Empresa Eléctrica Quito está buscando mejorar sus índices de confiabilidad con la implementación de esta tecnología en sus grupos de trabajo, por lo que al hacerlo se pretende minimizar los tiempos de respuesta, los daños en aceras o calles y brindar un servicio de calidad a los usuarios.

2.1.2. Formulación del problema

La Empresa Eléctrica Quito necesita un protocolo de procedimientos que permita utilizar de manera adecuada el Sistema Megger Centrix 2.0, para realizar pruebas en los cables soterrados de media tensión detectando algún tipo de falla o avería y de esta forma establecer la necesidad de realizar algún tipo de mantenimiento.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330609 Transmisión y Distribución

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1 Beneficiarios directos

Personal de mantenimiento de redes soterradas de la empresa eléctrica Quito.

2.3.2 Beneficiarios indirectos

Usuarios que presenten fallas en sistemas soterrados.

2.4. JUSTIFICACIÓN

La rápida intervención sobre las fallas o averías en los cables de media tensión es de vital importancia para la empresas distribuidoras debido a que su confiabilidad será elevada y no tendrán ningún tipo problemas con los usuarios, es por ello que la Empresa Eléctrica Quito ha visto la necesidad de adquirir un nuevo sistema llamado Megger Centrix 2.0, sin embargo este al ser una nueva tecnología no cuenta con suficiente información sobre los procesos y métodos con los que opera, de esta manera se tiene por objetivo establecer los procedimientos necesarios para que se pueda realizar las pruebas en los cables y así poder detectar las averías a tiempo.

Con los procedimientos elaborados de acuerdo a cada una de las pruebas que se harán en los cables, se pretende que las revisiones que realiza la empresa eléctrica dejen de ser empíricas o de carácter visual, lo que mejorará el accionar del grupo de mantenimiento de las redes de media tensión soterradas y minimizara el tiempo de búsqueda y reparación de falla.

2.5. HIPÓTESIS

Mediante los procedimientos de operación que se constituyan para el Megger Centrix 2.0 se podrán realizar todas las pruebas necesarias para comprobar el estado de los cables que se encuentran bajo ensayo.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

Determinar los procesos de operación del equipo Megger Centrix 2.0 empleados en pruebas de cables soterrados de media tensión, diagnosticando su estado y funcionamiento con la finalidad de localizar el lugar en donde pueda ocurrir una falla o avería.

2.6.2 Objetivos Específicos

Recopilar información bibliográfica referente a pruebas en cables empleados en redes soterradas de media tensión.

Validar el funcionamiento del equipo mediante la simulación de los modelos de localización de fallas utilizando los parámetros indicados para el sistema Megger Centrix 2.0.

Elaborar una guía de procesos para la localización de fallas en cables soterrados de media tensión.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	Técnicas, Medios e Instrumentos
Objetivo 1. Recopilar información referente a la localización de fallas en redes soterradas de media tensión.	- Búsqueda en medios bibliográficos enfocados al tema de estudio. - Recopilación de los datos generales de los conductores que se pretendan analizar. - Búsqueda en medios bibliográficos acerca del sistema Megger Centrix.	- Marco teórico con las normativas relacionadas con las técnicas de identificación de distancias de fallas en sistemas soterrados. - Variables que inciden en las fallas o averías de los conductores.	- Normativas - Artículos de localización de fallas - Conferencias - Catalogo de conductores de media tensión del distribuidor CENTELSA.
Objetivo 2. Validar el funcionamiento del equipo mediante la simulación de los modelos de localización de fallas utilizando los	- Aplicación de software para la simulación de localización de fallas**.** - Elaboración de un análisis de los	-Modelos simulados para localización de fallas en sistemas soterrados. - Porcentaje de falla existente entre las simulaciones	- Manuales de técnicas de localización de fallas en redes soterradas pertenecientes a MEGGER.

parámetros indicados para el sistema Megger Centrix 2.0.	resultados al final de cada uno de los métodos simulados.	realizadas y las distancias planteadas.	- Software PSCAD y MATLAB (Simulink).
Objetivo 3. Elaborar una guía de procesos para la localización de fallas en cables soterrados de media tensión.	- Investigación de las normativas en las que se basa el sistema para aplicar las pruebas. - Revisión de todas las tecnologías que vienen determinados en el sistema Megger Centrix 2.0.	- Normativas en las que se basa el sistema Megger Centrix 2.0 - Guía de procedimientos para la localización de distancias de fallas en cables de redes de media tensión soterrados, con sus respectivos métodos.	- Manuales Centrix.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Los sistemas de distribución se han desarrollado históricamente utilizando parámetros de diseños de sistemas relativamente estables, sin embargo, debido al avance social y cultural que se ha ido dando, en la actualidad las empresas suministradoras se han inclinado a instalar sistemas de distribución subterránea [1], el inconveniente que existe es que los precios de instalación suelen ser elevados en comparación con los sistemas aéreos, aunque los usuarios son los que se ven beneficiados por la confiabilidad que brinda este sistema [2].

Sin embargo, desde la implementación de este tipo de sistemas no todo ha sido excelente, debido a que los cables no están a simple vista y realizar las excavaciones del trayecto afectado puede resultar muy complicado por una serie de factores como por ejemplo afectaciones viales, peatonales, la reconstrucción de los lugares donde se reparó el sistema, etc. [3], debido a ello

las empresas distribuidoras han buscado soluciones para este tipo de problemas mediante el testeo con dispositivos especiales (Megger) y sobre todo dispositivos fabricados precariamente.

En la actualidad no es un problema solucionar fallas en cables subterráneos, más allá de eso la tendencia mundial tiene por objeto la anticipación temprana de un siniestro eléctrico, mediante la aplicación de técnicas de diagnóstico, medición de las descargas parciales, ensayos de tensión resistida a muy baja frecuencia (*VLF- Very Low Frequency*), junto con la recopilación de diversos estudios que contengan muestras de soluciones a las averías presentadas, entre los métodos más avanzados se encuentran de igual manera la aplicación de Rayos X y microscopía digital 3D, todo esto servirá para brindar información suficiente antes de algún tipo de fallo [4].

3.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) tiene como función la de abastecer a todos los usuarios con energía eléctrica tan económicamente como sea posible, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiablidad, de manera general se puede clasificar en cuatro partes: Generación, transformación, transmisión y distribución. En la presente investigación será únicamente estudiada la distribución, la cual está constituida por las estructuras, conductores, aisladores, equipos, entre otros que son destinados a unir eléctricamente a las fuentes de energía y a los usuarios a través de las redes de distribuciones, claramente antes deberán bajar su nivel de tensión en subestaciones eléctricas [5].

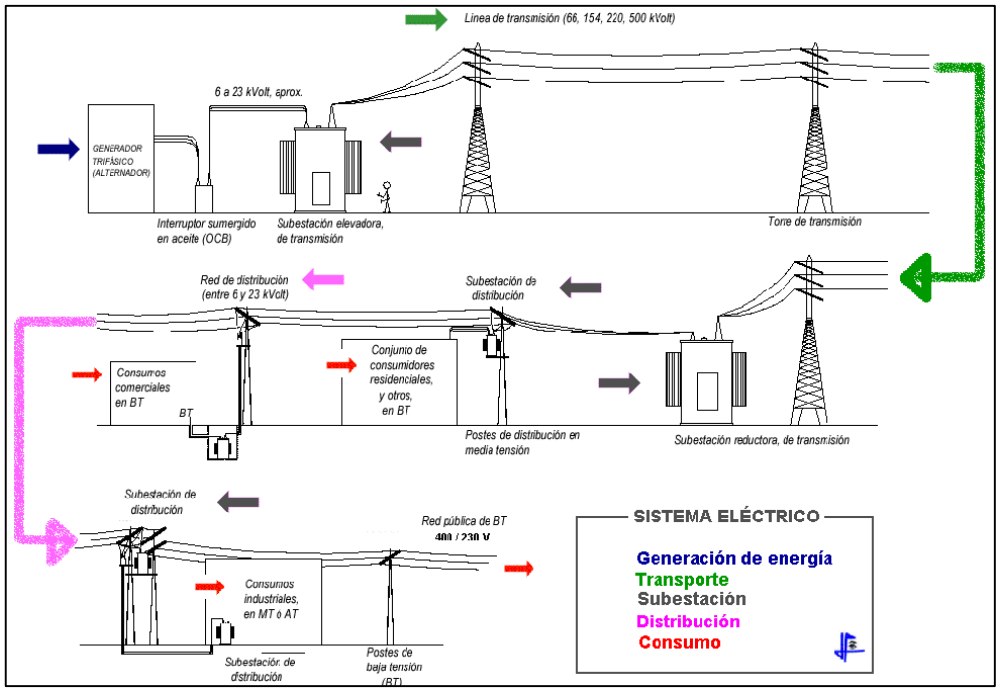


Figura 3. 1. Estructura del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) *[6]*.

Las redes de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia debido a que la mayor parte de la energía que se genera se tiene que distribuir a los usuarios que se encuentran dispersos a grandes distancias [7]. Por lo que su efectividad suele medirse en algunos términos como por ejemplo la regulación de voltaje, continuidad del servicio, eficiencia, flexibilidad y costos. El costo de las redes de distribución entonces se representa en aproximadamente el 50% del costo del sistema eléctrico en su conjunto, por lo que las redes de distribución tienen por objetivo realizar buenos diseños en cuanto a la construcción, operación y mantenimiento [8].

3.2.1. Clasificación de las redes de distribución

Entre los tipos de redes de distribución se encuentran las siguientes:

- Redes de distribución de acuerdo con el tipo de carga

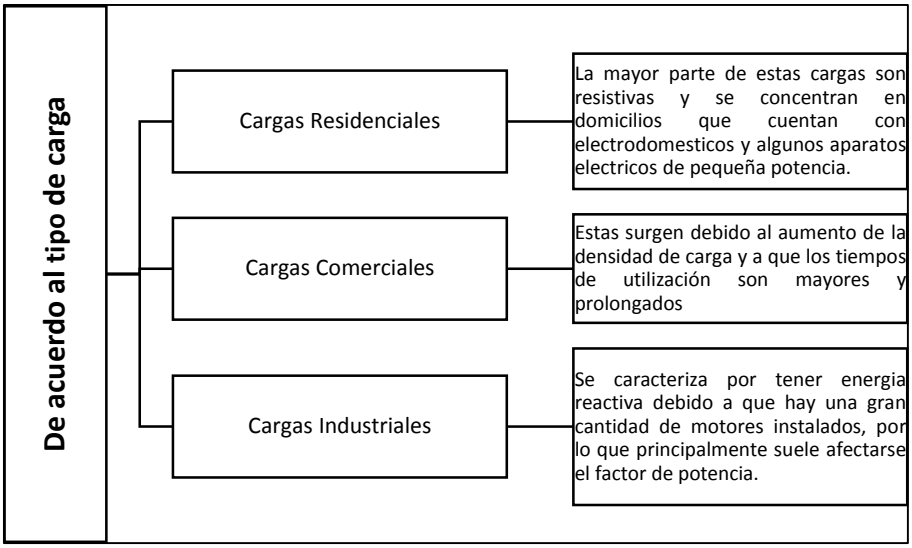


Figura 3. 2. Redes de distribución de acuerdo al tipo de carga.

- Redes de distribución de acuerdo con su ubicación geográfica

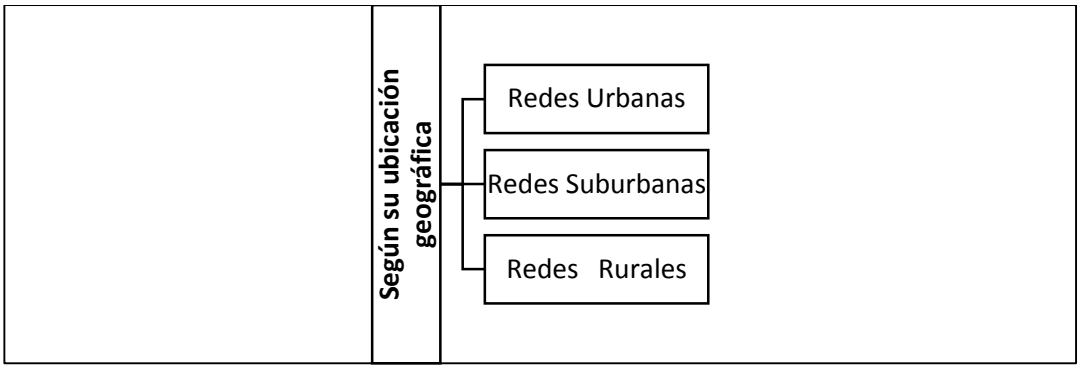


Figura 3. 3. Redes de distribución según su ubicación geográfica.

- Redes de distribución según su construcción

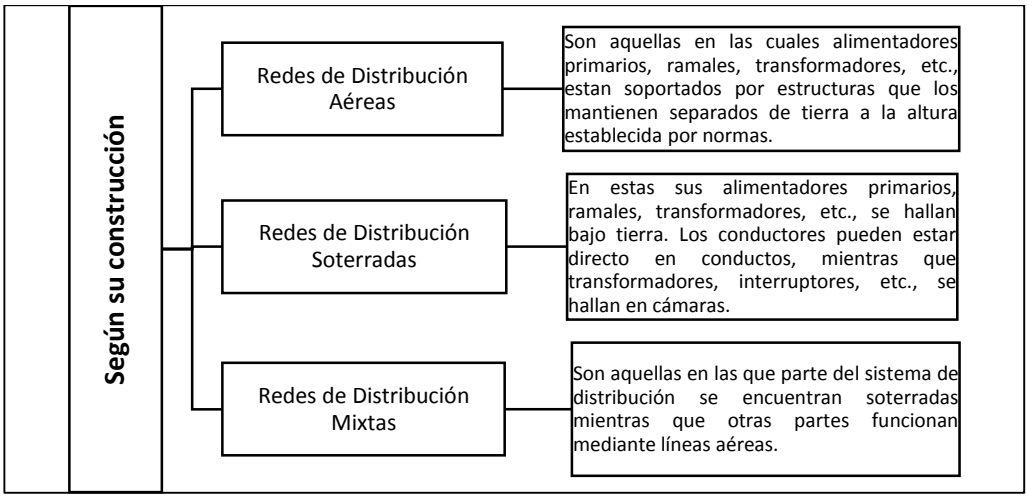


Figura 3. 4. Redes de distribución según su construcción.

3.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN SOTERRADAS

Las redes eléctricas soterradas en distribución se han constituido como una necesidad en la actualidad, debido a una gran cantidad de factores como por ejemplo el impacto visual que estas redes generan sobre un paisaje o entorno, tomando en cuenta también que al estar soterradas sus instalaciones se encuentran más protegidas de cualquier tipo de daño ocasionado por la propia naturaleza o por acciones del ser humano. Desde el punto de vista técnico, la distribución subterránea implica un sistema de distribución más complejo que el aéreo, con otro tipo de requerimientos de materiales y personal, e implica otro tipo de obras sobre las áreas urbanas como se puede apreciar en la Figura 5. Estos elementos varían en número y ubicación, en relación al tipo de redes y los servicios que se deba entregar [9].



Figura 3. 5. Enlace aéreo – subterráneo *[9]*.

Donde:

1: Enlace aéreo – Subterráneo.
2: Gabinete de inspección de la sección, en donde se realizan labores de mantenimiento, revisión e inspección de las conexiones perteneciente a la red.
3: Cabina de fibra óptica.
4: Gabinete de interconexión.
5: Cámara subterránea.

Este tipo de redes suelen ser utilizadas por los departamentos de planificación en los centros de las ciudades por la razón de urbanismo, contaminación visual, seguridad para el personal que maneja el sistema y especialmente para los usuarios que forman parte de él, se hace indispensable entonces realizar este tipo de instalaciones debido al alto índice de confiabilidad

que presenta, aunque al inicio su costo es alto en comparación con redes convencionales, a largo plazo presenta una rentabilidad mayor ya que su tiempo de vida útil es igualmente mayor [10].

3.4. CABLES UTILIZADOS EN REDES SOTERRADAS DE MEDIA TENSIÓN

Las características de este tipo de conductores son especiales, debido a que tienen que aislar la corriente que circula por el conductor del terreno y confinar el campo electromagnético que el conductor crea, en su composición básicamente se distinguen tres elementos [11].

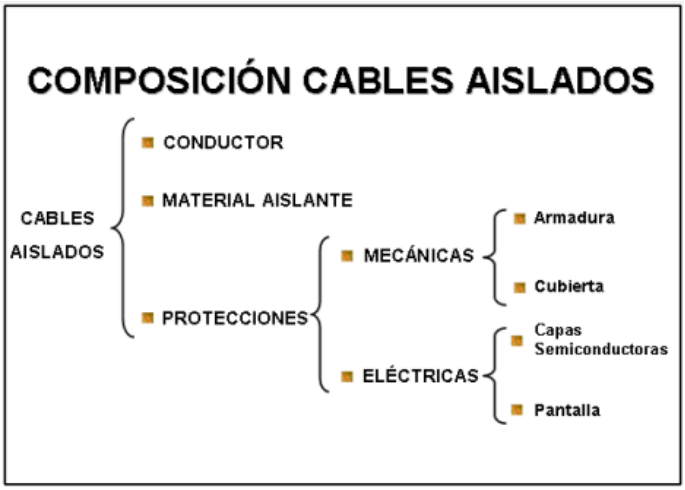


Figura 3. 6 Composición de cables aislados [11].

3.4.1. Elementos que componen los cables de media tensión

3.4.1.1. Conductor

El conductor cumple la función de transportar la energía eléctrica, esto puede realizarlo un cable o un conjunto de cables, usualmente el material más utilizado para este fin es el cobre sin embargo en ciertas condiciones se usa el aluminio.

Cuando se menciona el cableado de un conductor este hace referencia al número de hilos que este tiene, los mismo tendrán relación directa con el calibre y los parámetros técnicos que se necesite, por ejemplo la clase de cableado B es frecuentemente aplicada como estándar en cables de media tensión, en la Figura 3.7 se muestra un conductor calibre 2 AWG constituido por 7 hilos [12].

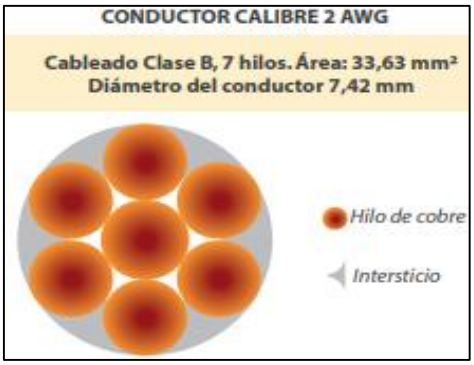


Figura 3. 7. Conductor de siete hilos cableado Clase B *[12]*.

Es importante mencionar también que según las normas de fabricación ASTM y NTC existen dos tipos de cableados en conductores los cuales son comprimidos y compactos, pero de donde surgen estos, como se aprecia en la Figura 3.7. el cableado de un conductor está constituido por los hilos de cobre y los espacios libres que quedan entre los mismos llamados (intersticios).

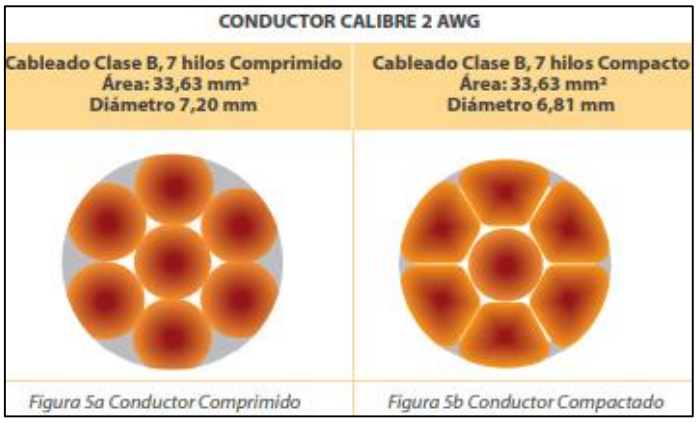


Figura 3. 8. (a) Cableado Comprimido, (b) Cableado Compacto *[12]*.

Como se observa en la Figura 3.8.a el cableado comprimido conserva el área del conductor reduciendo el diámetro final hasta en un 97%, mientras que en la Figura 3.8.b el cableado compacto conserva el área del conductor reduciendo el diámetro final hasta en un 93%, todo este proceso se debe a que la unión de los hilos suelen ser helicoidal por lo que tanto la posición como la forma de los hilos pertenecientes al cableado del conductor pueden ser controlados con la finalidad de reducir los intersticios [12]. Finalmente para poder seleccionar el conductor adecuado se debe tener en cuenta la capacidad de corriente a la cual puede operar, así como también la corriente de cortocircuito debido a que estará asociada directamente con la temperatura que podrá soportar el conductor cuando sea sometido a esfuerzos.

3.4.1.2. Elementos de la triple extrusión

Los cables de media tensión para que puedan operar correctamente tienen una cierta composición ordenada que hace su vida útil mucho más prolongada, por lo cual el aislamiento es uno de los que cumplen un papel fundamental en el desempeño del cable, se puede decir entonces que con el avance tecnológico que se ha dado con los materiales aislantes en la actualidad se ofrecen algunos con mayor resistencia a la temperatura, lo que es excelente para poder incrementar la capacidad de transporte de energía.

La extrusión es la aplicación del aislamiento sobre el conductor, la mayor parte de fabricantes de cables colocan al mismo tiempo el aislamiento, el blindaje del conductor y el blindaje del aislamiento de manera que se formaran tres capas concéntricas en el siguiente orden:

- Blindaje del conductor o Pantalla semiconductora.
- Aislamiento.
- Blindaje de aislamiento o Pantalla semiconductora.

Por lo que el proceso es conocido como triple extrusión de esta forma también se asegura la pureza de los materiales y el contacto entre capas.

En el blindaje del conductor se encuentra en contacto con el conductor, esta capa está formada por un material termoestable el cual es el encargado de cubrir al conductor cableado ingresando en los intersticios entre los hilos de la capa exterior del conductor para poder obtener la forma circular del mismo.

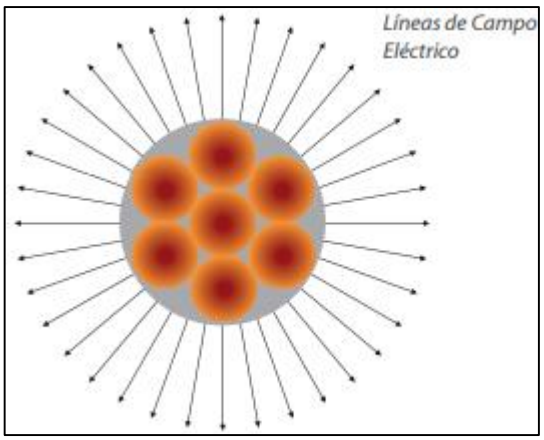


Figura 3. 9. Distribución del campo eléctrico con un blindaje semiconductor *[12]*.

Esta primera capa también se encarga de que el campo eléctrico sea radial desde su superficie, para poder evitar concentraciones puntuales del campo como se observa en la Figura 3.9., si no se utilizar esta capa y se colocara el aislante directamente sobre el conductor sufriría los efectos del elevado campo eléctrico en los intersticios lo que disminuiría la capacidad de aislamiento del material que se coloque [12].

3.4.1.3. Aislamiento

Existen numerosos materiales aislantes que se utilizan en los cables de redes subterráneas, estos van a depender del nivel de tensión a la cual serán sometidos, como también de acuerdo a sus características, químicas y económicas, el aislamiento es colocado sobre el conductor con el objeto de evitar fugar de corriente, además que debido a ciertas condiciones ambientales, climáticas, derrames, falta de cuidado de las redes eléctricas son causas principales para que la vida útil del cable se minimice [13].

Los aislamientos se puede clasificar en dos grandes grupos como:

Tabla 3. 1. Clasificación de los tipos de aislantes en cables de media tensión.

Tipo	Material	Características
Termoplásticos (se funden con el calor)	Policloruro de vinilo (PVC)	Es capaz de soportar las peores condiciones como por ejemplo: cambio de temperatura, humedad, etc.
	Polietileno (PE)	Se caracteriza por no resistir temperaturas elevadas y por funcionar correctamente a temperatura ambiente.
	Poliolefina	Proporciona resistencia a la abrasión y protección ambiental.
Termoestables (no se funden con el calor)	Polietileno reticulado (XLPE)	Presenta mejores características eléctricas y térmicas que el PVC, como por ejemplo si aumenta la temperatura sus características no van a cambiar.
	Etileno Propileno (EPR)	Sus características mecánicas son más flexibles y pueden llegar a trabajar normalmente en temperaturas de hasta 90°.
	Etileno – Propileno de alto módulo	Sus características mecánicas son más robustas y permite aislar el cable con menores espesores.

	Goma natural o sintética (SBR)	Se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica.
	Goma de silicona	Sus propiedades brindan un alto aislamiento cuando de empalmes se trata ya que no se funden ante el incremento de calor.

3.4.1.4. Apantallamiento

El apantallamiento es un elemento metálico que no presenta magnetismo y que se lo coloca sobre el blindaje de aislamiento, con la finalidad de permitir todo el proceso de puesta a tierra. Otra de las utilidades que se le da es que si se quiere conectar el neutro se puede agregar área de cobre y de esa forma la pantalla servirá como un conductor neutro.

El elemento metálico está elaborado de cobre y se puede presentar tres configuraciones:

Pantalla en cinta de cobre

Este tipo de apantallamiento contiene una cinta de cobre que se la ubica de forma helicoidal sobre el blindaje del aislamiento cubriéndolo completamente o en forma parcial.

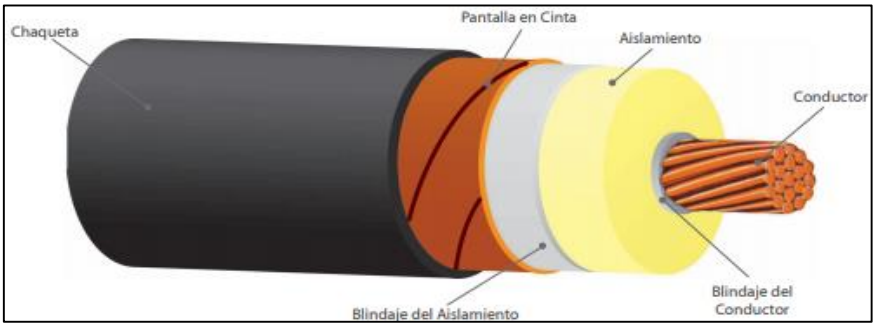


Figura 3. 10. Cable para Media tensión con apantallamiento de cinta de cobre.

Pantalla en hilos de cobre

En este apantallamiento se utiliza una cantidad de hilos de cobre que estarán distribuidos uniformemente sobre el blindaje del aislamiento, de esta manera el conjunto total de hilos debe ser mayor a una área requerida en las normas de fabricación, es por ello que dependiendo del perímetro del cable aislado se ubicaran la cantidad de hilos como pantalla.

Pantalla – Neutro Concéntrico

En este apantallamiento se tiene como característica que los hilos de cobre que funcionan como blindaje también actuaran como el neutro del sistema, dependiendo de la configuración eléctrica que tendrá existen distintas alternativas para el neutro concéntrico, el que más se ha utilizado en las instalaciones ha sido le neutro concéntrico al 33%, es decir, los hilos de la pantalla suman un área equivalente a 1/3 del área del conductor de fase.

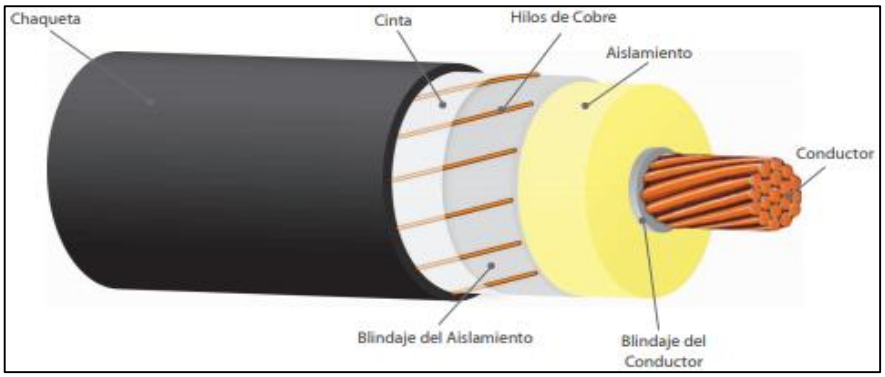


Figura 3. 11. Cable para media tensión con apantallamiento con neutro concéntrico.

3.4.1.5. Chaqueta

La chaqueta es el elemento que recubre todo el cable y que queda expuesto a la intemperie, es por eso que debe cumplir con las siguientes características:

- Resistencia a la humedad.
- Comportamiento frente a la llama.
- Resistencia a los rayos UV
- Resistencia al impacto y abrasión.
- Resistencia a los hidrocarburos.

3.4.1.6. Bloqueo contra la humedad (elemento adicional)

Algunos de los elementos antihumedad son elementos adicionales con los cuales se elaboran los cables y obviamente su objetivo es evitar que la humedad cale al interior del cable, esta protección puede darse tanto para la migración longitudinal o penetración radial de la humedad.

Relleno contra la migración Longitudinal. - Este tipo de barrera o relleno del conductor no es más que un compuesto que se aplica en los intersticios internos del conductor para impedir que se pueda formar humedad. La barrera contra la migración radial, se realiza mediante cintas

con impregnación de elementos expandibles al momento de encontrarse con humedad, se lo puede aplicar sobre el blindaje del aislamiento, apantallamiento o en ambos.

Penetración radial de humedad. – Esta consiste en la aplicación de una cinta de aluminio con recubrimiento de polímero en las dos caras de forma longitudinal sobre la pantalla y ubicación de una chaqueta de polietileno que ayuda al bloquear la penetración de la humedad de forma radial.

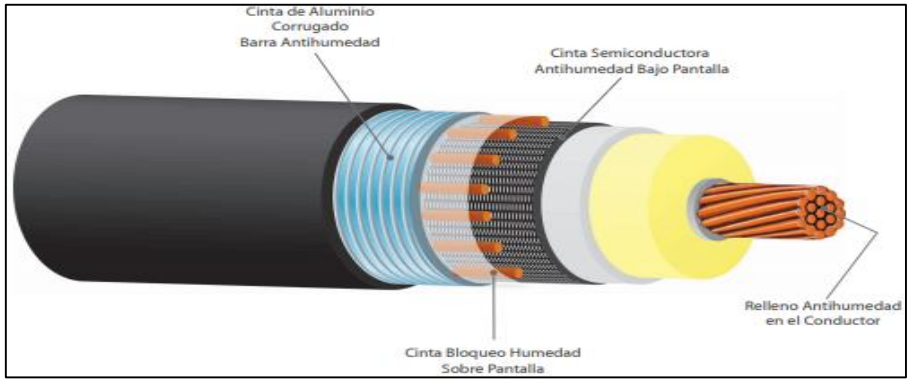


Figura 3. 12. Cable para media tensión con elementos en contra de la penetración de humedad.

De forma general se puede clasificar al conductor por el tipo de aislante que posee, pudiendo ser:

3.4.2. Cables aislados de papel impregnado con mezcla no migrante

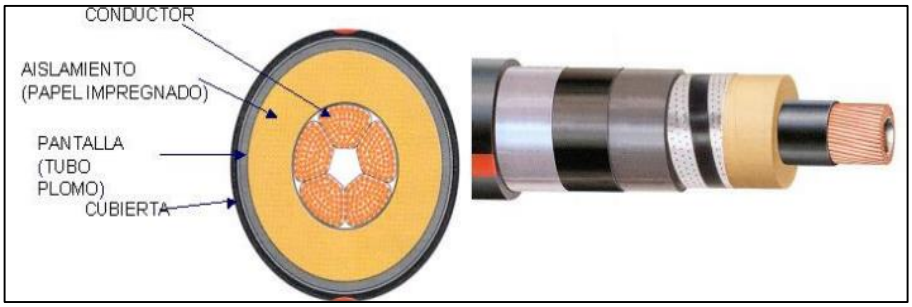


Figura 3. 13 Partes de un cable aislado de papel impregnado *[14]*.

Es uno de los conductores más antiguos en cuanto a su uso para transporte y distribución en alta y media tensión, debido a sus inmejorables propiedades eléctricas en la actualidad se siguen utilizando en diversas aplicaciones, siendo casi indispensables en el transporte de energía de muy alta tensión. Para distribución hasta 66kV se suele utilizar mezclas con impregnado de alta viscosidad, siendo recomendado este tipo de aislamiento en aplicaciones de redes donde se

necesite alta seguridad, normalmente los conductores de este tipo de cables son de cobre recocido o aluminio de cuerda compacta [15].

3.4.3. Cables aislados con polietileno reticulado

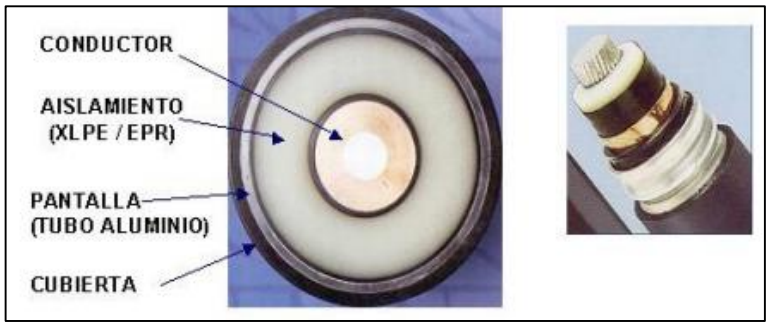


Figura 3. 14 Partes de un cable aislado con polietileno reticulado (XLPE) *[14]*.

El polietileno reticulado parte de un polietileno termoplástico que es vulcanizado o reticulado mediante el empleo de agentes químicos y/o físicos tales como presión, temperatura y vapor, reordenando de este modo las cadenas moleculares del polietileno termoplástico y obteniendo finalmente un polietileno reticulado con cadenas moleculares entrelazadas. En este tipo de material se logra conservar las excelentes propiedades eléctricas que se evidencian en el polietileno termoplástico tales como: alta resistencia dieléctrica y de aislación, baja constate dieléctrica, bajo factor de perdida y resistencia aumentada a la humedad [16].

3.4.4. Cables aislados con goma de etileno – propileno (EPR)

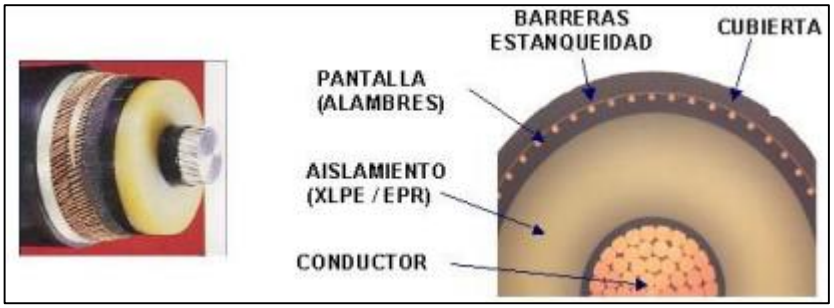


Figura 3. 15 Partes de un cable aislado con goma etileno propileno (EPR) *[14]*.

El desarrollo de este material fue posterior al XLPE y, manteniendo las ventajas de la termo estabilidad del anterior, aportó una mayor resistencia a la humedad hasta el punto de que se emplea en la fabricación de cables submarinos, se trata de un material que resiste perfectamente

la acción de la humedad, y además posee la estructura de una goma por lo que es idóneo para instalaciones subterráneas en suelos húmedos, instalaciones en las que el recorrido es muy sinuoso o donde se prevea un próximo cambio de recorrido [11].

3.5. Factores de degradación de cables aislados en Media Tensión

La mayor parte de fallas en cables aislados suelen presentarse debido a que el estrés eléctrico local será mayor que la rigidez dieléctrica local del material aislante, el cual puede estar al interior o puede ser de alguno de los elementos que componen el cable, ya que con el tiempo este aislamiento envejece debido a diversos factores de degradación que se explica a continuación [17]:

- Estrés Térmico.- El estrés térmico se presenta debido al aumento de la temperatura, esto se puede dar debido a malos dimensionamientos y al trabajo del cable con corrientes elevadas durante mucho tiempo. Esto dependerá igualmente del tipo de aislamiento que contenga por ejemplo los cables con aislamiento seco pueden operar con un límite térmico más flexible en caso de sobrecargas o cortocircuito.



Figura 3. 16. Ejemplo de un tendido eléctrico fallado por causas térmicas *[17]*.

- Estrés Eléctrico.- Las razones por las cuales se puede presentar este tipo de estrés están directamente relacionadas con los defectos de fábrica, como por ejemplo la presencia de algunos contaminantes, mala ubicación de capas semiconductores, entre otras.
- Arborescencias de agua.- La causa principal de envejecimiento del aislamiento y subsecuentes fallas en el caso de cables extruidos son las árborescencias de agua, los cuales representan un verdadero cáncer para aislamientos XLPE y EPR. Este tipo de defecto crece y madura debido a un proceso de electroforesis en los cables extruidos. Cuando se desarrolla la arborescencia, se forman canales electro-oxidados de muy poco diámetro que siguen la dirección del campo eléctrico y tratan de puentear el aislamiento.
- Químicos. – Debido a la presencia de agentes químicos como hidrocarburos, aceites, fertilizantes o incluso agua, llevan a que el aislamiento pierda sus propiedades y

comience a deformarse la homogeneidad de la sección del cable, este tipo de degradación suele darse debido a que los fabricantes no tienen un ambiente adecuado al momento de ensamblar el cable por lo que en el funcionamiento puede presentarse una degradación lenta pero que con el tiempo puede representar un problema. [17].

- Corrosión de la pantalla metálica. – Es ocasionada debido al ingreso de humedad por medio de la chaqueta.
- Estrés Eléctrico en terminales. – Al igual que el estrés eléctrico, cuando se hace referencia a los terminales suele tener las mismas características ya que en la fabricación no se tiene cuidado de las condiciones medioambientales para poder evitar el ingreso de humedad o ciertos contaminantes, este estrés es observado claramente en empalmes y en derivaciones que contiene el sistema [17].

3.5. LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SOTERRADOS

Por muchos años, la meta en el tema de la localización de fallas en cables, ha sido lograr un método de medición con el cual puedan ser resueltas todo tipo de fallas. Antiguamente hasta 1950 países industrializados y hasta 1960 en subdesarrollados, la localización de fallas se realizaba por métodos clásicos, puentes de medición, transformadores en llamas o dispositivos precarios construidos para emergencias, por lo que ubicar fallas tomaba horas, días, e incluso así no se lograban resultados positivos [18].

En la actualidad, se han desarrollado herramientas, equipos y métodos hasta el punto que la prueba de cables y la localización de fallas es una especialidad, principalmente dentro de las empresas de distribución eléctrica, con el fin de obtener resultados satisfactorios. El requisito básico es que, el método utilizado para determinar la ubicación de la falla no debe provocar nuevas fallas o alterar el aislamiento del cable cuando este se someta a las respectivas pruebas [19].

Generalmente la utilización de cables subterráneos es muy poco común en el Ecuador, sin embargo, en las capitales de distintas provincias o en las llamadas grandes ciudades su uso se vuelve indispensable y prácticamente las redes de distribución subterráneas cubren todos espacios, no obstante, las ventajas que esta tiene en cuanto a limpieza visual (no se ven postes, cables colgados, etc.) se ve mermada cuando ocurre una falla en algún punto de la red debido a que ubicar dicha falla se transforma en un trabajo complicado.

La búsqueda de la falla puede llevar a realizar excavaciones en todo el trayecto afectado por lo que resulta complicado y además se perjudica el tránsito de personas o medios de transporte que circulen por el lugar, sin mencionar de los perjuicios que pueden ocasionar a personas o negocios que se verán privados del suministro normal de la energía por lo que la empresa distribuidora podría verse en la necesidad de pagar multas debido a la mala calidad del servicio. Por tanto, debe existir un método ordenado que permita detectar el punto de avería o al menos acercarse a él para que se pueda iniciar las reparaciones de forma inmediata y sin manipular un gran espacio.

Entre los tipos de fallas que pueden ocurrir, las intermitentes y las de alta resistencia (que, por otro lado, son más comunes) todavía se consideran muy difíciles de localizar y muchas veces insolubles al quemarlas o acondicionarlas. Y este concepto más bien generalizado se basa no en la falta de medios tecnológicos para solucionarlos, sino en las características del método de Reflectometría de alta energía utilizado, que requiere un análisis exhaustivo de los resultados frente a la reflectometría convencional que está muy generalizada y brinda una interpretación más completa.

3.5.1. Fallas más comunes en cables

Las fallas de los cables se deben principalmente a la humedad en el aislamiento de papel de los cables. Como resultado, la cubierta del cable que protege el cable puede dañarse. La vaina de plomo se puede dañar de muchas formas. La mayoría de estos son la acción química del suelo sobre el plomo durante el entierro, daños mecánicos y cristalización del plomo debido a la vibración [20].

A continuación, se menciona las fallas más comunes que se encuentran en cables subterráneos:

- **Falla de baja resistencia.-** El cable bajo ensayo presenta continuidad entre sus extremos, es decir, que las resistencia serie R1=0, la resistencia de falla a tierra (R2), es muy inferior a la resistencia de aislación (Ra) de un cable en buenas condiciones [21].

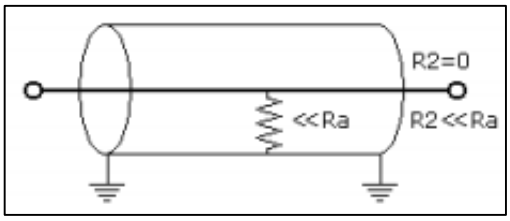


Figura 3. 17. Circuito equivalente de una falla de baja resistencia *[21]*.

- **Falla de alta resistencia.-** Un cable con continuidad entre sus extremos (R1=0), la tensión de cebado de la falla a tierra, es mayor que la tensión continua de ensayo, lo que implica que al aplicar al cable la tensión (Ve) no se producirán descargas disruptivas en la falla, pero la corriente medida de perdida (Ip), toma valores que indican que la resistencia de la falla a tierra (R2), es menor que la resistencia de aislación (Ra) [21].

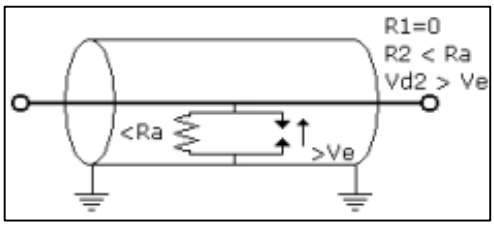


Figura 3. 18. Circuito equivalente de una falla de alta resistencia *[21]*.

- **Falla Intermitente. –** Estos tipos de falla, también son conocidos como tipo flash, el cable presenta continuidad entre sus extremos (R1=0), al someterse al cable a la tensión de ensayo (Ve), la corriente de perdidas medidas (Ip), es pequeña, lo que hace que R2=Ra. Pero a un tiempo (t1), menor que el tiempo de ensayo (te) mínimo exigido por la norma, se producen descargas en la zona de falla, que hacen que aumente bruscamente (Ip), y caiga (Ve) [21].

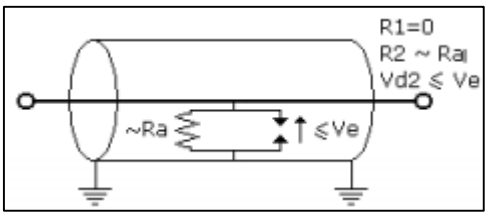


Figura 3. 19. Circuito equivalente de una falla intermitente *[21]*.

- **Cable Cortado.-** Esta falla se caracteriza por la falta de continuidad entre los extremos del conductor a ensayar, es decir, que R1=Ra. La resistencia de falla a tierra (R2), es mayor que la resistencia de aislación (Ra), y tanto Vd1 como Vd2, son mayores que la tensión de ensayo [21].

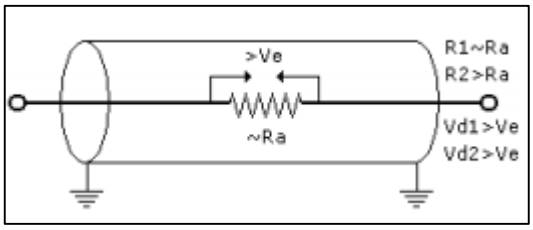


Figura 3. 20. Circuito equivalente de una falla debido a un cable cortado *[21]*.

- **Cortocircuito o falla cruzada**

  Este tipo de falla ocurre cuando se daña el aislamiento entre dos cables o entre dos cables de varios núcleos. En tales casos, la corriente no fluirá a través del núcleo principal que está conectado a la carga, sino que fluirá directamente de un cable a otro o de un núcleo o cable de múltiples núcleos a otro de manera que la carga provocará un cortocircuito [22].

- **Fallas a tierra**

  Este tipo de falla ocurre cuando el aislamiento del cable está dañado. La corriente que fluye a través del cable defectuoso comienza a circular desde el núcleo del cable de tierra o la funda (protector del cable) del cable. Entonces, la corriente no fluye a través de la carga [23].

3.6. DIAGNÓSTICO DE CABLES ELÉCTRICOS SOTERRADOS DE MEDIA TENSIÓN

La implementación de métodos nuevos para el diagnóstico de cables, permiten controlar desde el momento en que se los adquiere, el tipo de daño que podría sufrir a futuro cuando sea parte de una instalación, y analizar parte por parte el estado de degradación que ha sufrido con el tiempo [24]. El objetivo en el que se centra el diagnóstico y ensayo de cables es en elevar los índices de confiabilidad de la red, a través de la identificación preventiva de algún tipo de fallo o avería que podría dar lugar a un daño considerable, lo que beneficiaría en aspectos económicos ya que corregir los defectos de forma temprana resultaría mucho mejor que cuando el daño se extienda progresivamente.

Un programa de diagnóstico de cables para que sea exitosos debería cumplir al menos lo siguientes aspectos:

a) Plantear el objetivo del programa de diagnóstico, en el cual se plantee evaluar la confiabilidad de cada uno de los circuitos pertenecientes a la red, o si es el caso dar importancia a la sustitución de los cables como parte de la actualización del sistema.
b) Identificar el tipo de cable que estarán bajo ensayo, esto incluirá el material aislante que contiene (EPR, XLPE, PILC, etc.).
c) Determinar los métodos que se deben utilizar para el diagnóstico de cables.
d) Elegir los equipos adecuados tomando en cuenta el método que se usara y el tipo de aislamiento del cable.

Algunos de los equipos que se usan para el diagnóstico de cables son los siguientes:

- DAC-M28/DAC-M60
- HV 150 – HV 250
- Tan Delta SebaKMT
- Centrix 1 / Centrix 3
- Centrix 2.0

Cabe recalcar que algunos de los equipos de diagnóstico como la Centrix 1 – Centrix 2.0 y la Centrix 3 no solamente realizan un diagnostico en los cables soterrados de media tensión, sino que también en caso de que se presenten fallas o averías estos pueden determinar el lugar en donde ha ocurrido y de esta manera poder intervenir según corresponda.

3.7. SISTEMA MEGGER CENTRIX 2.0

Un sistema puede ser definido como un conjunto de elementos, partes, dispositivos que al trabajar entre si funcionan como un todo, y el sistema Megger Centrix 2.0 no es la excepción debido a que al estar compuesto por una serie de dispositivos con diferentes técnicas de ensayo, diagnóstico y localización de averías en cables facilitando las pruebas de los mismos en situaciones de recepción, instalación y mantenimiento.



Figura 3. 21 Van Megger Centrix 2.0 *[25]*.

Este sistema contempla las llamadas pruebas de campo, que son aquellas establecidas por la IEEE Std 400-2001 y que para una mejor comprensión se las divide en dos categorías.

Categoría 1. Ensayos de tensión resistida

Este tipo de ensayos se los realiza con el objetivo de definir si el cable "pasa/ no pasa", sin la necesidad de establecer algún tipo de explicación, de esta forma durante la realización de la prueba se aplican sobrevoltajes definidos por normas para saber si el cable resiste o no, como analogía se puede plantear que al lanzar un vaso de cristal al suelo este tiene dos opciones romperse o resistir, y se podrá interpretar que el vaso es resistente o no sin importar su estado de deterioro interno [24]. En esta categoría existen 4 tipos de ensayos:

- *Very Low Frequency* (VLF)
- Ondas oscilatorias (OWTS)
- Frecuencia Industrial
- Corriente continua (CC-DC)

Categoría 2. Ensayos de diagnostico

En este ensayo se busca predecir o evaluar el estado de un cable, es decir, se mide la calidad de aislamiento y el grado de deterioro en el que se encuentra de esta manera se diferencian con la categoría 1 ya que no dan respuestas cerradas si no que cuantifican los valores para conocer cantidades exactas [24]. En esta categoría existen 2 tipos de ensayos:

- Descargas parciales

- Factor de Disipación (tangente delta)

Al igual que la categoría 1 aquí también se requerirá aplicar tensiones de prueba, lo que podrá llevar a una ruptura de aislación para encontrar la avería, es importante mencionar que cualquiera de los ensayos que se realicen se revolverán por si solos, de tal manera que siempre se necesitara de la interpretación del usuario que esté realizando las pruebas.

3.7.1. Equipos que conforman la Centrix 2.0

El Centrix en la actualidad es el sistema de localización de fallas en cables de media y alta tensión más eficiente, presentando un funcionamiento amigable con el usuario ya que a través de su unidad de control central se puede acceder y desplazarse por medio de su menú de funciones fácilmente, así también la misma se encarga de almacenar y registrar los resultados de las mediciones automáticamente.

De esta forma, a continuación se menciona algunos de los equipos que pertenecientes al Centrix 2.0:



Figura 3. 22. Equipo Megger MFM10 *[26]*.

Equipo MFM10.- Mediante una fácil operación de menús del MFM 10 se realiza el ensayo, prelocalización y localización de fugas en la cubierta de los cables de forma simple y segura. La medición la realiza automáticamente una vez que se preparen las condiciones necesarias y de esa forma el ensayo será fácil, rápido y sobre todo los resultados obtenidos serán fiables [26].



Figura 3. 23. Equipo Megger TDM 45 *[26]*.

Equipo TDM 45. - Es un equipo especializado en pruebas y diagnósticos de cables de media tensión, que permite evaluar el revestimiento de un cable, realizar pruebas de VLF, medición de la tangente delta y el diagnóstico de descargas parciales utilizando voltajes de tecnología de onda sinusoidal en tiempo real. La idea de tener al equipo en formar modular es con el objetivo de que el ingeniero sea capaz de configurar el equipo en función del tipo de trabajo que vaya a ejecutarse [26].



Figura 3. 24. Equipo Megger BPS5000-D *[26]*.

Equipo de Quemado (BPS5000-D).- Este equipo fue diseñado para que el usuario/ técnico pueda observar al instante la formación del arco del defecto durante el quemado, esto con el objetivo de buscar averías difíciles como por ejemplo cables con empalmes de aceite, el control digital que contiene permitirá una operación fácil para poder realizar el quemado y acondicionar las averías en cables que difíciles de localizar [26].



Figura 3. 25. Equipo Megger PDS 60 *[27]*.

Equipo PDS 60.- Este equipo se caracteriza por mostrar claramente los datos medidos y el mapeo de la prueba de descargas parciales, de igual la calibración es automática por lo que se puede llevar acabo los ensayos según la velocidad de propagación o la longitud del cable, es ideal para trabajar al mismo tiempo con equipos VLF por ejemplo el TDM 45 [27].



Figura 3. 26 Teleflex VX- Reflectómetro [25].

Equipo Teleflex VX – Reflectómetro.- Mediante este dispositivo se puede localizar fallas en cables de energía, utilizando diversos métodos de reflexión, además que gracias a las tecnologías usadas en su construcción se puede ajustar automáticamente la longitud del cable por lo que se podrá definir donde está la avería, así como también el final de dicho cable [25].

3.7.2. Principio de funcionamiento de las pruebas en cables soterrados de MT

Prueba de aislamiento

El aislamiento se lo diseño con el objetivo de soportar esfuerzos durante su vida útil, pero es importante recordar que el aislamiento eléctrico se degrada con el paso del tiempo y las situaciones anormales que ocurran en el mismo. Es por ello que es indispensable efectuar

pruebas cada cierto tiempo para detectar un rápido envejecimiento, cual es la causa y que se debe hacer para corregirlo.

Entonces la prueba de resistencia de aislamiento en cables consiste en la aplicación del voltaje necesario para que se energice toda la porción de aislamiento del cable y así poder medir la corriente resultante, es importante aclarar que el equipo con el que se realiza la prueba contara con una fuente de corriente directa y un medidor de corriente, es decir, que cuando se realiza la prueba de resistencia de aislamiento lo que se hace es utilizar la ley de ohm para obtener dicha resistencia. Sin embargo se debe tomar en cuenta que al circular más de una corriente, el análisis comienza a tornarse más complicado debido a que intervienen la corriente de carga capacitiva, la corriente de absorción o polarización, la corriente de fuga superficial y corriente de conducción, por lo que la corriente total será la sumatoria de todas estas [28].

Para voltajes de 500 o 1000V se realizan pruebas específicas para conocer solamente si el asilamiento está en buen estado, pero para voltajes superiores a 1000 V se emplea otra metodología, siempre con el uso de un voltaje constante en todo su rango de resistencia.

Pruebas de VLF en cables soterrados de media tensión

Las pruebas de VLF son muy utilizadas para ensayos de tensión resistida en cables soterrados de media tensión, como su nombre lo dice utilizan baja frecuencia generalmente 0.1Hz o menos, los equipos suelen ser simplemente para comprobar el aislamiento de un cable mediante corriente alterna, es usada sobre cargas de alta capacitancia.

En la actualidad los comprobadores de aislación con tecnología VLF pueden presentar niveles de tensión que van desde los 20 a los 200 kV, sin embargo el factor que más se debe tener en cuenta al momento de adquirir este equipo o de realizar alguna prueba es la capacidad máxima de carga de prueba que este tenga, en la actualidad van desde los 2uF hasta los 55uF [29].

Pero porque realizar una prueba a muy baja frecuencia, a continuación se muestra un ejemplo del porque se emplea una frecuencia menor a la conocida (50Hz-60Hz):

Un cable de 3.048m de 15kV, tiene aproximadamente 1F de Capacidad.

La reactancia capacitiva a 60Hz es:

$$Xc = \frac{1}{2\pi C} \qquad (1)$$

$$Xc = \frac{1}{2\pi(60Hz(10^{-6}F))} = 2{,}650\Omega \quad (2)$$

Una de las tensiones de prueba recomendadas por la norma IEEE es de 22kV, por lo cual se requerirá un equipo que cuente con una alimentación con capacidad de 8.3 A ó 183kVA, esto solamente como ejemplo, no existen equipos con esas características para campo.

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{22{,}000\ V}{2{,}650\ \Omega} = 8{,}3A \quad (3)$$

Pero cuando la prueba se realiza en 0.1Hz, la reactancia capacitancia se reducirá a:

$$Xc = \frac{1}{2\pi(0{,}1Hz(10^{-6}F))} = 1{,}6M\Omega \quad (4)$$

De esta forma para los mismo 22kV, ahora solo se requerirá de:

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{22{,}000\ V}{1{,}6x10^{6}\Omega} = 14mA \quad (5)$$

Como se puede notar con los mismo 22kV aplicados, se requerirá 14mA o 0.302kVA, para poder energizar el cable bajo ensayo, es decir, una potencia 605 veces menor que a 60H, además de ello se demuestra que con la misma potencia a 0.01Hz se logra probar un cable de mucha más longitud [29].

La realización de esta prueba es relativamente sencilla ya que al igual que en una prueba de aislación normal los ensayos a través de VLF requieren que el cable (independientemente de su estructura) se encuentre aislado en su conductor central, y con la pantalla a tierra, entonces se conectara la salida de alta tensión del VLF a dicho conductor; y la tierra del equipo estrictamente unida a tierra del sistema [29].

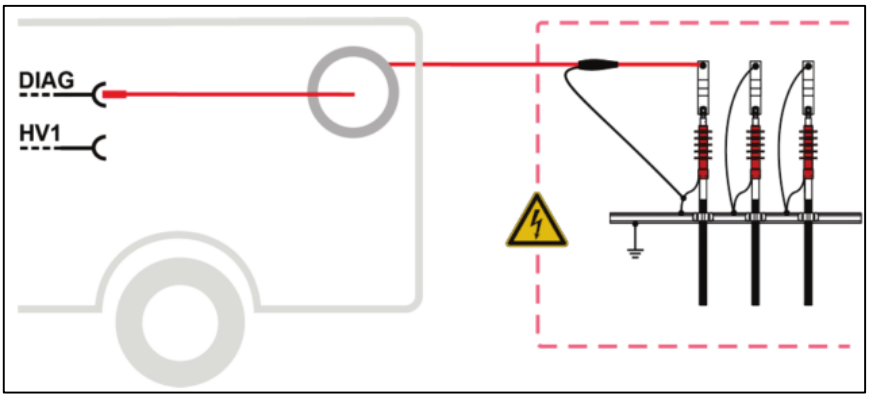


Figura 3. 27. Representación gráfica de la prueba VLF, entre el furgón y los cables [30].

Una vez realizado y verificado el esquema de conexión se aplicara la tensión de prueba máxima requerida para dicho ensayo, y durante un tiempo establecido igualmente de acuerdo a normas establecidas por la IEEE.400.2-2004, una vez finalizada la prueba los resultados estarán serán simples de pasa o no pasa [29].

3.7.3. Principio de funcionamiento de la prelocalización de fallas o avería en cables soterrados de MT

Medición de reflexión de impulsos

A menudo denominada radar de baja tensión, este método incluye un analizador con un generador de pulsos, que transmite un tren de pulsos de altas frecuencias en el cable bajo prueba, y un osciloscopio que muestra las distintas reflexiones de estos pulsos [31]. En la pantalla del TDR, se representan muchos puntos reconocibles de referencia, tales como empalmes, cortes, y fallas del tipo derivación, con una resistencia de menos de aproximadamente 200Ω [31].

Se sabe que cuando existe algún tipo de variación repentina en un punto de la línea, este afectara a otro punto de la misma línea pero no en el mismo instante, es decir, que transcurre un tiempo finito para que dicha variación sea transmitida desde el punto en donde inicio hacia otro, de esta manera se origina lo que se conoce como ondas viajeras [32].

Reflexiones y refracciones de ondas viajeras

Cuando una onda viajera presenta una discontinuidad, es decir, un punto en donde va a existir una alteración considerable de los parámetros normales del circuito, por ejemplo, un terminal abierto o en cortocircuito, una unión con otra línea en donde se presente un cambio de impedancia, todas estas situaciones generan una descomposición de dicha onda. Entonces, la

onda que llega a la discontinuidad tiene por nombre onda incidente y las dos ondas que se originan igualmente por la discontinuidad tanto la que viaja hacia atrás como la que viaja delante de la onda original son las llamas ondas reflejadas y refractadas, respectivamente [32].

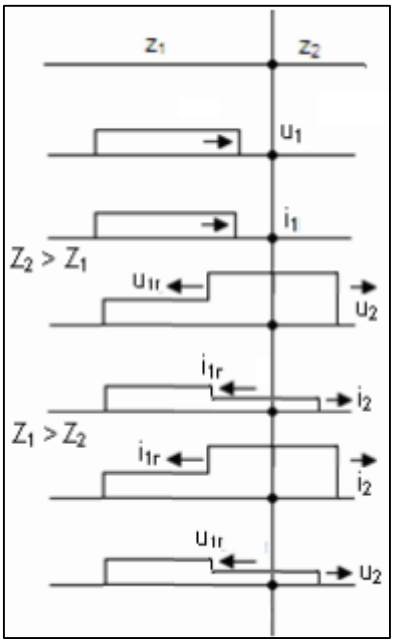


Figura 3. 28. Características de una onda viajera al alcanzar el punto de transición de dos líneas de diferente impedancia característica [32].

Cuando la onda de tensión U, se propaga por la línea de impedancia característica Z1 y alcanza una línea de impedancia característica Z2, ingresa en ella con la tensión U2 y se expresa de la siguiente manera:

$$U2 = U1\frac{2Z2}{Z1 + Z2} \qquad (6)$$

Mientras que la onda reflejada, esta expresada mediante:

$$U1_r = U1\frac{Z2 - Z1}{Z1 + Z2} \qquad (7)$$

Si se pretende considerar la corriente para calcular la onda reflejada se toma en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$i2 = i1\frac{2Z1}{Z1 + Z2} \quad (8)$$

$$i1_r = i1\frac{Z1 - Z2}{Z1 + Z2} \quad (9)$$

Con el desarrollo de las ecuaciones presentadas, se determina que el paso de una línea de pequeña impedancia característica a una línea de elevada impedancia característica, provocara el aumento de la onda de voltaje y una minimización de la onda de corriente, lo contrario sucede cuando el paso de una elevada impedancia característica a una impedancia característica menor forma una onda más pequeña de tensión y el incremento de la onda de corriente [32].

De esta manera el funcionamiento está basado en la teoría antes mencionada por lo que el TDR transmite, pulsos de baja tensión y alta frecuencia por el cable. Los cambios en las impedancias, causan reflexiones de los impulsos transmitidos que aparecen en una pantalla. Simplemente, un aumento en la impedancia causa una reflexión ascendente y una disminución en la impedancia causa una reflexión descendente [30].

Método de decaimiento DECAY

El método de decaimiento se lo usa principalmente para la localización fallas en cables de distribución o transmisión, ya que estos requieren tensiones de ruptura o también denominado breakdown, mayores a las que inyecta los generadores de impulsos típicamente usados. Por lo que muchas veces no se dispone de generadores de impulso de alto valor, este puede ser reemplazado por un generador de tensión continua más la capacidad propia del cable a ensayar; y a través de un filtro de adaptación se realiza la Reflectómetro por decaimiento de tensión, se puede necesitar equipos de ensayo de aislación con corriente continua, con capacidad de salida de hasta 160 kV (este nivel de voltaje dependerá del tipo de cable que se vaya analizar y la norma que se utilice) para descomponer la falla, y para mostrar el transitorio, aplicando un acoplador y un analizador [21].

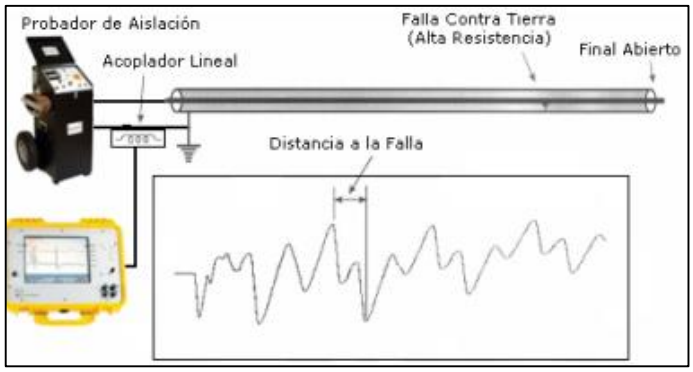


Figura 3. 29. Método de Decaimiento [21].

Este método rescinde su funcionamiento al uso de un generador de impulsos, ya que al aplicarse una elevada tensión de ensayo en corriente continua al cable bajo ensayo, su capacitancia se carga. Entonces, la tensión se aumentara progresivamente, hasta que la falla de alta resistencia se descomponga. Cuando se descompone, la capacitancia del cable se descarga a través de la falla, y esto va a generar un pulso que viajará de regreso al equipo de ensayo, donde se reflejará nuevamente hacia la falla, de esta manera el analizar va a medir el tiempo y a calcular la distancia hacia la falla usando la velocidad de propagación programada [20].

3.7.4. Principio de funcionamiento la localización exacta de averías en cables soterrados de MT

Localización exacta mediante choques

La localización mediante choques es uno de los métodos más usados para localizar averías con mucha precisión, teniendo una confiabilidad del 90% cuando se buscan averías en cables soterrados. El principio de funcionamiento consiste en la transmisión continua de impulsos de tensión de choque al conductor defectuoso, estos impulsos se generan descargando instantáneamente el condensador de choque y provocan descargas eléctricas en el punto de avería o fallo, el ruido que fue provocado por la descarga se propagara por el suelo y se puede detectar un sensor especifico en la superficie (localización por campo sonoro) [30].

De esta manera la distancia en la que se está presentando la avería o falla, se podrá determinar a partir del volumen del ruido de la descarga que se estará presentando en ese mismo momento, o su vez a partir de la diferencia temporal entre la recepción del impulso magnético y del mismo ruido de la descarga.

Generador de frecuencias acústicas

En combinación con un receptor de frecuencia acústica adecuado, el generador de frecuencias acústicas permite localizar con exactitud averías de baja resistencia en cables utilizando el método del campo de torsión, método de la distorsión del mínimo, así también localizar cables y conducciones metálicas como por ejemplo tuberías [30].

El generador dispone de una serie de funciones que facilitan las tareas de localización e identificación, y permiten obtener resultados fiables. Estas funciones son el ajuste automático de la impedancia, el modo multifrecuencia y el modo SignalSelect para ver el sentido del flujo.

Con la localización o el trazado de cable metálicos, deberá asegurarse el flujo de retorno de señal a través del suelo o, en caso de ser necesario, de otro conductor. Se recomienda, como otra posibilidad, la conexión directa a la cubierta del cable. Con este método no son necesarias otras operaciones de conmutación en el extremo del cable más alejado [30].



Figura 3. 30. Representación gráfica que muestra el flujo de retorno de señal a través del suelo [30].

Si la cubierta en el punto de conexión no puede separarse de la tierra, entonces se puede acoplar la señal directamente en el conductor interno, sobre todo con frecuencias pequeñas, por lo que se conectara a tierra el conductor interno del extremo del cable más alejado del punto de conexión [30].

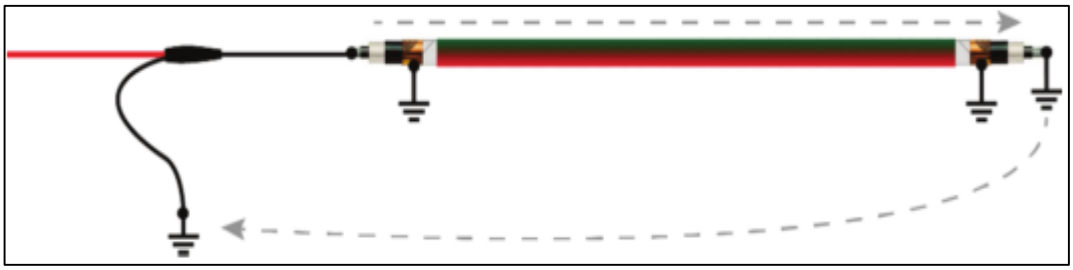


Figura 3. 31. Representación gráfica del acoplamiento de señal en el conductor interno [30].

Es importante mencionar que cualquier receptor que se pretenda utilizar funcionara siempre y cuando las frecuencias acústicas coincidan con las del generador por lo que será adecuado para la localización de averías o el trazado de conducciones metálicas (tuberías).

Localización exacta de averías en la cubierta.

La cubierta del cable suele estar aislada con PVC o PE sintético, para evitar la penetración en el aislamiento. El sistema de localización de averías de cubierta, con un menú intuitivo y una medición y evaluación totalmente automáticas, permite la comprobación de las cubiertas de los cables, así como la prelocalización y la localización de las averías en las cubiertas de los cables de la forma más sencilla posible [33].

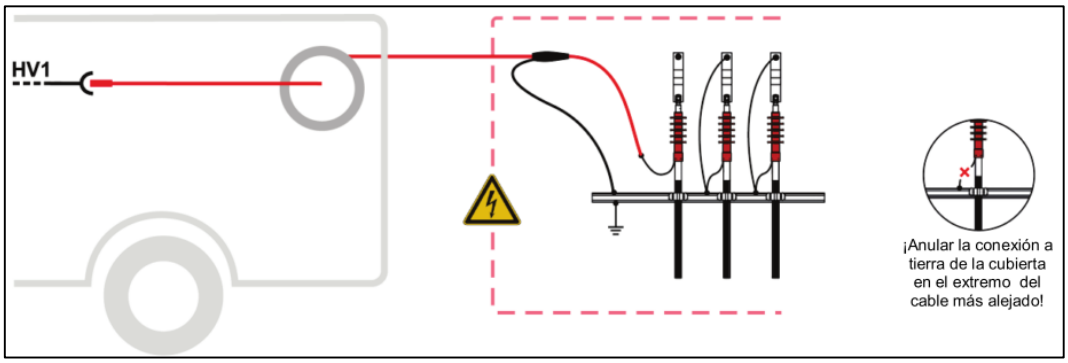


Figura 3. 32. Representación gráfica de la localización de fallas en la cubierta, entre el furgón y los cables [30].

3.7.5. Tecnologías de Pre localización de fallas en el Sistema Megger Centrix 2.0

ProRange

ProRange es el nombre de la tecnología que es capaz de adaptar el amplificador en función de la distancia del cable bajo ensayo, de esta forma permite una mejor localización de empalmes, defectos lejanos y finales de cables, por lo que no tiene problemas en trabajar con cables largos, muy húmedos o con transposición de pantallas [25].

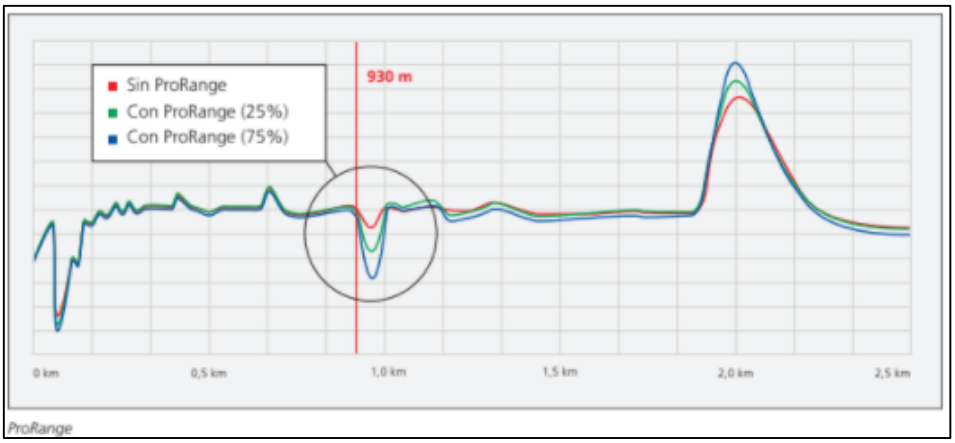


Figura 3. 33 Ejemplo de las curvas obtenidas mediante la tecnología *[25]*.

- **TDR directo**

Mediante esta tecnología se puede medir longitudes del cable y defectos de baja resistencia o cortados, utilizando la medición TDR.

- **IFL (Localización de fallas intermitentes)**

En el modo IFL se busca capturar y mostrar automáticamente los pequeños cambios de impedancia intermitentes debido a factores que intervengan en el momento mismo de la toma de mediciones.

- **Multidisparo ARM (Método de reflexión de arco)**

A través de la tecnología multidisparo ARM se podrá observar 15 curvas de falla por cada uno de los impulsos de onda de choque, la mejor curva de falla es mostrada gracias a los resultados que automáticamente se ofrece al usuario una función muy útil cuando las pruebas tienen cables con empalmes húmedos y de aceite [25].

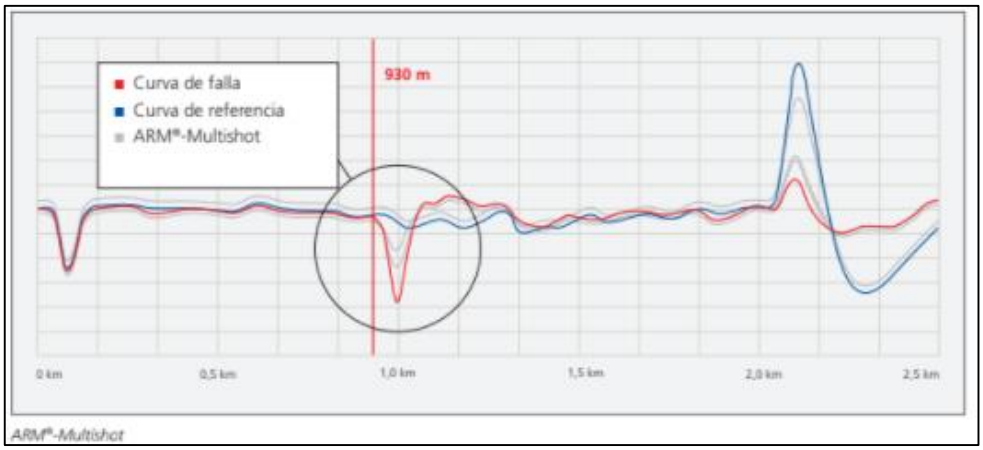


Figura 3. 34 Curvas obtenidas mediante la tecnología Multidisparo ARM *[25]*.

- **Quemado ARM – Live (En vivo)**

Este proceso fue diseñado para que el usuario/ técnico pueda observar al instante la formación del arco del defecto durante el quemado, esto con el objetivo de buscar averías difíciles como por ejemplo cables con empalmes de aceite.

- **Método de doble impulso (ARM Plus/ Decay – Plus)**

El método de doble impulso se lo ha desarrollado específicamente para cables largos de alta tensión lo que se realiza es que se crea el arco de alta tensión en el lugar de la avería, luego para prolongar la duración de este arco se da una un segundo impulso de 4kV. De esta manera se obtiene un arco estable que permite una prelocalización efectiva incluso teniendo factores que hagan difícil su búsqueda [25].

Es importante recalcar que el equipo evalúa automáticamente la avería mediante el ICE (equipo de corriente de impulso) usa el método de pulso de corriente y el método de decaimiento de la tensión (DCAY).

3.7.6 Prueba y diagnóstico de cables

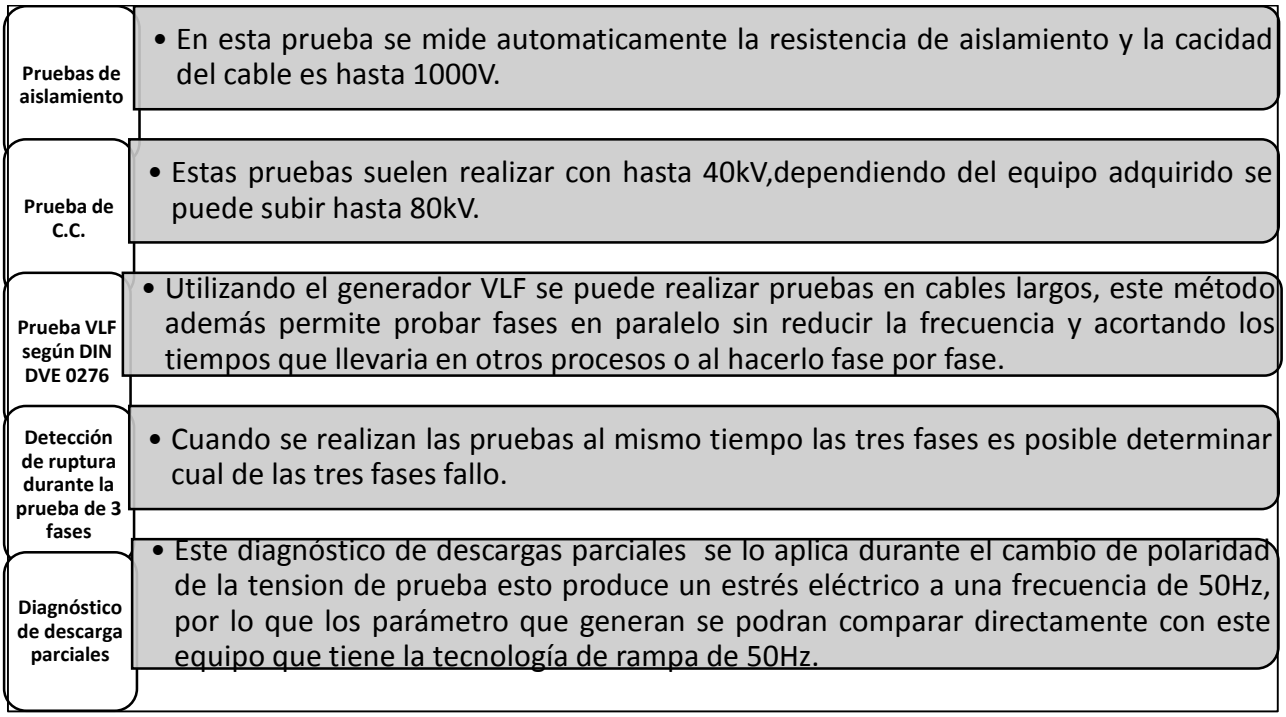


Figura 3. 35 Prueba y diagnóstico de cables del sistema Megger Centrix 2.0 *[25]*.

3.8. MANTENIMIENTO EN CABLES SOTERRADOS DE MEDIA TENSIÓN

El mantenimiento, según las normas europeas, es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, que están destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida [34].

Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo**

Es el conjunto de tareas predestinadas a corregir los desperfectos, es decir, está orientado hacia la consecución de cero accidentes, cero fallas y cero defectos que se van presentando en los distintos equipos o elementos del sistema y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los encargados de su operación y control, el objetivo es alcanzar la calidad total y la mejora continua [35] [36].

Este mantenimiento asocia todas las tareas que estuvieron planificadas en caso de que ocurriera un incidente, es decir, a través de programas, bases de datos, documentación histórica etc., estas

acciones no implicaran cambios funcionales, si no que más bien intentan corregir los defectos técnicos que la red pudiese tener; se entiende como defecto una diferencia entre las especificaciones del sistema y su funcionamiento, cuando esta diferencia se produce a causa de errores en la configuración del sistema [37].

De esta forma se podría establecer un marco de colaboración en el cual intervenga las actividades que corresponde a la garantía del proveedor que suministro los elementos (cables, equipos de medición, herramientas, etc.) y las actividades sujetas a ese contrato, la corrección de los defectos funcionales y técnicos de las aplicaciones cubiertas por este mantenimiento incluiría lo siguiente [37]:

a) Análisis del error / problema.
b) Análisis de la solución.
c) Modificación del sistema, guiándose en pruebas realizadas.
d) Documentación de las pruebas realizadas en el sistema.
e) Actualización de la base de datos en cuanto a mantenimientos y técnicas usadas para el mismo.

- **Mantenimiento Preventivo**

Es el proceso que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, y elementos que conforman la red, programando las mediaciones de sus puntos vulnerables y desarrollarlo en el momento más oportuno. Suele tener un carácter metódico, es decir, se interviene aunque el equipo o elemento no haya dado ningún síntoma de tener un problema, es decir es un tipo de evaluación provisoria anticipada [37].

Es una actividad que conlleva una programación, de funcionamiento así como también de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que se llevaran a cabo de acuerdo al plan periódico establecido, el propósito de este es evitar averías o desperfectos cuando estén comenzando y corregirlos para mantener la instalación en óptimos niveles de operación [37].

Los métodos más comunes para la determinación de los procesos de mantenimientos preventivos deben ser guiados por medio de las recomendaciones de los fabricantes, normativas, legislación vigente, las recomendaciones de técnicos con experiencia y las acciones llevadas a cabo en actividad similares [37].

- **Mantenimiento Predictivo**

Ese tipo de mantenimiento se enfoca en el análisis de los parámetros de funcionamiento anormales que permiten detectar un fallo antes de que esté presente consecuencias considerables, por medio de este puede estudiar temporalmente los parámetros y relacionarlos con los fallos, de tal forma que se determine en qué periodo de tiempo ese fallo va a ocasionar inconvenientes, para así poder planificar todas las intervenciones a tiempo, para que ese fallo nunca tenga consecuencias grave [37].

La característica más importante de este mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal del sistema mientras se lo está aplicando. La inspección de los parámetros se puede realizar de forma periódica o de forma continua, tomando en consideración factores como: el tipo de sistema, los tipos de fallos que se pueden generar y la inversión que se necesita realizar, sin embargo a continuación se mencionan algunas ventajas al realizar este tipo de mantenimiento:

a) Reduce el tiempo en el que el sistema está fuera de servicio al conocerse exactamente el elemento que ha producido el problema.
b) Se puede seguir la falla o avería justo en el momento en el que esté ocurriendo.
c) Se necesita un grupo de mantenimiento más reducido en comparación con los grupos normales de trabajo.
d) La verificación de los equipos de mantenimiento y elementos de la red se la realizara de forma periódica o accidental, entiéndase este último como una visita inesperada a un lugar perteneciente a la red.
e) Toma de decisiones sobre la parada de una línea de momentos críticos.
f) Planificación interna de funcionamiento de los sistemas y la compra de nuevos equipos o elementos necesarios.
g) Elaboración de registro de históricos de actuaciones de las cuadrillas de mantenimiento, para tener una guía referenciada de las fallas que se han presentado y como se ha respondido ante ellas

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto es necesario utilizar el método de investigación deductivo, debido a que se lo usara para el análisis de ciertos procedimientos así como también metodologías para la localización de fallas en cables soterrados de media tensión, igualmente mediante el método descriptivo se pretende especificar las guías necesarias para la utilización de un nuevo sistema de pruebas de cables a través de la recolección de datos, gráficas y medidas para su respectivo análisis, todo esto se logrará basándose en una investigación bibliográfica y usando fuentes alternativas, videos de funcionamiento de equipos, libros, normativas establecidas, lo que servirá como antecedente para cálculos y simulación de los procedimientos para la localización de fallas en los cables. Esto se realizó para la Empresa Eléctrica Quito específicamente para el área de laboratorio de transformadores y construcción de redes. La empresa al tener precedentes del uso inadecuado de ciertos equipos buscó la forma de suministrar a sus técnicos procedimientos mucho más sintetizados y entendibles.

4.2. MATERIALES E INSTRUMETOS

4.2.1. Normativas

En el presente proyecto se utilizó varias normas técnicas elaboradas por los organismos competentes con referencia a la guía para pruebas de campo y evaluación de los conductores de los sistemas de cables eléctricos apantallados, así como también referentes a la seguridad y prevención de accidentes.

a) **IEEE Std 400-2001**

Esta normativa tiene como objetivo proporcionar una guía para las pruebas de campo y la evaluación de los aislamientos de los sistemas de cables eléctricos apantallados, es decir, enumera los diferentes métodos de ensayo de campo que están disponibles en la actualidad o que están en un proceso de desarrollo, esta guía está hecha para cables eléctricos aislados y apantallaos de 5kV a 500kV.

b) **IEEE Std 400.2-2013**

Esta normativa tiene como objetivo proporcionar una guía para las pruebas de cables de energía apantallados utilizando una frecuencia muy baja (*VLF-Very Low Frequency)*, es por ello que esta describe las pruebas de resistencia a muy baja frecuencia y otras pruebas, mediciones de

diagnóstico que se realizan utilizando VLF en los cables de alimentación apantallados, esta guía incluye tablas que proporcionan una referencia en cuanto a los niveles de voltaje.

c) **DIN VDE 0276**

Esta normativa alemana es utilizada para la construcción de cables, métodos de prueba y algunas guías para la realización de prueba, en este proyecto se la utiliza como referencia en pruebas para cables tendidos con tensiones nominales de 6/10kV, 12/20kV y 18/30kV con aislamiento de tipo PVC, de VPE o de papel.

d) **IEEE Std 1234-2019**

Esta normativa tiene como objetivo describir las pruebas y mediciones, que se realizan en cables de alimentación blindados para identificar la ubicación de una falla, al mismo tiempo proporcionan las limitaciones de una prueba y medición en particular para localizar una falla y se hacen recomendaciones con respecto a técnicas especializadas de localización de fallas.

4.2.2. Software

a) **Matlab – Simulink**

Simulink es un entorno de programación visual que funciona sobre el entorno de Matlab con este se puede simular diversos tipos de sistemas dinámicos, en el área de ingeniería eléctrica, electrónica, hidráulica, etc., en este proyecto se lo uso para la demostración del principio de funcionamiento del equipo de localización de falla preciso acústico.

b) **PSCAD (*Power System CAD*) Diseño asistido por computador de sistemas de potencia**

Esta herramienta se considera una de las más importante al momento de analizar todo tipo de transitorios en sistemas eléctricos de potencia, su función principal es la de diseñar y simular sistemas de potencia, calidad de energía, protecciones y se centra también en la planificación de ciertos sistemas eléctricos, para este proyecto se lo utilizo para modelación de un cable de media tensión soterrado, así como también para demostrar el principio de funcionamiento de la pre localización TDR.

4.3. LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN REDES SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE

El cable bajo ensayo y sus características está presentando en el **ANEXO** se lo ha realizado en el desarrollo experimental.

4.3.1. Procedimientos para la localización de fallas en redes soterradas de medio voltaje

El termino falla puede ser interpretado como una alteración intencional o imprevista que dificulta continuar con la operación normal de uno o más elementos de un sistema de potencia, gracias a las características particulares, los sistemas de distribución están expuestos a fallas que pueden ser originadas por diferentes causas como por ejemplo: degradación del material, descargas atmosféricas, colapso de estructuras y conductores debido a deslizamientos, fuertes vientos, excavadoras, tiempo de uso, etc.

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica en la actualidad se ha incrementado la importancia y prioridad de servicio discontinuo al usuario, de tal forma que las fallas en las redes de distribución deben ser apresuradamente detectadas, localizadas y reparadas para entregar un apropiado diagnósticos de cables de media tensión soterrados, para ello se requiere una metodología de ensayo considerando las pruebas que se realizan a cables nuevos y las pruebas de ubicación a cables antiguos.

La guía busca documentar el desarrollo de cada una de las pruebas, el orden en que se deben ejecutar y la forma de conectar los equipos al momento de realizarlas; también se documenta brevemente la parte teórica da cada prueba.

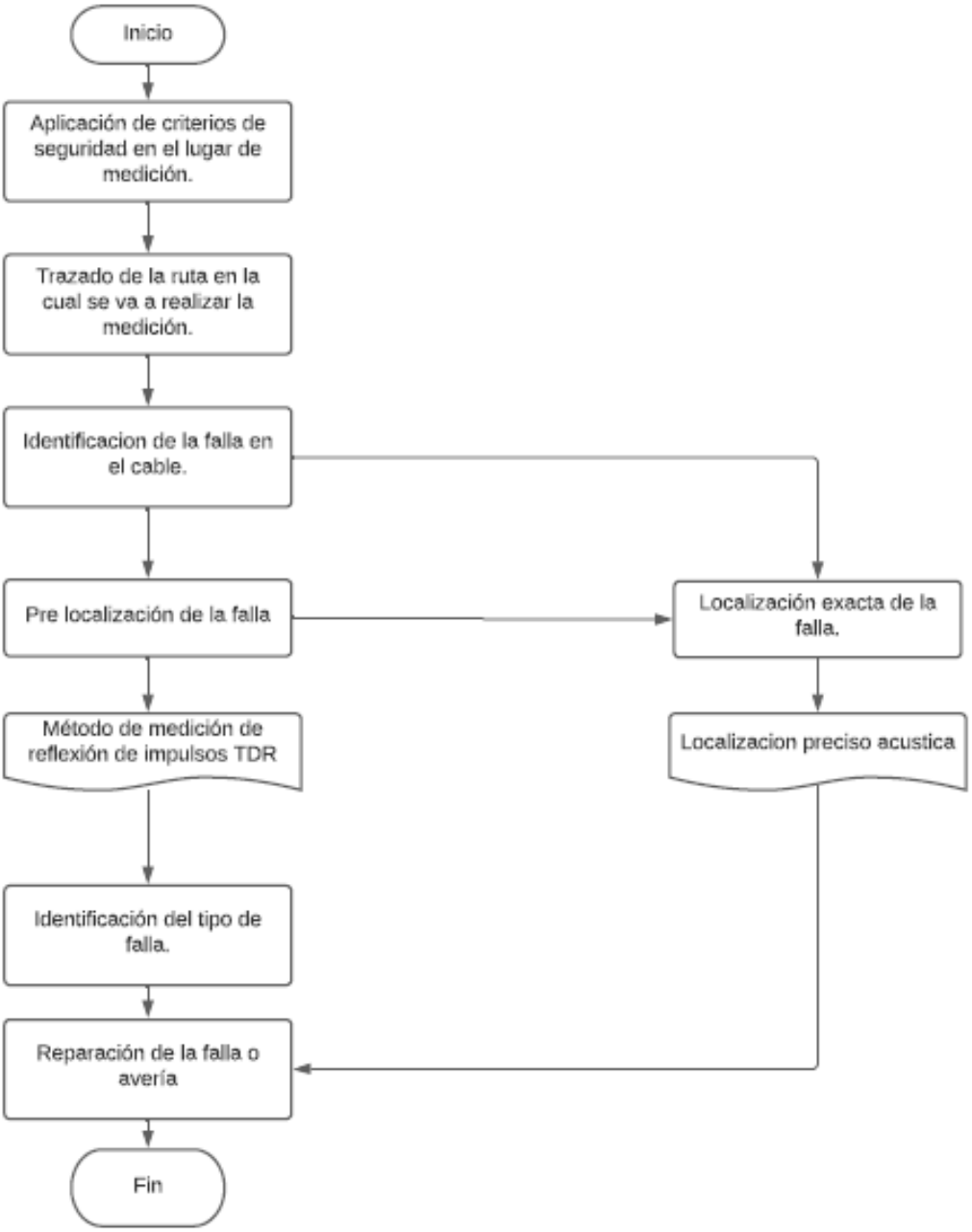


Figura 4. 1. Procedimientos para la localización de fallas en redes soterradas de medio voltaje in situ.

- Método de medición de reflexión de impulsos TDR

Los reflectómetros en el dominio del tiempo (TDR) transmiten pulsos de corta duración al cable que se va a probar. El tiempo transcurrido de un pulso transmitido que recorre toda la longitud de un cable y las reflexiones de pulso producidas por desviaciones de la estructura homogénea del cable se muestran en una pantalla de visualización. Cualquier cambio en las impedancias de superficies reflectantes, inicio de cable, uniones, empalmes, transformadores, fallas, cambios en el tipo de cable, así como en el extremo del cable, se muestran en secuencia de tiempo.

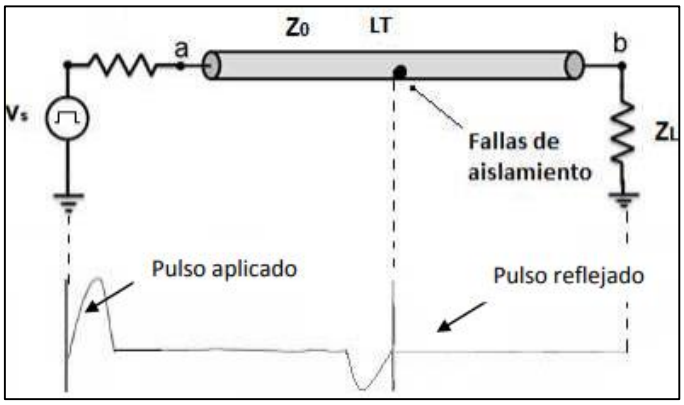


Figura 4. 2. Aplicación de TDR en cables de energía [38].

En la Figura 4.2, se puede observar que el generador de impulsos produce una onda incidente positiva, la cual se aplica al circuito eléctrico analizado. El pulso viaja a lo largo de la línea de transmisión a la velocidad de su propagación. Si la impedancia de la carga (ZL) es igual a la impedancia característica de la línea (Z0), no se refleja ninguna onda y lo que registrará el osciloscopio es el pulso de voltaje incidente. Por otro lado, si la impedancia de carga difiere de la impedancia característica, parte de la onda incidente se refleja y la onda de voltaje reflejada aparecerá en el osciloscopio [38].

La amplitud de la onda reflejada se da en función del coeficiente de reflexión (r). Los valores de este coeficiente pueden ser r=1 cuando hay un circuito abierto o r= -1 cuando hay un cortocircuito en el cable bajo análisis. El valor cero significa que no hay reflejo, esto puede deberse al hecho de que el equipo está conectado incorrectamente o la amplitud del pulso aplicado no es suficiente [38]. El coeficiente de reflexión se lo calcula con la siguiente formula:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{4. 10}$$

Donde:

Γ= Coeficiente de reflexión de tensión.

Z_L= Impedancia de la carga.

Z_0= Impedancia característica del cable.

La velocidad a la que se mueve el pulso aplicado depende de los parámetros constituyentes (permitividad, permeabilidad y conductividad) del medio en el que se propaga.

Sin tener en cuenta el efecto de las pérdidas a lo largo del cable, y considerando que la permeabilidad relativa del cable es generalmente igual a la del vacío, la permitividad del material aislante del que está hecho el cable determinará la disminución de la velocidad de propagación con respecto a la velocidad de la luz en el vacío [38]. Se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{4. 11}$$

Donde:

v: Velocidad de propagación en el cable [m/s]

v_0: Velocidad de la luz (300,000 km/seg.)

ε_r: Permitividad relativa del aislamiento del cable.

La técnica de reflectometría se puede utilizar para determinar el tiempo que tarda el pulso en viajar a lo largo de un conductor eléctrico. Este tiempo es directamente proporcional a la longitud del cable bajo prueba e inversamente proporcional a su velocidad de propagación según la ecuación [38]:

$$\tau = \frac{l}{v} \tag{ 4.3}$$

Donde:

τ: Tiempo de viaje de pulso [s]
l: Longitud del cable bajo ensayo [m]

El método de reflectometría es un método eficiente que elimina la necesidad de cálculos complicados que se presentan en métodos preliminares tales como los puentes. En este método se envía un pulso a partir de un extremo del cable con falla, el cual se refleja toral o parcialmente dependiendo del cambio de impedancia relacionado con la falla que ocurre en el cable. La distancia del punto en donde la impedancia cambia se calcula considerando el tiempo que tarda el pulso de salida de una fuente en regresar hacia la misma y la velocidad de propagación del pulso en el cable al que se le aplica [38]. El punto de falla entonces se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$l = v\frac{\tau}{2} \quad (4.\ 12)$$

Donde:

l: Distancia al punto de la falla [m]

τ: Tiempo en que se refleja el pulso [s]

4.3.2. Simulación de la pre localización de fallas en cables de media tensión

4.3.2.1. Simulación de PSCAD

El software PSCAD es una aplicación creada para que el usuario pueda modelar, simular y analizar todo tipo de fenómenos transitorios mediante la utilización de toda su biblioteca de elementos que contiene cables, transformadores, maquinas rotativas, líneas de transmisión, generadores, etc., todo el análisis y formación del modelado se lo hace a través de la interfaz gráfica que ofrece el propio sistema. Para la demostración de la pre localización en cables soterrados de medio voltaje el programa no exige una licencia de funcionamiento o algún tipo de problema que impida el uso del mismo por lo que brinda las facilidades necesarias para este caso de estudio, es importante mencionar que cuando se requiera un análisis más a profundidad en los SEP si se necesitara una licencia pagada; de esta manera la versión que se utilizó para el estudio es la que se muestra a continuación:



Figura 4. 3. Logotipo del software PSCAD.

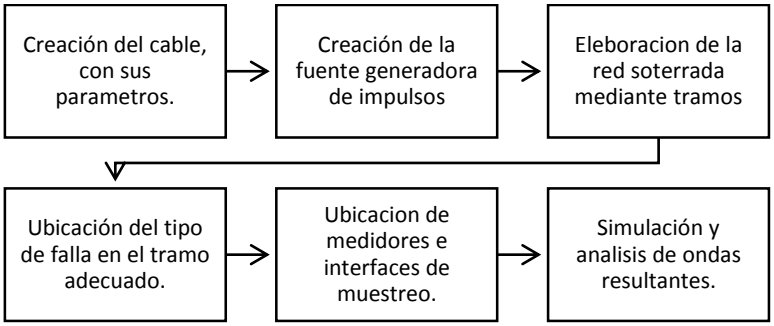
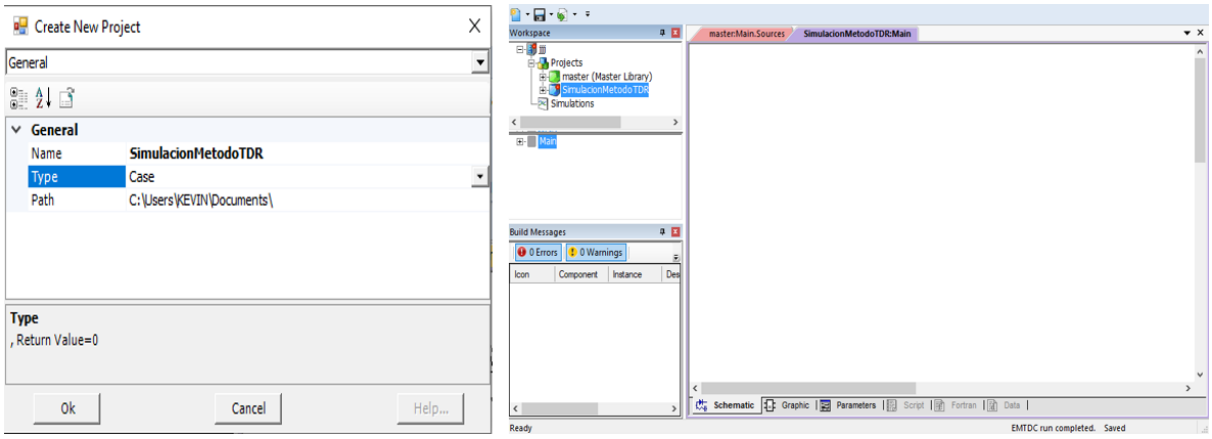


Figura 4. 4. Procedimientos para la simulación de la pre localización de fallas en PSCAD.

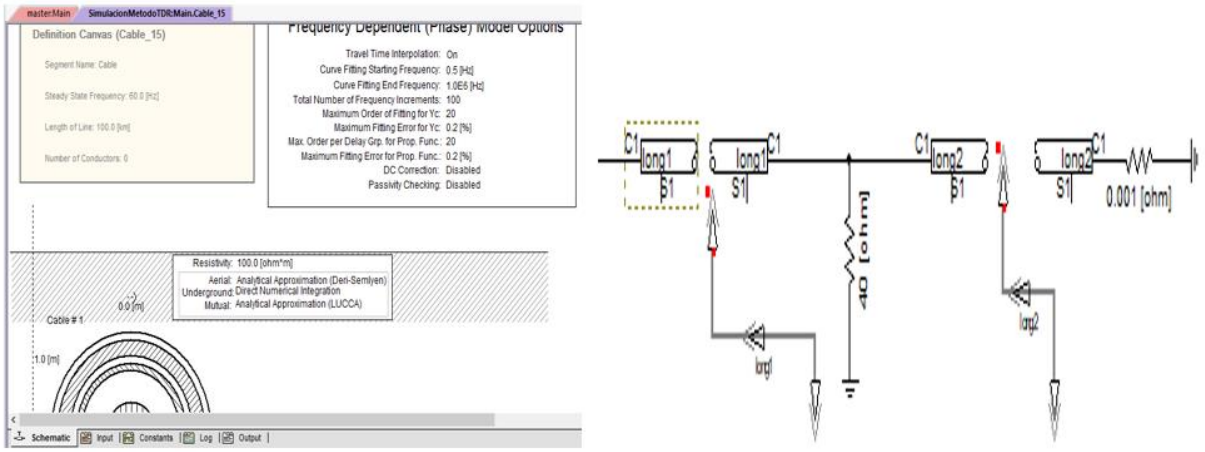
La simulación empieza creando un *New Proyect* para esto en la pestaña *PSCAD Button* seleccionamos dicha opción, aparecerá una ventana llamada *Create New Proyect* en donde nombraremos al archivo y finalmente *OK*, una vez realizado este procedimiento aparecerá la interfaz de trabajo.



(a) Creación del proyecto (b) Interfaz PSCAD una vez creado el proyecto

Figura 4. 5. Creación de un nuevo proyecto de simulación e interfaz de PSCAD.

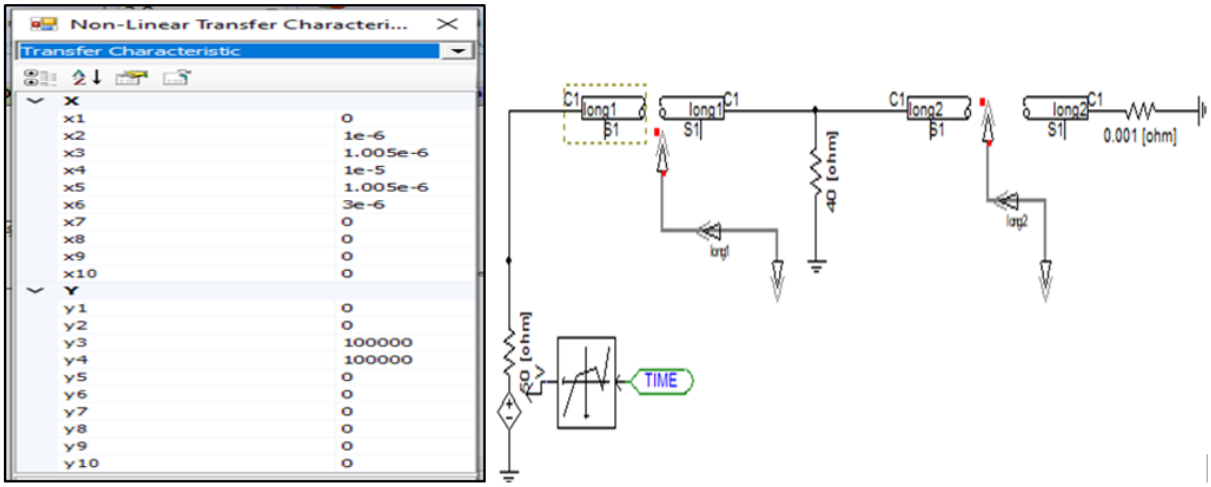
Una vez ubicada la interfaz en el espacio de trabajo se dará clic derecho y se busca la opción *Create* y posterior *Cable* , en la parte derecha de la interfaz de trabajo aparecerá una ventana llamada *Component Wizard* en donde se procederá a nombrar el cable , luego se procede a insertarlo en la interfaz de trabajo, para la formación del circuito de simulación se debe dirigir hacia la pestaña *Component* sección *Interface* y seleccionar *Cable Interface* , procedemos a insertarlo en la interfaz de trabajo, para que tenga relación con el cable que se creó y de igual manera se procede a cambiar el nombre, en el cable que se creó se procede a configurar todas sus especificaciones con relación al cable que se utilizó en campo ,una vez realizado todas las configuraciones realizadas se crean los tramos de acuerdo a la distancia requerida.



(a) Configuración del cable. (b) Circuito elaborado mediante tramos.

Figura 4. 6. Creación de cable a través de tramos.

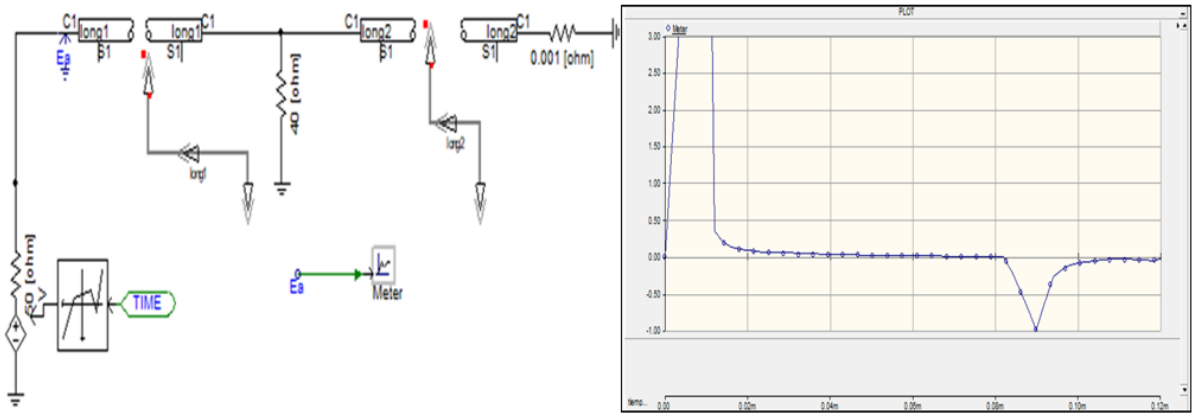
Una vez establecido los tramos y los cables se procede a crear la fuente generadora de impulsos para lo cual se dirige a la pestaña *Master Main* sección *Sources*, una vez dentro se elige S*ingle fase voltage source model two* se la inserta en la interfaz de trabajo, se utilizará una fuente externa por lo que hay que dirigirse a M*aster library* y dirigirse a la librería *More on CSM Functions* una vez dentro se debe elegir la fuente con nombre *Non-Linear Transfer Characteristic* esta fuente servirá para poder dar forma a la señal de pulsos a través de siguientes coordenadas, para culminar con la creación de esta fuente de pulsos se procede a insertar una señal variable de tiempo, esto debido a que la señal generadora va a depender del tiempo y finalmente se conecta a una fuente de tensión DC la cual se entra en la librería *Source.*



(a) Coordenas fuente externa (b) Circuito de simulación completo

Figura 4. 7. Configuración de la señal externa y finalización del circuito de simulación.

Finalmente, ensamblado el sistema se procede analizarlo para saber cómo se comporta cuando existe una falla, esto se lo puede hacer con la conexión de un voltímetro y una salida llamada *Data label* esta se la procederá a nombrar de la misma manera del voltímetro y se la conecta con el *Output channel* esto hará que se puede observar las gráficas emitidas por el sistema. Se procede a simular el programa mediante la opción *Run*, ubicado en la barra de herramientas del software y en la salida *Graph* insertada previamente aparecerán las curvas insertadas:



(a) Conexión del voltímetro y la salida (b) Reflectometría obtenida con la simulación.

Figura 4. 8. Circuito final y reflectometría de la falla en el sistema.

4.3.3. Simulación de la localización de fallas en cables de media tensión en Matlab – Simulink

MATLAB (acrónimo de las palabras inglesas "Matrix Laboratory") es un producto de la compañía Mathworks, es un programa ampliamente utilizado en la comunidad científica por sus amplias capacidades de cálculo y simulación. Uno de los componentes más importantes de MATLAB es el programa Simulink, que tiene como finalidad, proveer un entorno de fácil adaptabilidad, con una interfaz gráfica de usuario intuitiva, con una amplia capacidad para la generación de modelos interconectables mediante diagramas de bloques [39].

Se puede parametrizar cualquier tipo de modelos usando MATLAB variables y expresiones, y sistemas de control para el diseño de sistemas eléctricos en Simulink, de esta manera *Simscape Electrical* anteriormente llamado *SimPowerSystems* y *SimElectronics* proporciona bibliotecas de componentes para el modelado y simulación de sistemas electrónicos de potencia, mecatrónicas, y eléctricos, en ellos se puede encontrar semiconductores, motores y componentes para aplicaciones como actuación electromecánica, redes inteligentes y sistemas de energía renovable.



Figura 4. 9. Logotipo del Software Matlab R2017a y la herramienta Simulink

El diseño del cable se lo realizo a través de tramos usando bloques de Simulink, como se observa el modelo del cable se lo plantea como una resistencia y un inductor en serie, una resistencia y un capacitor en paralelo esto debido a que el cable al estar fallado se comporta como un condensador, por ejemplo, si se inyecta un voltaje de prueba entre el conductor y el aislamiento estas dos formaran las dos placas del capacitor, haciendo referencia al comportamiento del mismo, es por ello que en la simulación se ha planteado las capacitancias en paralelo. Si bien existen modelos más exactos, éstos requieren una mayor capacidad del computador y un tiempo de simulación mayor, aparte de una mayor complejidad en los cálculos de los parámetros, los cuales no se conocen al carecer de un banco de pruebas en el que se puedan tomar datos dependientes de otros factores tales como temperatura, frecuencia, entre otros.



Figura 4. 10. Modelado del cable con parámetros RLC mediante tramos.

Para la detección acústica de fallas, se utiliza un generador de impulsos de voltaje en modo repetitivo. Los pulsos de alta energía del generador de impulsos crean un impulso de voltaje que viaja a través del cable dañado, generando una perturbación en el momento en el que el impulso pasa por sobre la falla. Esto puede ser detectado mediante un micrófono el cual dará una señal acorde con la distancia a la falla.

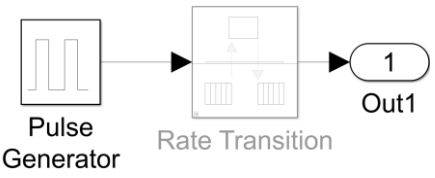


Figura 4. 11. Generador de impulsos en modo repetitivo.

Para la simulación, se ha considerado que las porciones en buen estado de cable disponen de una resistencia a tierra de 1 megaohmios, mientras que la porción de cable con falla tiene una resistencia a tierra de 100 ohmios, lo que indica que existe un cortocircuito de baja resistencia. Esto permitirá simular de forma sencilla lo que sucede en el circuito de estudio.

La corriente induce un campo magnético, de acuerdo con la Ley de Biot-Savart, considerando una línea infinita -lo cual se ha realizado por simplicidad-, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi R} \tag{4. 5}$$

Donde μ_o es la permeabilidad magnética (considerada idealmente en esta simulación, como la permeabilidad del vacío), I es la corriente en amperios, y R es la distancia en metros, desde el conductor a un punto de prueba.

A su vez, el campo magnético puede generar un voltaje sobre una espira, de acuerdo con la ley de Faraday. Una vez más, considerando el vacío como medio conductor, la fuerza electromotriz aplicada puede ser aplicada de la siguiente forma:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d}{dt}(B \cdot A) \tag{4. 6}$$

Donde N es el número de espiras de la bobina, B es el campo magnético mientras que A es el área seccional de la espira. Como se aprecia, el voltaje inducido depende de la derivada del campo magnético, motivo por el cual, cuando el campo magnético es constante y el área de la bobina también, no se genera fuerza electromotriz. Asumiendo un área de bobina constante, es fácil deducir que no se puede generar voltaje con campos magnéticos estáticos.

Por simplicidad, se asume que el voltaje generado en la espira se aplica directamente a un amplificador el cual alimenta a un elemento de sonido resistivo. De esta forma la corriente que circula por el altavoz, asumiendo una eficiencia ideal del 100% viene dada por:

$$I_a = \frac{A_v \cdot \varepsilon}{R} \tag{4. 7}$$

Siendo A_v la ganancia del amplificador, ε el voltaje inducido por la Ley de Faraday, mientras que R será el valor de la resistencia del altavoz, generalmente un valor de baja resistencia, alrededor de 8 ohmios. De esta manera, asumiendo una eficiencia del 100%, la potencia consumida por el altavoz para generar sonido vendrá dada por:

$$P = I^2 R \tag{4. 8}$$

Para transformar potencia en intensidad sonora, se utiliza la fórmula de la presión. Considerando el área generada por un casquete esférico:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{4. 9}$$

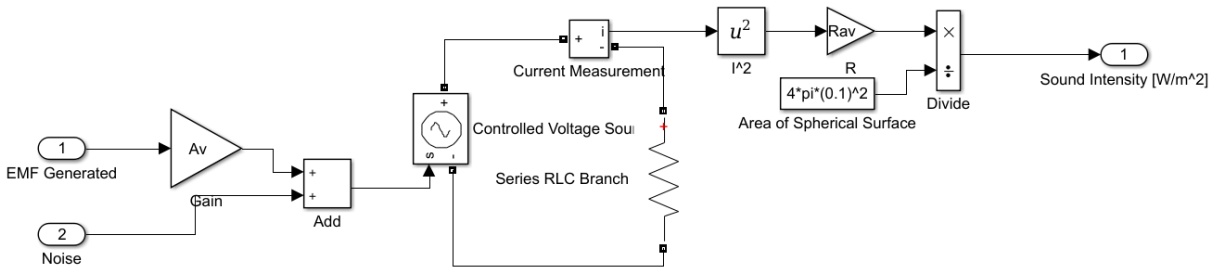


Figura 4. 12. Modelamiento del receptor de sonido.

Se puede obtener una intensidad sonora en watios por metro cuadrado. Considerando que el umbral de la audición es de $I_o = 10^{-12}$ watios por metro cuadrado, se puede monitorear la intensidad del sonido producido de la siguiente manera:

$$[\text{dB}] = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_o}\right) \tag{4. 10}$$

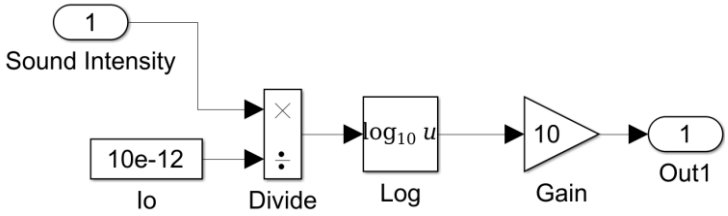


Figura 4. 13. Diagrama de bloques para la transformación a decibeles.

Con lo que se pueden monitorear las señales en forma de sonido, como lo haría un receptor. Cabe mencionar que las ondas sonoras aquí son ideales, y se han utilizado leyes básicas del electromagnetismo para intentar simular de la forma más sencilla pero eficaz posible.

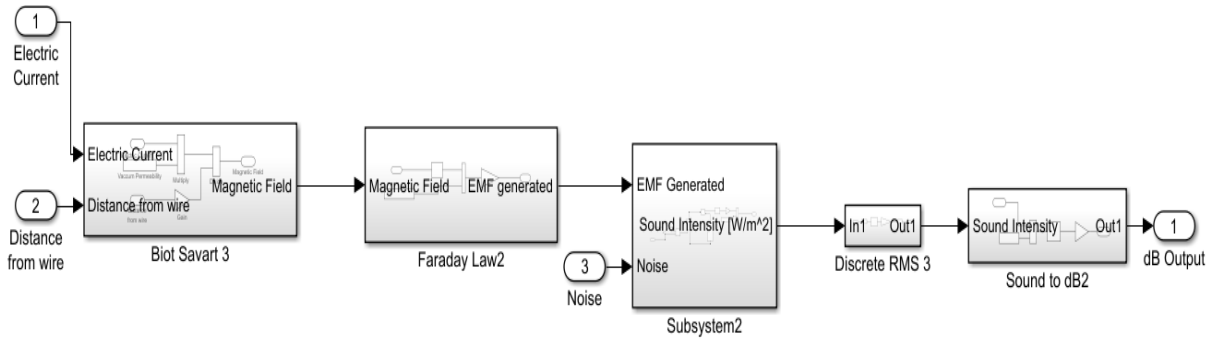


Figura 4. 14. Diseño de los bloques en Simulink con las fórmulas explicadas.

El proceso anteriormente descrito, puede resumirse en el siguiente diagrama de bloques:

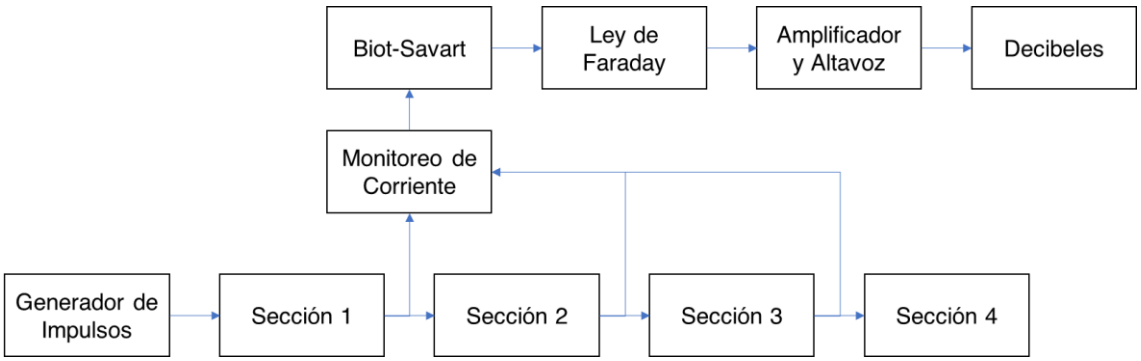


Figura 4. 15. Diagrama de bloques del modelo en Simulink para la simulación de los transitorios electromagnéticos.

Para la simulación, se ha precisado la aplicación de una señal DC de 30 voltios con un ciclo de trabajo del 30% a una frecuencia de 1000 Hz. Si bien el manual del dispositivo físico indica

que el periodo de la frecuencia es de un segundo, el simular este tiempo con una resolución de tiempo discreto de 10 nanosegundos se convierte en una labor computacionalmente prohibitiva.

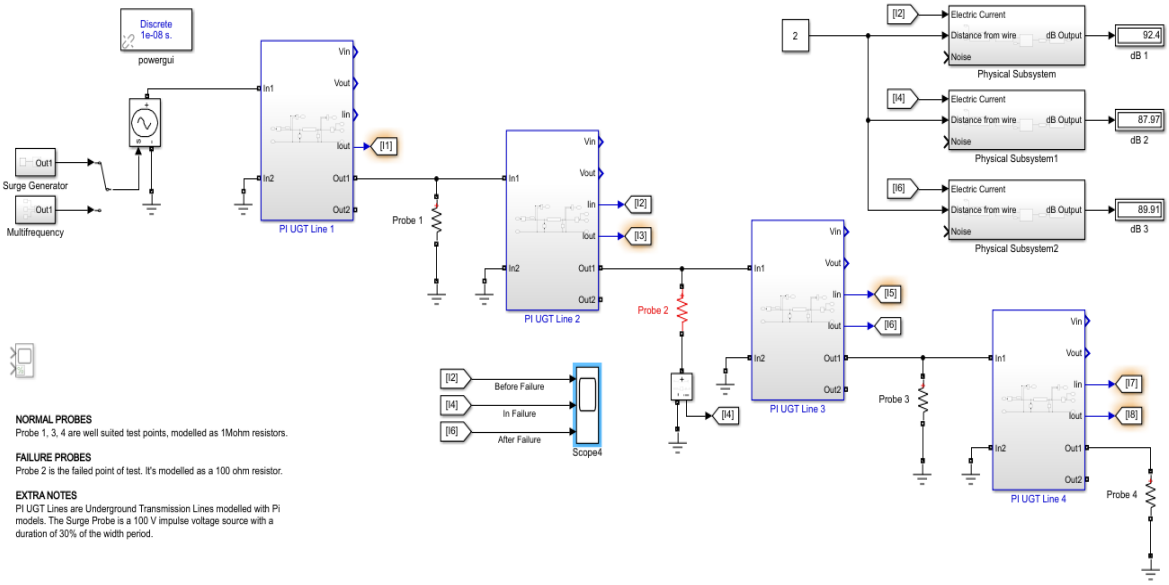


Figura 4. 16. Diagrama de bloques en Simulink para la simulación de los fenómenos de estudio.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE TDR

a) Gráfico de la traza de referencia.

Para el análisis de resultados de este proyecto se ha considerado dos etapas, la primera es mediante la simulación de la localización de fallas en el programa PSCAD y la segunda la obtención de resultados mediante los equipos en campo, en donde se obtiene como resultados las gráficas mostradas en la Figura 5.2.

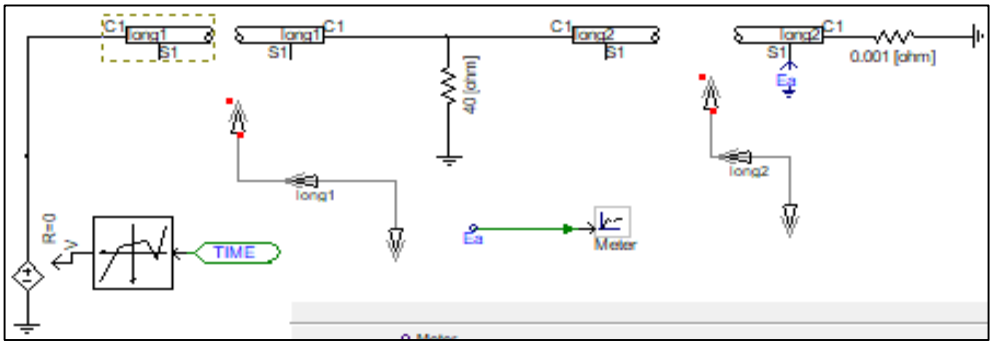


Figura 5. 1. Circuito modelado en PSCAD

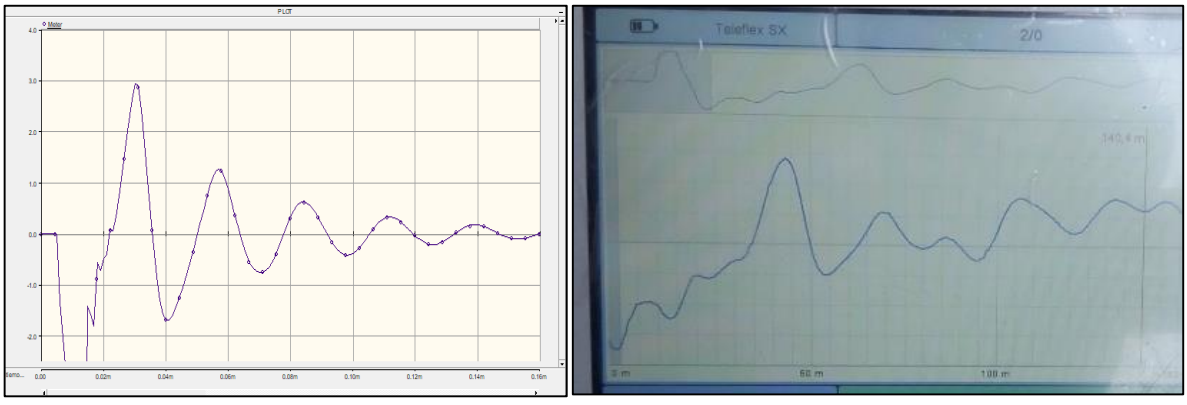


Figura 5. 2. Comparación de gráficas simulada y medida.

En la figura a se observa el resultado de la simulación, mientras que en la figura b se muestra la grafica obtenida por el equipo en campo, en esta primera grafica lo que se pretende es trazar una curva de referencia del cable, es decir, en esta no se detectara una falla como tal sino más bien se tendrá una espectro del estado del cable.

b) Gráfica de la pre localización mediante ARM

Como se muestra en la Figura 5.3 y la Figura 5.4 tanto en la simulación como en la medición en campo tenemos graficas que se aproximan a la similitud, pero el principal análisis que se obtiene de este proceso es que al ir inyectando un voltaje en el orden de los kV la línea que busca señalar la falla (línea roja) va creciendo en los puntos en donde es más fuerte el fenómeno que presente, por ejemplo, se puede notar que cerca del metro 25 empieza a localizar una avería de circuito abierto, pero la curva aun es atenuada y demasiado larga para poder trabajar sobre la falla. El nivel de tensión inyectado fue de 5kV



Figura 5. 3. Gráfica obtenida en campo con el Método ARM con 5kV**.**

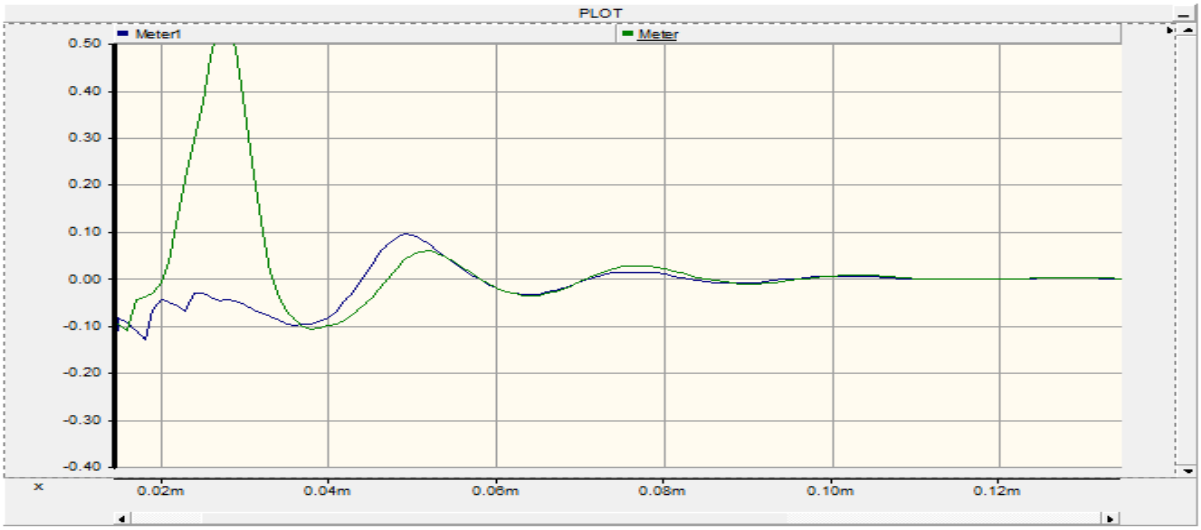


Figura 5. 4. Gráfica obtenida en simulación con el Método ARM con 5kV.

En cuanto a la simulación se planteó una resistencia en serie, entre los dos tramos esto con el objetivo de simular un cable cortado que fue el fenómeno que se observó en la prueba de campo,

por lo que para poder aplicar el método de la reflectometría y así encontrar la ubicación de la falla se deben tener en cuenta dos aspectos importantes los cuales son:

- Identificar el sentido de la primera reflexión.
- Identificar el tiempo en el que se presenta la primera reflexión.

Previo a ello el usuario o técnico que esté realizando el diagnostico debe contar con toda la información posible del cable que este bajo ensayo, estos datos puedes ser longitud, empalmes que contiene, etc., como se observa en las simulaciones la primera reflexión se presenta con sentido positivo, por lo que se deduce que existirá una falla de alta resistencia.

a. Longitud de 0.25 km. - Una vez obtenido este tiempo se procede a aplicar las fórmulas establecidas anteriormente:

$$v = \frac{v_o}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.1}$$

$$v = \frac{300000000\ m/s}{\sqrt{2.5}} \tag{5.2}$$

$$v/2 = 74{,}6 m/\mu s \tag{5.3}$$

Luego se procede a calcular la longitud en donde se encuentra la falla:

$$l = v\frac{\tau}{2} \tag{5.4}$$

$$l = 65.01 * 0.441767 \tag{5.5}$$

$$l = 28.71\ m \tag{5.6}$$

Porcentaje de error entre la simulación y la gráfica en campo:

$$\%Error = \frac{25 - 26.51}{25} * 100 \tag{5.7}$$

$$\%Error = 6.04\%$$

Para el siguiente análisis es importante mencionar que los técnicos que recibieron la capacitación para realizar este tipo de pruebas no tenían normas referenciales con las cuales puedan referenciarse, se guiaban a través de su experiencia empírica de pruebas en cables, por lo que se aumentó la fuente de generadora de pulsos a un nivel de 20kV y fue en ese nivel de tensión en donde se logró apreciar la reflexiones mucho más claras, como se observa en la figura al inyectar un voltaje superior se pudo considerar que no era una falla de circuito abierto ya que la reflexión paso de ser positiva a negativa, y en realidad ese el comportamiento que tendría el cable si estuviera en condiciones normales de funcionamiento.

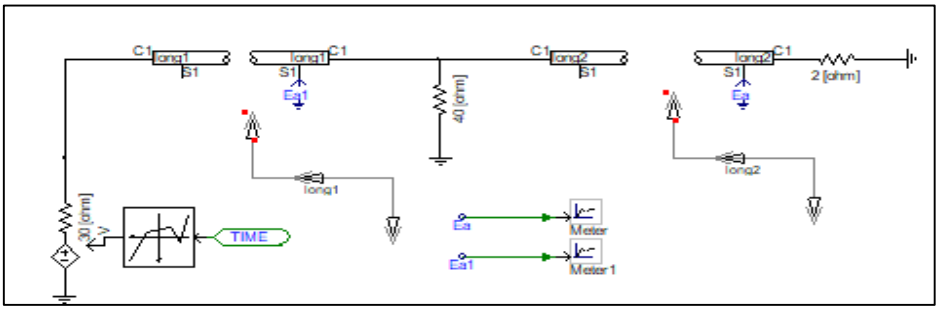


Figura 5. 5. Circuito modelado en PSCAD para el Método ARM

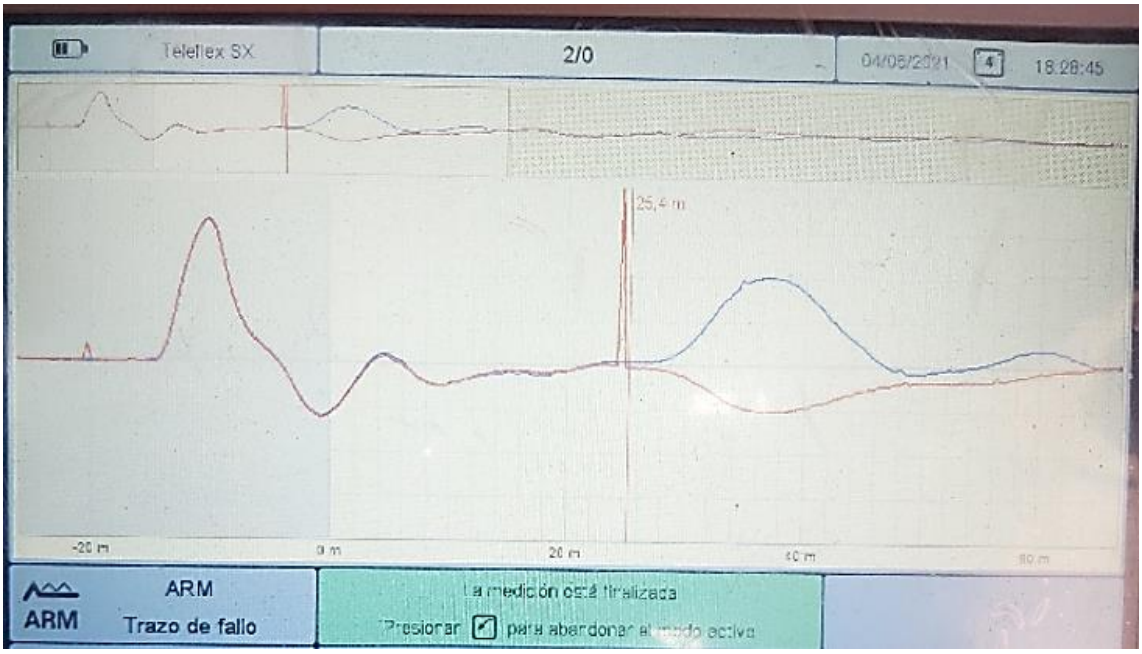


Figura 5. 6. Gráfica obtenida en campo con el Método ARM con 20kV.

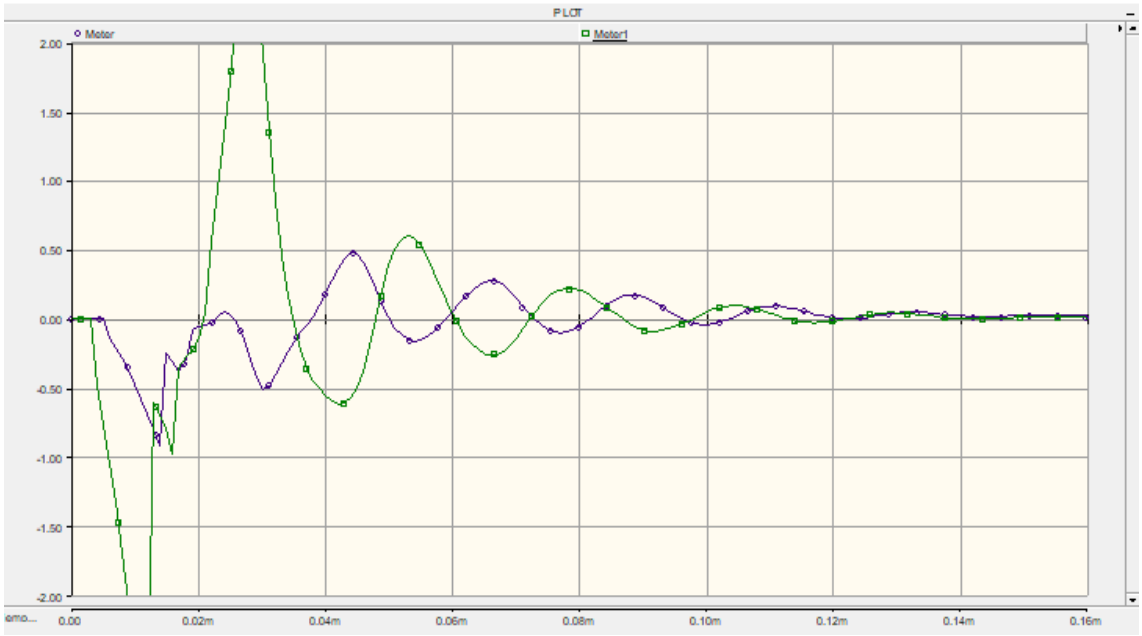


Figura 5. 7. Gráfica obtenida en simulación con el Método ARM con 20kV.

b. Longitud de 0.254 km. - Una vez obtenido este tiempo se procede a aplicar las fórmulas establecidas anteriormente:

$$v = \frac{v_o}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.8}$$

$$v = \frac{300000000\ m/s}{\sqrt{2.5}} \tag{5.9}$$

$$v/2 = 74{,}6m/\mu s \tag{5.10}$$

Luego se procede a calcular la longitud en donde se encuentra la falla:

$$l = v\frac{\tau}{2} \tag{5.11}$$

$$l = 59.01 * 0.441767 \tag{5.12}$$

$$l = 26.06\ m \tag{5.13}$$

Porcentaje de error entre la simulación y la gráfica en campo:

$$\%Error = \frac{25 - 26.55}{25} * 100 \tag{5.14}$$

$$\%Error = 6.2\%$$

El resultado principal en esta grafica es que a través de un pulso de baja tensión se obtendrá un espectro general o de referencia del cable, y se entiende de igual forma que mientras el cursor no se lo ubique en el final del cable este puede marcar una n distancia, por lo que es importante conocer la longitud del cable que se va analizar.

Tabla 5. 1. Tabla de resultados con el porcentaje de error entre las medidas simuladas y de campo (pre localización)

Método	**Medida obtenida en campo**	**Medida obtenida mediante Simulación**	**Porcentaje de error entre la simulación y la medida en campo%**
Método ARM 6kV	25 m	26.51 m	6.04%
Método ARM 20kV	25,4 m	26,55 m	6.2%

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN PRECISO ACÚSTICA

Se ha programado un entorno de simulación en Matlab/Simulink. Los parámetros de simulación, tales como valores de resistencias y capacitancias se cargan en el sistema mediante la ejecución de un script. Posteriormente se ejecuta el modelo con una simulación de tiempo discreto con un paso de 10 nanosegundos y se visualizan los resultados.

El valor de la resistividad por tramo viene siendo calculado mediante el uso de una fórmula:

$$R = \rho_o(1 + \alpha \cdot \Delta t) \cdot \frac{L}{A} \tag{5.15}$$

Donde ρ_o es la resistividad de referencia del material, α el coeficiente de temperatura, Δt la diferencia de temperatura entre el valor de estudio y la temperatura de referencia, L es la longitud del cable, y A es su sección. Para la inductancia del cable, se ha considerado un cable coaxial:

$$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \tag{5.16}$$

Donde la relación entre el radio exterior y el radio interior viene dada por $\frac{R}{r}$. Para el valor de la capacitancia, se asume una geometría dada por un conductor coaxial:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_o\varepsilon_r}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \tag{5.17}$$

Donde se asume una cubierta plástica con un $\varepsilon_R = 40$. Se puede apreciar entonces, que, para modelar las líneas de transmisión, se ha considerado un enfoque teórico simplificado dada la carencia de datos y parámetros.

Además, el modelo pi ha sido considerado con la capacitancia, ya que, en esta clase de simulaciones, se busca recrear la mejor respuesta dinámica posible. Una vez que se ejecuta el modelo con todos los parámetros inicializados, se pueden apreciar las respuestas dinámicas de la corriente antes, en la falla y después de la falla.

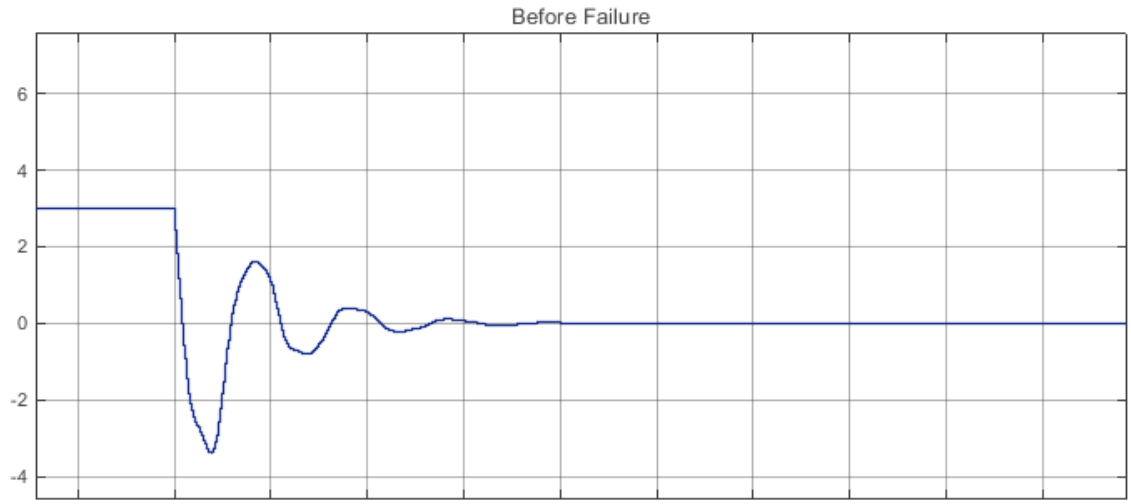


Figura 5. 8. Respuesta de corriente en la línea en un tramo antes de la falla.

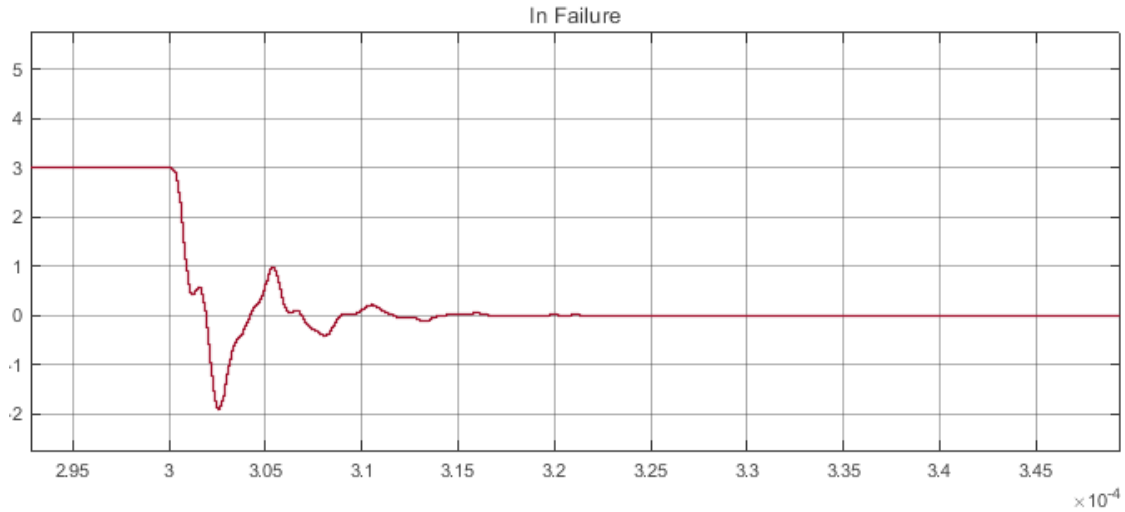


Figura 5. 9. Respuesta de corriente en la línea, directamente sobre la falla.

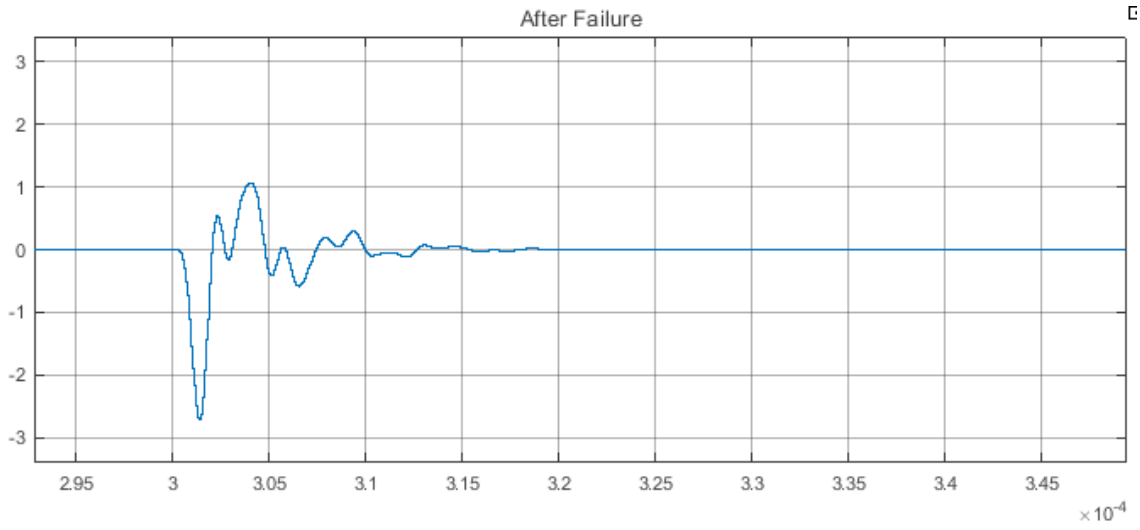


Figura 5. 10. Respuesta de corriente después de la falla.

Como se aprecia en las figuras respectivas, la respuesta dinámica es representada de forma correcta en el modelo propuesto, lo cual puede permitir su evaluación posterior. Para evitar fluctuaciones excesivas, en el cálculo de los parámetros de intensidad sonora en decibelios, antes, se realiza un promediado cuadrático de los valores obtenidos en cada paso de simulación. Con esta ponderación, se evita que ondas simétricas den un promedio de cero. Recordando la fórmula de promedio cuadrático para tiempo discreto:

$$X_{RMS}^2 = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \tag{5.18}$$

Se van sumando los valores cuadráticos de todos los datos obtenidos paso a paso, durante un periodo de simulación constante acorde con la frecuencia de trabajo. Así, si la frecuencia es de 1000 Hz, el periodo $T = \frac{1}{1000} = 1$ milisegundo. Este valor se pondera a intensidad, y de allí a decibeles.

Los resultados obtenidos son:

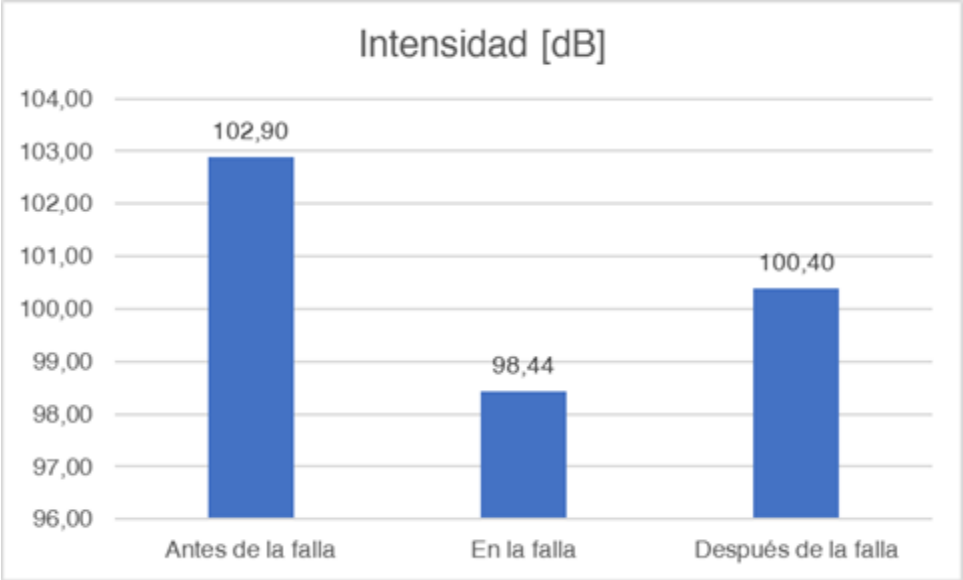


Figura 5. 11. Valores de intensidad obtenidos mediante la simulación.

Tabla 5. 2. Tabla de resultados con el porcentaje de error entre las medidas simuladas y de campo (localización acústica)

Método	**Simulación de la localización**	**Medida obtenida mediante equipo**	**Porcentaje de error entre la simulación y la medida en campo%**
dB	102.90	92.4	11.03%
	98.44	87.98	11.88%
	100.40	89.91	11.66%

Se puede entonces concluir, que el método de detección acústica permite encontrar la localización de fallas con un método físicamente disponible, con una sencillez probada y con la capacidad de ahorrar una gran cantidad de tiempo y recursos, especialmente si se lo compara con otros métodos de medición de fallas como el caso del puente de Wheatstone o el método de sección, el cual se utiliza cuando ya los métodos disponibles han fallado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En las simulaciones realizadas por el método TDR utilizando el Software PSCAD se pudo comprobar que existe un porcentaje de error demasiado elevado con respecto a la medición en campo en el método ARM a 5kV el porcentaje de error es del 6.04% % mientras que para el mismo método ARM a 20kV el error es de 6.2 %, es por ello que es importante tomar el valor apenas el pulso empieza a reflejarse, lo cual podría brindar porcentajes de error mucho más bajos.

Para la interpretación del principio de funcionamiento de la localización preciso acústica se planteó 3 diferentes posiciones, debido a que es la única manera en la que se puede simular el movimiento que tendrá el técnico con el receptor sobre el cable bajo ensayo.

Con respecto a los resultados de las mediciones y la simulación se tiene valores antes, durante y después de la falla, los cuales son 11.03%, 11.88% y 11.66% respectivamente, se observa claramente que el error es demasiado grande, sin embargo, al ser una simulación experimental y al no existir un estado del arte acerca de la modelación de este sistema se considera que es capaz de demostrar el principio de funcionamiento de la localización acústica y se lo puede utilizar como precedente para una investigación más profunda de la localización acústica.

Se ha elaborado una guía de procedimientos, las cuales están enumeradas en orden desde el **ANEXO A** hasta el **ANEXO G. Prueba #6 Reparación** con el objetivo de que aporte a los técnicos del área de mantenimiento de redes soterradas y para el laboratorio de transformadores de la empresa eléctrica quito, en él se redactan los procesos que se deben seguir para poder localizar una falla de una forma más simple y con los equipos adecuados, de ser necesario profundizar en algún tipo de procedimiento se ha colocado en el **ANEXO H. Dirección URL Manual del sistema Megger Centrix 2.0** la dirección URL del manual de usuario del sistema.

Las empresas distribuidoras de energía siempre han tenido el reto de solucionar en tiempos reducidos las diversas fallas que se presentan en cables subterráneos, en este caso el personal del laboratorio de transformadores de la EEQ ha recibido satisfactoriamente la guía de procedimientos realizada para un proceso de revisión de la misma, con el objetivo de aplicarla en el momento que así lo amerite.

6.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable que los equipos estén calibrados y tengan resoluciones precisas ya que el localizar una falla en un rango de 10 metros o más hace difícil su reparación en tiempos cortos.

En este trabajo se ha realizado una simulación en tiempo discreto, dados los objetivos planteados para la solución de sistemas dinámicos. Sin embargo, sería plausible realizar más investigaciones en las que se utilice una resolución adaptativa con la finalidad de evaluar si se pueden reducir los tiempos computacionales.

Como parte de trabajos futuros, se recomienda la búsqueda de modelos de líneas de transmisión alternativos que permitan una inclusión sencilla e intuitiva a las propuestas ya presentadas con la finalidad de evaluar su pertinencia y capacidad de emular los comportamientos dinámicos de los sistemas

Se recomienda revisar el **ANEXO K. Informe de mediciones realizadas en campo para redes soterradas de medio voltaje** en donde se ha elaborado un informe para las pruebas que se realicen sobre la localización de fallas, este contiene cosas relativamente importantes y necesarias para realizar un análisis del cable bajo ensayo y de todo el entorno que rodea a este tipo de pruebas.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] E. R. A. Zayas, «Métodos para la localización de fallas en cables de distribución de energía electrica subterránea en media y baja tensión,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, 2004.

[2] CENTELSA, «Cables para media tensión,» CENTELSA, Colombia, 2008.

[3] ElectriCasas, «Mantenimientp y reparación,» de *Localización de fallas en cables subterraneos*, Bogotá, 2020.

[4] I. P. Porfiri, «Inductor Ingenieria,» de *Detección, análisis y prevención de fallas en cables subterráneos técnicas de descargas parciañes- very low frequency- microscopa digital 3D- rayos X*, Bogotá - Colombia, 2009.

[5] J. D. J. Cervantes, Sistemas de distribución de energía eléctrica, México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1995.

[6] ikastaroak.birt.eus, «Birt.LH,» [En línea]. Available: https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/IDI/IDI01/es_IEA_IDI01_Contenidos/website_1_estructura_de_los_sistemas_elctricos_de_potencia.html#. [Último acceso: 10 11 2020].

[7] I. A. G. Ontaneda, «Diseño de una red soterrada de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público del centro de la ciudad de Ibarra para la Empresa Eléctrica Regional Norte.,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador, 2019.

[8] M. A. M. C. Edwin Fernando Domínguez Quilli, «NORMAS TÉCNICAS PARA DISEÑO Y EXPANSIÓN DE LAS REDES,» 2011. [En línea]. Available: https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/712/1/te306.pdf. [Último acceso: 12 2020].

[9] V. d. l. P. M, «Soterramiento de Redes. Experiencia Comparada,» Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile, 2012.

[10] U. T. E. d. Quevedo, «CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE INSTALACIONES SUBTERRANEAS DEL CAMPUS MANUEL HAZ ALVAREZ DE LA UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO -ETAPA 2 -,» 2015. [En línea]. Available: https://www.uteq.edu.ec/lotaip/lotaip/pdf/2015/Agosto/literalk/ProyectoRedesElectricas.pdf. [Último acceso: 12 2020].

[11] M. Fuster, «TEMA 3 – DISEÑO DE UNA LÍNEA SUBTERRÁNEA EN A.T.,» de *Generalidades Tras el transporte a través de líneas aéreas de AT desde las centrales productoras*, 2016.

[12] CENTELSA, Cables y tecnología (Cables para media tensión), Colombia: Litoservi Editores S.A, 2008.

[13] Análisis técnico económico de cables subterraneos en cobre y aluminio, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2003.

[14] U. Fenosa, «Líneas eléctricas subterráneas,» Union Fenosa, España, Diciembre de 2016.

[15] J. Loor, «Ciclotutoria de distribución eléctrica redes de distribución subterránea,» de *Redes de distribución*, Chile, 2019.

[16] M. C. Eléctricos, «VENTAJAS DEL XLPE FRENTE AL PVC,» MARLEW Conductores Eléctricos, Avellaneda - Buenos Aires, 2015.

[17] L. Agudelo, M. Suárez y D. Gómez, Definición De Índices De Salud Para Cables De Media Tensión Aislados En XLPE, Medellín: INTERCOLOMBIA S.A E.S.P., 2018.

[18] Inductor Ingeniería S.A., «INSTRUMENTOS PARA DETECCION / LOCALIZACION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS,» INDUCOR INGENIERIA S.A. , Buenos Aires - Argentina, 2012.

[19] B. e. t. flow, «Localización de averías en cables,» 2015. [En línea]. Available: http://martinbaur.es/productos/BAUR_Resumen_Localizacion%20Averias_es.pdf. [Último acceso: 12 2020].

[20] G. Domínguez, «Cables y conductores | Localización de fallas en cables de energía,» *Revista Ingeniería Eléctrica*, nº 333, p. 2, 2018.

[21] ELECTRICAL TESTING GROUP INDUCTOR, Capacitación y entrenamiento en técnicas de ensayos, diagnostico y detección de fallas en cables subterráneos de energía (TEORIA Y PRACTICAS DETECCION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS), Buenos Aires - Argentina: INDUCTOR S.A., 2012.

[22] D. Cárdenas, «El recalentamiento elÈctrico por termoconducción. Una perspectiva fisioquímica del calentamiento eléctrico,» *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, nº 64, pp. 58-61, 2012.

[23] G. Mora Villagomez y E. Muñoz Valencia, «Analisis del sistema de puesta a tierra de la casa de la cultura nucleo del guayas,» 2010. [En línea]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2198/12/UPS-GT000150.pdf. [Último acceso: 12 2020].

[24] A. Peñaloza y L. Nazareno, «Diagnostico y Localización de Fallas en Cables,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2019.

[25] M. C. 2.0, «Especificaciones Técnicas VAN Cables,» Megger Power On , Bronze Way, Dallas, 2019.

[26] MEGGER, «Instrumentos de medición para instalaciones de media y alta tensión,» RAYMOND BIESOLD, 2013, 2020.

[27] sebaKMT Iberia S.L. Compañía del Grupo Megger, «El único sistema combinado para ensayo y diagnóstico de cables,» Villaviciosa de Odón 28670 , Madrid España.

[28] AMPERIS, «Medición de la resistencia de aislamiento,» 2007. [En línea]. Available: https://www.amperis.com/recursos/articulos/medicion-resistencia-aislamiento/. [Último acceso: 11 05 2021].

[29] Electrical Testing Group Inductor Ingenieria , Prueba y Diagnostico de cables de energia mediante el uso de tecnología VLF (Very Low Frequency) Parte IV, Buenos Aires - Argentina: INDUCTOR INGENIERIA S.A..

[30] MEGGER , Centrix 1 Sistema para furgón de pruebas con control centralizado, Dallas, TX 75237: Megger CSA, 2020.

[31] Electrical Testing Group INDUCTOR, DETECCION DE FALLAS EN CABLES SUBTERRANEOS, Buenos Aires - Argentina: INDUCTOR INGENIERIA S.A., 2012.

[32] P. J. S. Pazmiño, Cálculo de transitorios en líneas de transmisión a 230 KV con aplicación a la línea Quevedo Totoras., Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.

[33] A. E. P. LTD, «ADIRADH Energy PVT. LTD,» 2020. [En línea]. Available: https://adiradh.com/product/sheath-fault-locating-system/. [Último acceso: 01 05 2021].

[34] UNE-EN, «Norma Técnica UNE-EN 13306 (Terminología del mantenimiento),» AENOR. p43, Madrid - España, 2011.

[35] W. F. T. Albán, «Gestión de mantenimiento de cables subterráneos de media tensión en el Sistema Eléctrico del Bloque 31 operado por PETROAMAZONAS EP,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba - Ecuador, 2017.

[36] A. Tapia, «Mantenimiento en instalaciones eléctricas,» *Revista Energy Management*, 2012.

[37] J. P. Ordañez Sanclemente y L. G. Nieto Alvarado , «Mantenimiento de sistemas electricos de distribuación,» Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2010.

[38] C. P. Daniel, «Localización de fallas en cables subterráneos mediante el método de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR),» Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México DF, 2011.

[39] A. M, G. Oggier, L. Piris-Botalla, C. Falcp y G. García, «Estrategia de detección de fallas de circuito abierto en semicondutores de convertidores CC-CC aislados,» 2015. [En línea]. Available: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie296_gea_estrategia_de_deteccion_de_fallas_de_circuito_abierto.pdf. [Último acceso: 12 2020].

8. ANEXOS

ANEXO A. Criterios de Seguridad antes de realizar las pruebas.

1. Criterios de Seguridad

Al realizar una prueba de cables en la red eléctrica, la seguridad del personal y la confiabilidad del servicio que brinda el sistema eléctrico son de máxima importancia, es por ello que la IEEE 1234- menciona que todas las pruebas de cables y equipos se realizaran en sistemas aislados y sin energía, excepto cuando se requiera y autorice específicamente lo contrario. Las prácticas de seguridad deben incluir, entre otros, los siguientes aspectos:

- Procedimientos operativos de seguridad del usuario aplicables.
- IEEE Std 510, practicas recomendadas por IEEE para la seguridad en pruebas de alto voltaje y alta potencia.
- Procedimientos operativos estatales y locales aplicables.
- Protección de la propiedad de los servicios públicos y del cliente.

Durante la prueba, uno o más cables estarán alejados del sitio de prueba, por lo tanto:

- Los extremos de los cables deben estar despejados y protegidos.
- Las comunicaciones se mantendrán con el personal en el extremo remoto en todo momento.
- Los cables se deben desenergizar y conectar a tierra antes de comenzar la prueba.
- Cualquier cable o conductor que no esté bajo prueba deberá estar sólidamente conectado a tierra durante la prueba.

Al finalizar la prueba de alto voltaje, se debe prestar atención a:

- Técnicas especiales requeridas para la descarga de cables y sistemas de cables para disipar cualquier energía almacenada que pueda estar presente en el cable.
- Requisitos de puesta a tierra de los cables para asegurar que se dé el tiempo adecuado para descargar completamente las cargas atrapadas que pueden existir en un cable debido a la absorción eléctrica.

Las consideraciones de seguridad en las pruebas eléctricas no solo aplican al personal, sino también al equipo de prueba y el aparato o sistema bajo prueba. Estas prácticas recomendadas

tratan en general con la seguridad en pruebas de laboratorio, campo y de sistemas que incorporan fuentes de alimentación de alto voltaje. Para poder decidir los criterios de seguridad adecuados basados en la normativa IEEE 510-1983 se necesita juicio propio para saber cuáles serán aplicables en los casos en los que estén involucrados los voltajes de prueba y los riesgos que estos pueden generar. De manera general se pueden mencionar los siguientes criterios:

- Todos los terminales sin conexión a tierra del equipo de prueba, de los cables o conductores deben considerarse energizados.
- Las conexiones a tierra comunes deben estar sólidamente conectadas tanto al equipo de prueba como a la muestra de prueba. Como mínimo, la capacidad de corriente de los cables de tierra debe exceder la necesaria para transportar la máxima corriente a tierra posible. Se debe considerar el efecto el aumento del potencial de tierra debido a la resistencia y reactancia de la conexión a tierra.
- Se deben tomar precauciones para evitar el contacto accidental de los terminales activos por parte del personal, ya sea protegiendo los terminales activos o colocando barreras alrededor del área.
- Debería proporcionarse la conmutación adecuada y, cuando proceda, un observador para la desactivación inmediata de los circuitos de prueba por motivos de seguridad. En el caso de las pruebas de CC, también se debe incluir disposiciones para descargar y poner a tierra los terminales cargados y el aislamiento de soporte.
- Las pruebas de alto voltaje y alta potencia deben ser realizadas y supervisadas por el personal calificado.

Prácticas de seguridad del área de prueba

- Las señales de advertencia apropiadas, por ejemplo, PELIGRO – ALTO VOLTAJE, deben colocarse en o cerca de las puertas de entrada.
- En la medida de lo posible, se deben proporcionar dispositivos automáticos de puesta a tierra para aplicar una tierra visible en los circuitos de alto voltaje después de que se desenergicen; en algunos circuitos de alto voltaje, particularmente aquellos en los que los elementos se cuelgan de una configuración a la siguiente, esto puede ser no factible. En estos casos, el operador debe conectar una tierra al terminal de alto voltaje usando una manija adecuadamente aislada. En el caso de varios condensadores conectados en serie, no siempre es suficiente conectar a tierra únicamente el terminal de alto voltaje. Los terminales intermedios expuestos también deben estar conectaros a tierra, esto se

aplica en particular a los generadores de impulsos donde los condensadores deben cortocircuitarse y conectarse a tierra antes y mientras se trabaja en el generador.

- La conexión a tierra segura de la instrumentación debe tener prioridad sobre la conexión a tierra adecuada de la señal, a menos que se hayan tomado otras precauciones especiales para garantizar la seguridad personal.

Circuito de control y medida

- Los cables no deben correr desde un área de prueba a menos que estén contenidos en una cubierta metálica conectada a tierra y terminados en un recienta metálico conectado a tierra, o a menos que se hayan tomado otras precauciones para garantizar la seguridad del personal. El cableado de control, las conexiones del medidor y los cables que van a los osciloscopios van en esta categoría. Los medidores y otros instrumentos con terminales accesibles normalmente deben colocarse en un compartimiento metálico con una ventana de visualización.

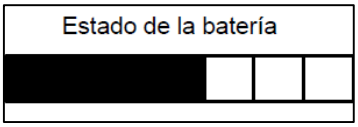
Circuitos temporales

- Los circuitos de medición temporales deben ubicarse completamente dentro del área de prueba y verse a través de la cerca. Alternativamente, los medidores pueden ubicarse fuera de la cerca, siempre que los medidores y los cables, externos al área, estén encerrados en recintos metálicos conectados a tierra.

ANEXO B. Prueba #1 Trazado / Ruta

Procedimiento con localizador de líneas

Comprobación de las baterías.- Gire el transmisor a "L". Si el estado de la batería tiene menos de 5 barras y reemplace las baterías o recargue el dispositivo. Posterior a ello encienda el transmisor y en la pantalla LCD verificar el estado de la batería.



Conexión del transmisor al conductor. - Apagado el transmisor se debe enchufar el accesorio conductor en el transmisor. Posterior a ello conectar el cable de color rojo al conductor que estará bajo ensayo. En este punto es importante mencionar que la conexión a tierra del equipo se lo puede realizar con una varilla a tierra, o si existiese una puesta a tierra en el lugar de medición se la puede conectar a través del cable de color negro, una vez realizado el procedimiento antes mencionado se enciende el transmisor y se seleccionar la frecuencia con la cual se trabajara.

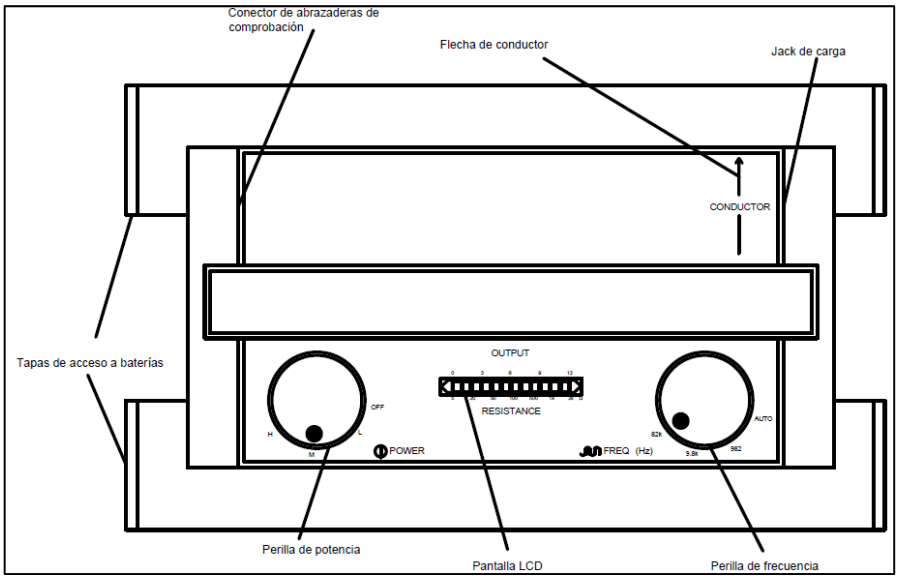
Ajustar los controles del receptor.- Se enciende el receptor y se selecciona la frecuencia, esta selección dependerá de la frecuencia que se programa en el transmisor, es decir, si en el transmisor se tiene una frecuencia de 82kHz en el receptor se deberá elegir 82kHz de igual manera, o su vez si se seleccionó en el transmisor frecuencia auto, en el receptor se debe hacer lo mismo.

Área de barrido alrededor del transmisor. - Este procedimiento se lo realiza cuando no se sabe con exactitud en qué dirección están los cables o líneas bajo ensayo, y consiste en que el transmisor hace circular la frecuencia seleccionada para que el receptor a través de la pantalla muestre en qué dirección se debe desplazar (izquierda/ derecha) según la ganancia que este marque, esto podrá dar una referencia de la ubicación los conductores enterrados.

Localizar línea a seguir.- Este paso se lo hace una vez que se ha ubicado al dirección en la que va el conductor, ahora lo que sigue es localizarlo desplazándose de derecha a izquierda manteniendo en la línea central de la pantalla.

Medir la profundidad.- Al finalizar se tendrá la línea localizada, y el último paso es medir la profundidad a la que se encuentra el cable, este paso es opcional cuando no se tenga un pozo de revisión o una cámara de revisión subterránea en la que muestre la distancia a la que está enterrado el cable, el procedimiento es simple en el receptor se presiona el botón de profundidad y este marcara la distancia en la que se encuentra enterrado el cable bajo ensayo.

Características del Transmisor (Emisor)

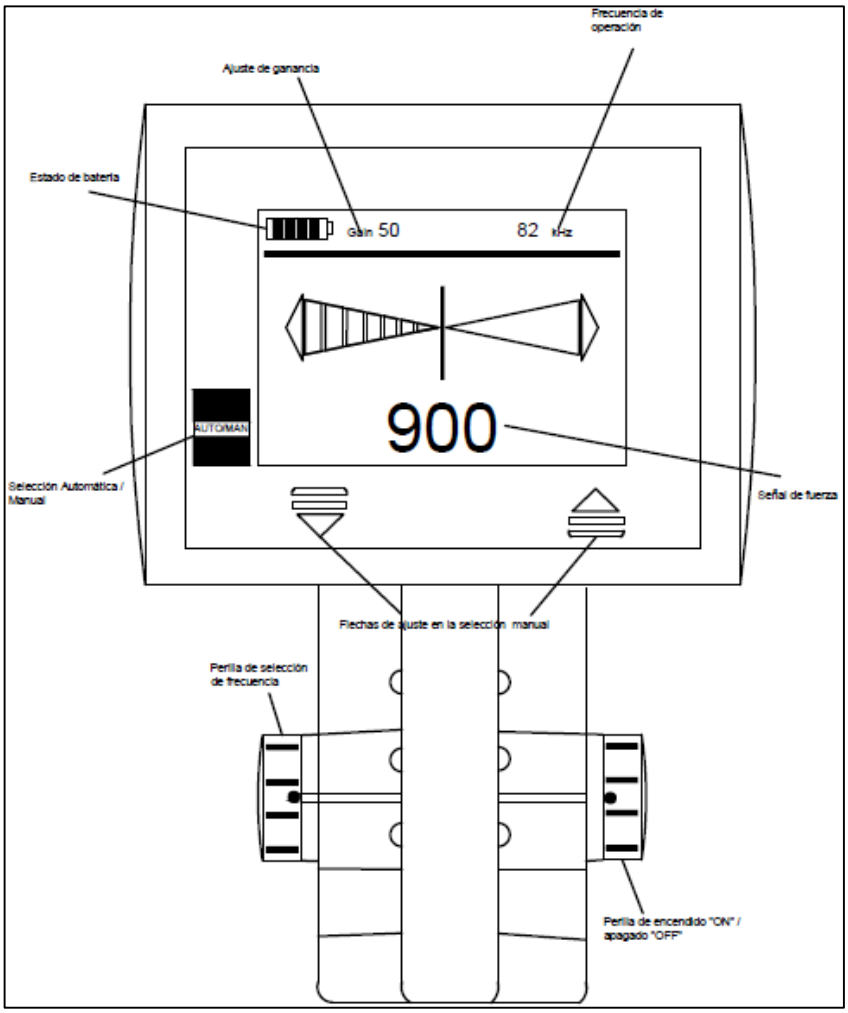


Altavoz.- Es una indicación a través de sonidos los cuales cambian de acuerdo a lo siguiente:

Tono de altavoz	Descripción
Cada 5 segundos	Buena conexión con el transmisor.
Muy rápido	Advertencia de batería baja y alerta de un conductor en mal estado.
Constante	Alerta de sección analizada incorrecta.

Perilla de encendido. – Mediante ella se puede configurar la cantidad de señal del transmisor para cada ajuste de potencia, debido a que cambia según a la frecuencia que esté utilizando.

Características del Receptor



Controles e indicadores del receptor

Perilla de volumen de encendido / apagado. – Esta perilla se gira en el sentido de las manecillas del reloj, para encender la unidad receptora en el lado derecho, así como también para controlar el volumen del sonido que esta brinda durante la localización de la línea.

Perilla de ajustes de frecuencia. - La perilla con la cual se elegirá la frecuencia va a depender del modelo del equipo con el que se esté trabajando, es decir, de la capacidad de frecuencia que este tenga.

Pantalla LCD (Pantalla de cristal líquido). - En esta pantalla se muestra el estado de la batería, la frecuencia de funcionamiento, la guía con la cual el usuario se debe desplazar de izquierda a derecha, el ajuste de ganancia y la intensidad de la señal.

Funciones del receptor

Ubicación izquierda / derecha.- Proporciona información visual y audible de dirección y distancia para guiarlo hacia el conductor.

Modo pico.- Proporciona una pantalla de cortina de la intensidad de la señal para ubicar el cable según la intensidad máxima de la señal en lugar de la guía izquierda / derecha. Este modo es útil en aplicaciones especiales y proporciona capacidad al usuario.

Medida de corriente. - No varia con la profundidad, ayuda en la identificación positiva de la línea y ayuda a identificar T y laterales, fallas grandes, etc. (Con dispositivos adicionales)

Pantalla de nivel de batería. – En esta se muestra constantemente la vida restante de la batería y se proporciona una alerta intermitente de baja potencia.

Profundidad del botón pulsador.- Proporciona medidas de profundidad en pies, pulgadas y centímetros tanto en modo activo o pasivo.

Ajuste de ganancia continúa en tiempo real. - La ganancia automática optimiza continuamente la sensibilidad del receptor de forma totalmente automática y elimina la necesidad de realizar ajustes por parte del usuario.

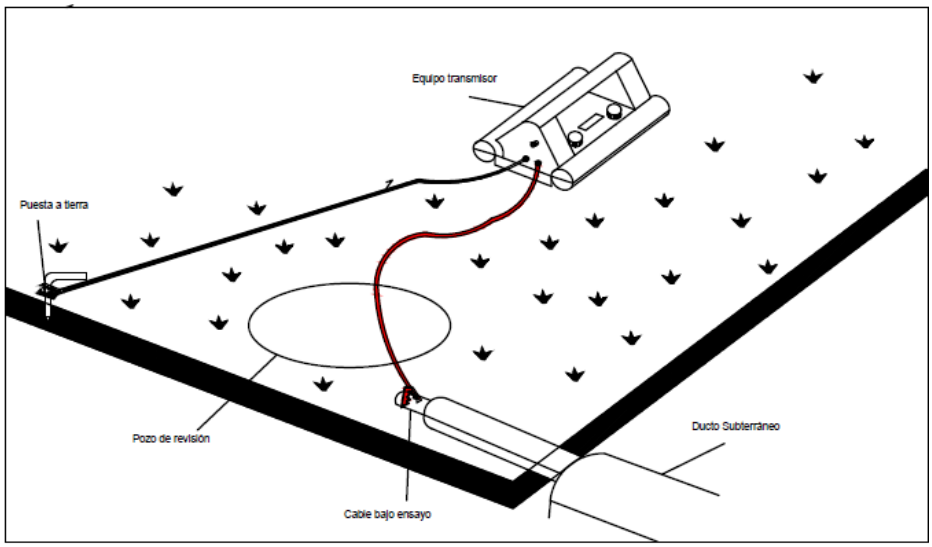
Control de ganancia manual. – Proporciona una mayor sensibilidad en situaciones de localización particularmente difíciles. En los botones de ganancia arriba / abajo se puede obtener una máxima eficiencia en cuanto a la búsqueda del cable bajo ensayo.

Visualización simultanea de picos y nulos. – Proporciona información sobre la señal máxima y la línea central al mismo tiempo.

Esquemas de conexión para la localización de cables

- **Conexión directa (Conductiva)**

Este tipo de conexión es el más utilizado debido a que el transmisor está conectado directamente a una parte metálica del conductor, lo que permite que la señal máxima llegue al mismo, en este modo de funcionamiento, el receptor puede estar más cerca del transmisor y se reduce la interferencia del conductor adyacente enterrado.



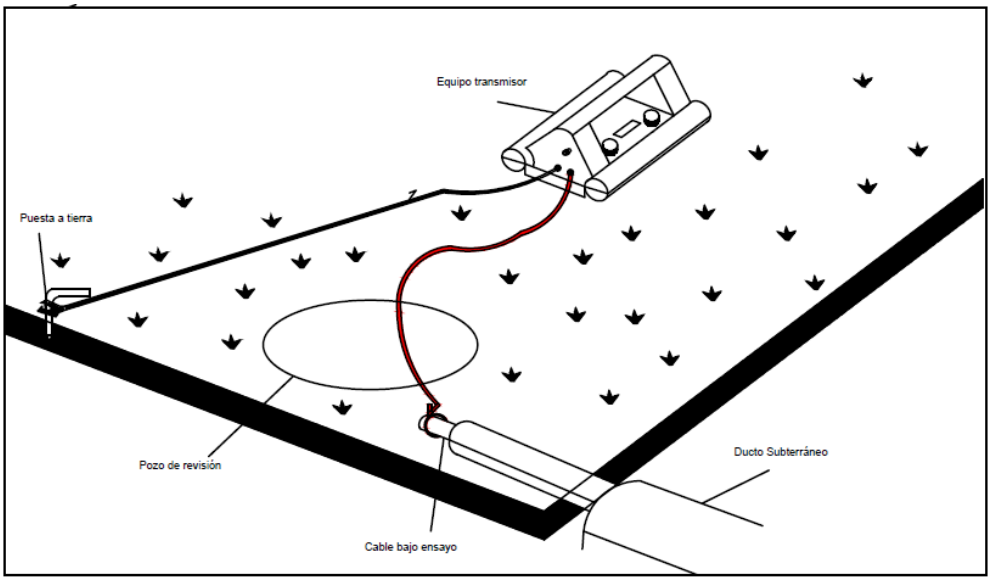
1) Inserte el accesorio conductor.- Apague el transmisor, enchufe el cable de conexión directa en el enchufe de salida del transmisor.
2) Conectar al conductor bajo ensayo.- Conecte el cable de color rojo directamente al cable que se pretende analizar.
3) Configurar y conectar a tierra. – En este paso se debe extender el cable color negro lo más lejano posible al transmisor con el objetivo de buscar una puesta a tierra adecuada, en este paso se debe tener mucho cuidado ya que este no podrá pasar ni acercarse al conductor que este bajo ensayo, o si el cable está abierto en sus dos puntas y tiene apantallamiento de cobre o aluminio se puede conectar el cable de tierra a su apantallamiento.
4) Seleccionar la frecuencia. – Este paso va a depender de la capacidad con la cual el transmisor podrá realizar las pruebas, como se muestra a continuación:

Selección de frecuencia	Directo
Auto	Se elige la mejor frecuencia.
982Hz	Se usa en buenos conductores y para el rastreo en largas distancias.
9.82kHz	Esta frecuencia es utilizada en áreas congestionadas (entre cables eléctricos, de redes de telecomunicaciones, etc.).
82kHz	Esta es utilizada para la localización generalmente en tuberías con materiales no metálicos.
Todas las frecuencias	Simultáneamente desde 9.82kHz – 82kHz

5) Seleccionar la potencia de salida. - Algunos de los modelos de transmisores de frecuencia tienen solamente tres configuraciones de potencia de salida; baja, media y alta. La potencia de salida cambiaría de acuerdo a la frecuencia que seleccione.

- **Acoplamiento inductivo con Metroclamp**

Si bien la conexión directo no es posible, el acoplamiento inductivo es el siguiente mejor método para obtener señal del conductor objetivo

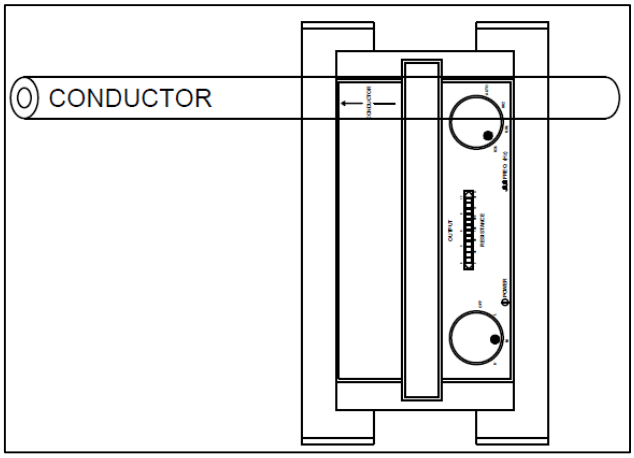


1) Conexión de la abrazadera. – Una vez apagado el transmisor, enchufar el cable Metroclamp en el enchufe de salida del transmisor.

2) Colocar la abrazadera. – Coloque la Metroclamp alrededor del conductor, cerca de la puesta a tierra, se debe asegurar que las mordazas de la abrazadera estén completamente cerradas y tocándose entre sí.
3) Seleccione la frecuencia de trabajo en el transmisor.
4) Gire el transmisor a "L".- Lo primero que se mostrara es la duración de la batería, luego la pantalla mostrara las flechas derecha e izquierda parpadeando.

- Inductivo (método indirecto)

Este método se caracteriza por ser uno de los menos efectivos al aplicar señal para aislar un conductor, debido a que la señal se transmite en todas las direcciones y puede acoplarse a todos los conductores cercanos mediante inducción electromagnética. En ciertas ocasiones no es posible acceder a la tubería o al cable para realizar la conexión directa o utilizar el Metroclamp. De esta manera cuando el transmisor este encendido transmitirá la señal de la antena interna, por lo que no se necesita conexión a tierra cuando se induce una señal en el conductor objetivo (se debe desconectar tanto el accesorio conductor y el Metroclamp).



1) Ubicación del transmisor- Para este paso es importante retirar cualquier tipo de conector de la salida del equipo, y colocar el transmisor en la dirección en la que se tenga establecido el conductor bajo ensayo, esto se logra a través de la flecha marcada en el mismo equipo.
2) Seleccione la frecuencia de trabajo en el transmisor.
3) Gire el transmisor a "L".- Lo primero que se mostrara es la duración de la batería, luego la pantalla mostrara las flechas derecha e izquierda parpadeando.

1.2. Procedimiento a través de la plataforma

La Empresa Eléctrica Quito cuanta con su propia plataforma GIS, en la cual tiene especificado todos y cada uno de los elementos de la red de distribución y de transmisión; de esta manera cuando algún equipo de trabajo necesita conocer el lugar de ubicación de una red de distribución, un transformador, una subestación, acude a la misma para poder identificar la ruta exacta.

En el caso de la búsqueda de redes de distribución, específicamente de conductores los trabajadores de la EEQ suelen recurrir a esta plataforma, debido a que los datos, direcciones, diseños de las líneas en campo están dimensionadas de acuerdo a este sistema, de esta manera los pasos a seguir son los siguientes:

1) Ingresa al intranet de la EEQ



2) Clic en App Internas



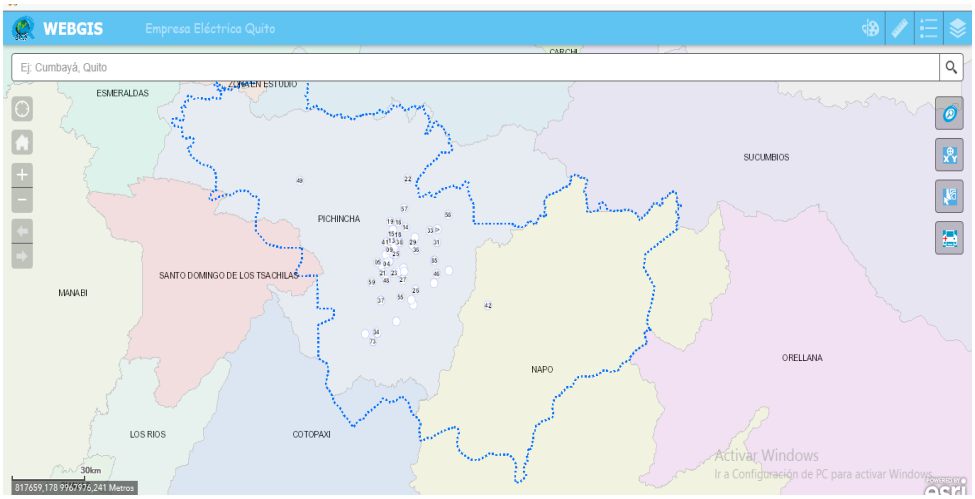
3)Clic en la opción Gis



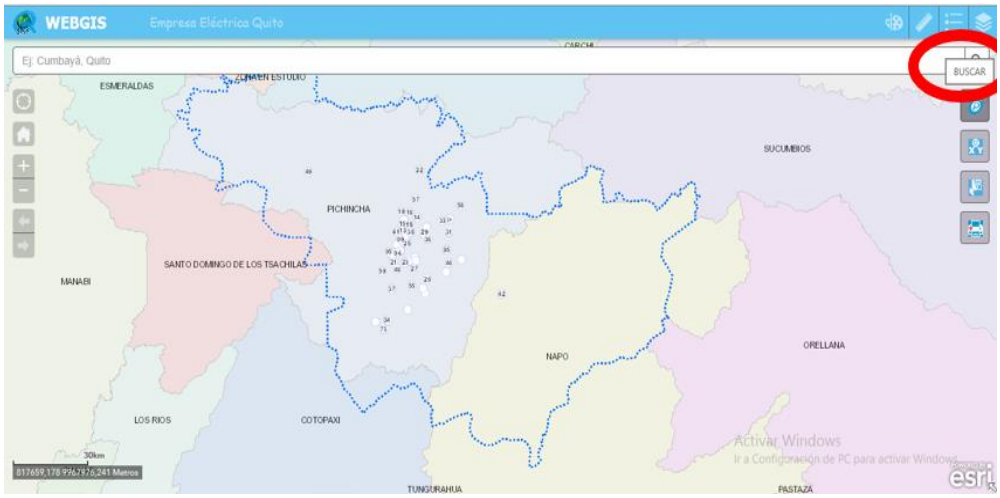
4) Clic en wedgis



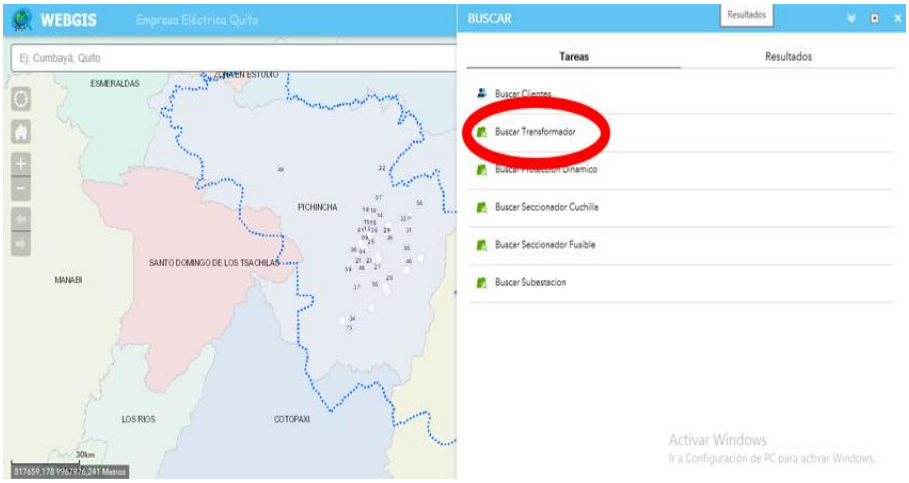
5) Se despliega el mapa de concesión de la EEQ



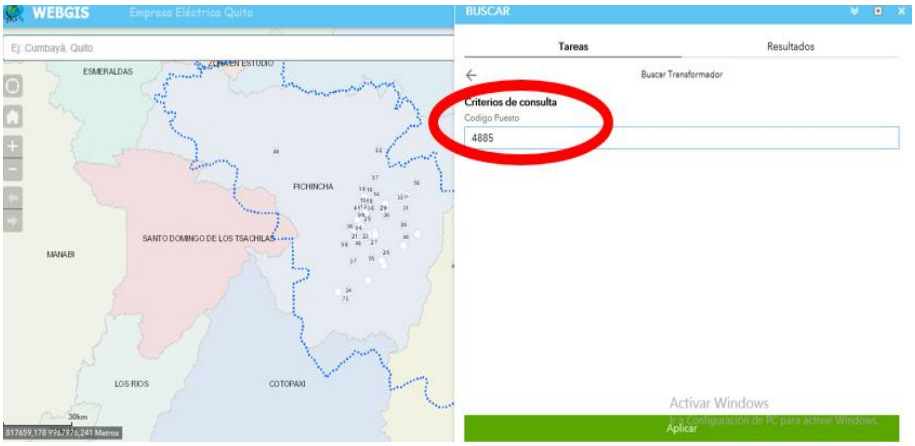
6) Clic en la Lupita (Buscar)



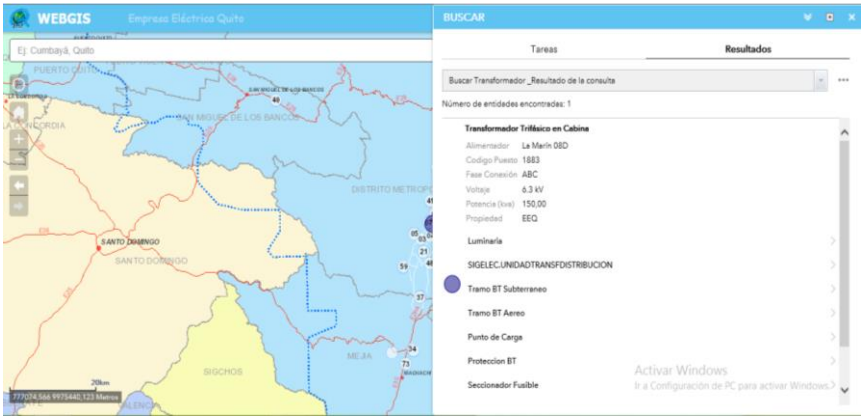
7) Se despliega las formas de búsqueda



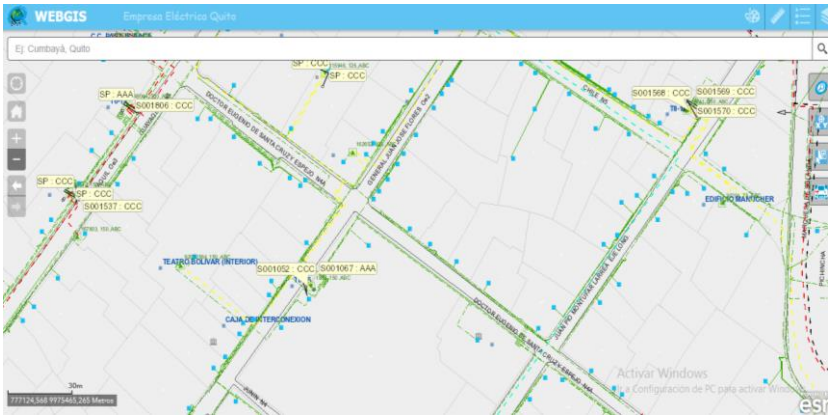
8) Ingresa el número de trasformador

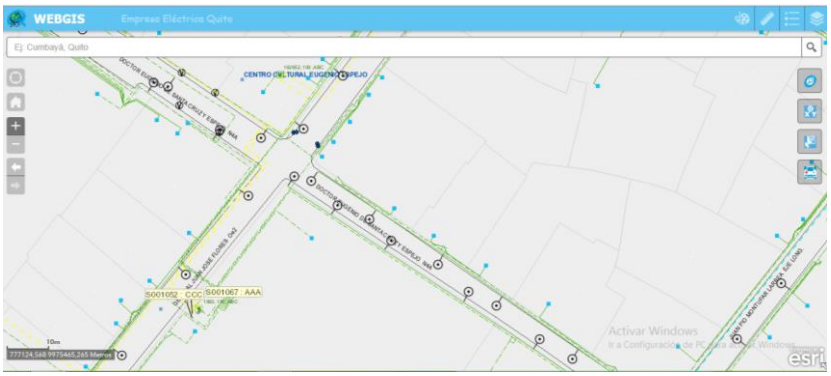


9) Se despliega la información buscada



10) Finalmente envía a la dirección exacta de ubicación del trasformador





ANEXO C. Prueba #2 Identificación de la falla

Es una prueba del cable con la cual se pueda conocer, cual es la tensión de ruptura, a que tensión rompe el cable y saber cuál de las fases es la fallada, puede haber fallas típicamente en una sola fase

Su objetivo es saber:

- El voltaje de ruptura
- La fase fallada
- El tipo de falla que se presenta de acuerdo a la reflexión.

Si el voltaje de ruptura es cero, se lograría determinar que el cable es un cortocircuito, mientras que si el voltaje de ruptura es elevado será una falla de alta resistencia.

Hay que tener en cuenta que no siempre con el reflectómetro se lograra identificar el tipo de falla, por ejemplo este método es ampliamente utilizado cuando existen cortocircuitos, sin embargo cuando las resistencias son elevadas es necesario la aplicación de una fuente de voltaje DC para lograr determinar qué tipo de falla es la que tiene el cable bajo ensayo.

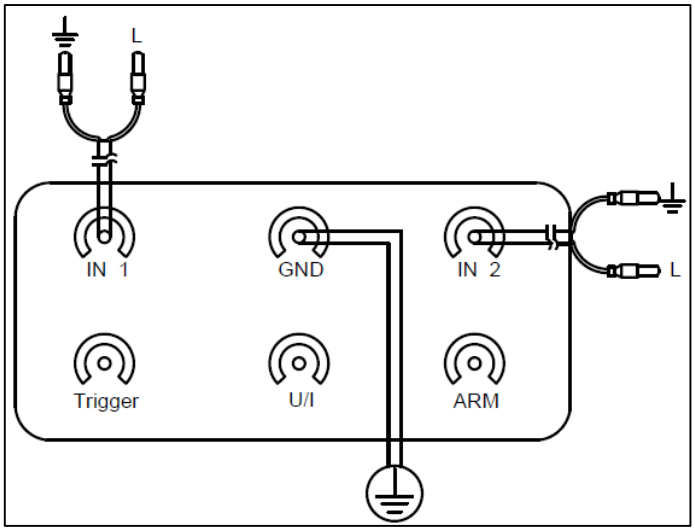
3.1. Procedimiento a través de la reflectometría

Puesta en marcha del equipo Teleflex.

1) Revisión del nivel de la batería.- Este punto es importante debido a que el equipo no se puede quedar sin suministro de energía en ninguno momento, por lo que se sugiere que nivel adecuado para iniciar una prueba es del 50% de batería según el fabricante, esto se lo puede revisar fácilmente en la interfaz de la pantalla del equipo.
2) Seleccionar el modo de operación Teleflex en el menú principal, como se va a identificar el tipo de falla que está ocurriendo, se lo podría catalogar como un bosquejo de lo que será la prelocalización por lo que la prueba aplicar un voltaje de prueba bajo.
3) Empezar la medición de reflexión de pulso.- Para la identificación del tipo de falla se recomienda hacer una medición normal, es decir, se realiza la prueba en la primera opción del menú Teleflex y se obtendrá reflexiones basadas en el principio del radar aprovechando algún tipo de cambio repentino en la impedancia del cable, básicamente mostrara el estado actual en el que se encuentre el cable, un ejemplo se muestra en la siguiente imagen:



4) Conexión del cable bajo ensayo. - Para poder realizar la medición de reflexión de pulso con el Teleflex, el dispositivo debe conectarse directamente a la fase o al objeto bajo ensayo, se sugiere que la prueba se la haga fase por fase en caso de cables bipolares, tripolares, etc., esto debido a que para tener una mejor apreciación del fenómeno es mejor analizarlo individualmente, en caso de querer realizar una comparación se puede efectuar mediciones en paralelo entres dos conductores, solamente si ese es el caso
5) Seguir los esquema de conexión que se presentan a continuación:



3.2. Información importante para realizar las mediciones

Velocidad de propagación

Para poder calcular la distancia existente entre el inicio del cable y la falla, el equipo debe conocer la velocidad de propagación en el cable, esta velocidad dependerá básicamente de variables físicas del cable, como por ejemplo el material, grosor del aislamiento, diámetro del cable, etc., de esta manera si este dato está mal dimensionado o ingresado con un error del 10% el resultado de la medición tendrá un error del 10%.

Si se conoce la longitud del cable se puede realizar una medición de reflexión de impulso y asegurarse que el curso este ubicado en la medida que corresponda al final del cable, si la traza no corresponde a la distancia del cable entonces se varia la velocidad de propagación hasta que se ubique en la distancia correcta del cable, luego esa velocidad debe ser guardada, anotada por el operador para futuras mediciones. (Ubicar una imagen si se tiene)

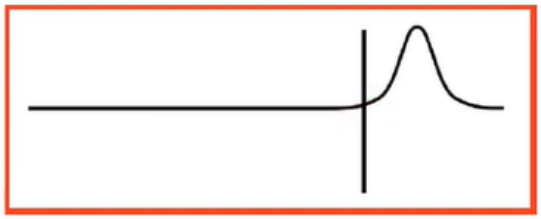
Ancho de pulso

La amplitud y la forma de la señal se ven modificadas durante el proceso debido a las características de atenuación y dispersión del cable, esto afectara también a los pulsos de medición y sus reflexiones, esto puede entenderse de la siguiente manera:

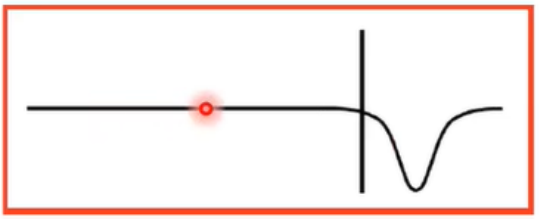
- Los pulsos estrechos con un parte más grande de frecuencias altas se ven sometidos a deformaciones mayores que las de los pulsos anchos.
- Los pulsos estrechos son más adecuados para distancias cortas en las que son capaces de proporcionar imágenes de mayor resolución que los pulsos anchos, mientras que para distancias largas sufren una atenuación y una dispersión mayor.

Rango de distancia	**Ancho de pulso recomendado**
<100 m	20 ns
100 m … 200 m	100 ns
200 m … 1 km	200 ns
1km … 2,5 km	500 ns
2,5 km … 10 km	1 µs
10 km … 30 km	2 µs
30 km … 80 km	5 µs
> 80 km	10 µs

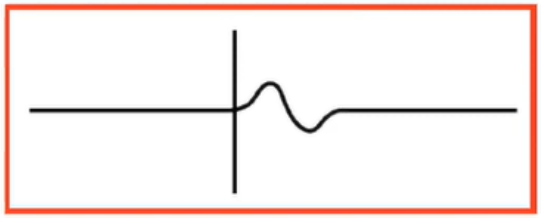
Reflectogramas TDR típicos



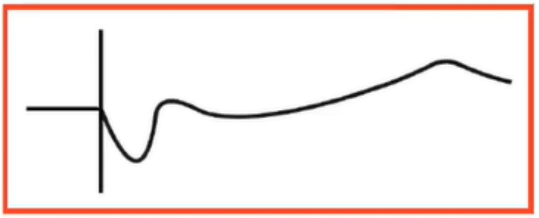
Conductor abierto



Conductor en cortocircuito



Empalmar/unir el cable



Unión en T



Empalme húmedo



Entrada de agua

ANEXO D. Prueba #3 Pre – localización de la falla

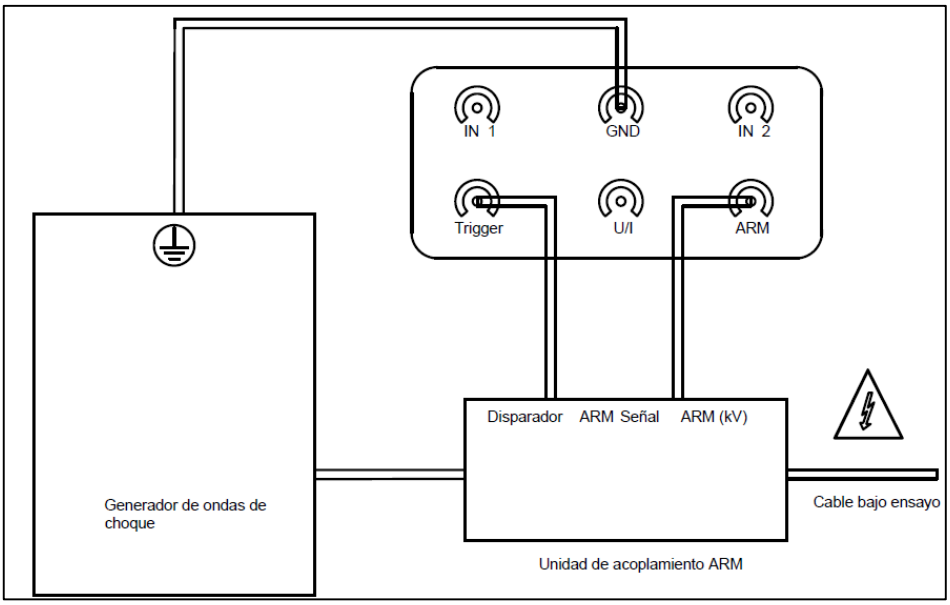
Para localizar con exactitud la posición de una avería en el segmento más pequeño posible del recorrido de un cable, es importante llevar a cabo un proceso de pre localización, esto con el objetivo de minimizar el tiempo total de la localización y sobre todo proteger los cables a tiempo. A diferencia del uso de la reflectometría para identificar la falla, en la prelocalización se usa alta tensión para poder pre localizar la falla, este proceso necesita obligatoriamente una sistema de AT como por ejemplo el SPG 40, Quemadores u otros generadores de ondas de choque.

4.1. Método de reflexión de arco ARM

El método ARM es adecuado para la prelocalización de averías de resistencia elevada en cables longitudinales totales de hasta 10km, para localizar la avería se obtiene primero un reflectograma en condiciones normales que en su interpretación se la vería como una traza de referencia, para luego provocar una descarga eléctrica en la avería mediante la utilización del generador de ondas de choques, el equipo hará alrededor de 15 mediciones de reflexión de arco, mientras dura la descarga en el punto de avería. Posterior a ello el usuario podrá decidir cuál de las curvas es la adecuada para poder analizarla. Al final estas dos trazas tanto la de referencia como la traza de la avería se mostraran en la interfaz del equipo.

El procedimiento para realizar esta medición es el siguiente:

1) Revisión del nivel de la batería.- Este punto es importante debido a que el equipo no se puede quedar sin suministro de energía en ninguno momento, por lo que se sugiere que nivel adecuado para iniciar una prueba es del 50% de batería según el fabricante, esto se lo puede revisar fácilmente en la interfaz de la pantalla del equipo.
2) Seleccionar el modo de operación ARM en el menú principal, como se va a pre localizar la falla que está ocurriendo, se obtendrá una gráfica de referencia y una gráfica del lugar en donde se está presentando la falla.
3) Para poder realizar una medición de la reflexión de arco ARM con el equipo Teleflex usado anteriormente, este dispositivo debe conectarse a una unidad de acoplamiento ARM adecuada, como por ejemplo un adaptador de choque de arco o filtro de separación de potencia, como se muestra en la figura



Esta unidad de acoplamiento asegura el acoplamiento y desacoplamiento confiable de los pulsos que servirán para la prueba ARM, además que protegen al reflectómetro de la alta tensión con la cual se va a trabajar en el cable bajo ensayo, al momento de la adquirir estos equipos es recomendable revisar si el Teleflex contiene acoplamiento ARM debido a que así se podrían realizar pruebas más completas.

4) Interpretación de resultados



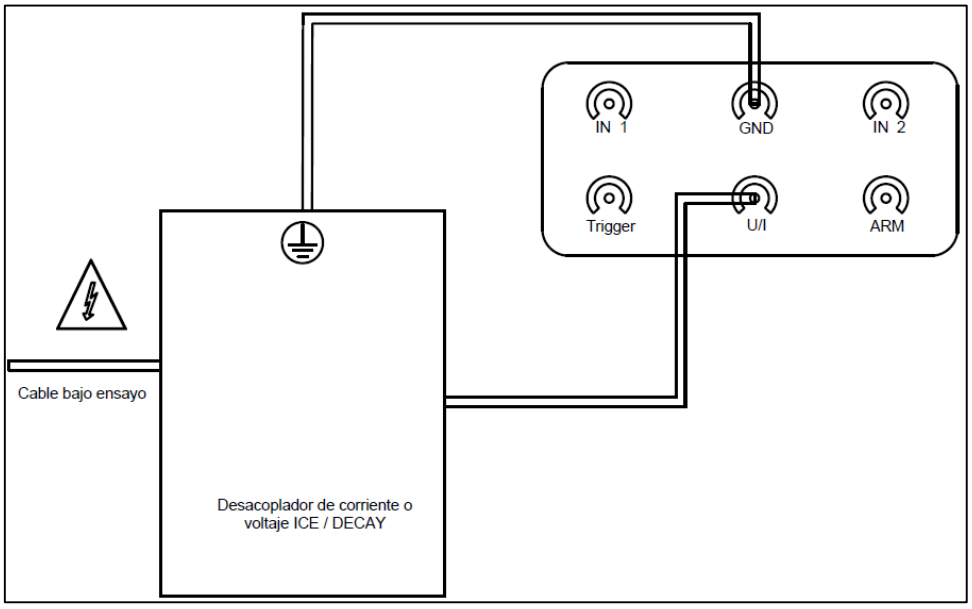
4.2. Método de descomposición DECAY

El método Decay se utiliza para pre localizar averías de alta resistencia con un tensión de encendido alta en cables que puedan soportar el nivel, para ello el cable se carga con un voltaje de corriente directa hasta que esta supere la tensión de ruptura de la avería, entonces la energía

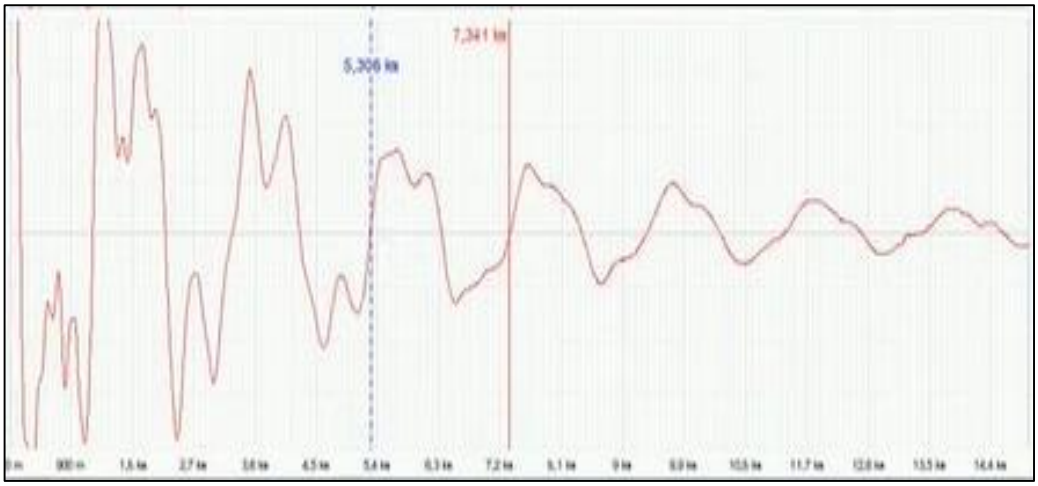
almacenada en la capacitancia del cable se descarga a través de la avería y genera una onda progresiva que es registrada y representada por el Teleflex como una oscilación atenuada, para ello también es importante aplicar la siguiente formula:

$$Distancia\ de\ falla = \frac{Distancia\ pico\ a\ pico}{2} - longitud\ del\ cable\ del\ E.P$$

1) Revisión del nivel de la batería.- Este punto es importante debido a que el equipo no se puede quedar sin suministro de energía en ninguno momento, por lo que se sugiere que nivel adecuado para iniciar una prueba es del 50% de batería según el fabricante, esto se lo puede revisar fácilmente en la interfaz de la pantalla del equipo.
2) Seleccionar el modo de operación DECAY (DEC) en el menú principal, como se va a pre localizar la falla que está ocurriendo, se obtendrá una gráfica de referencia y una gráfica del lugar en donde se está presentando la falla.
3) Para poder llevar acabo un procedimiento de localización transitoria como es el método Decay, con la utilización del Teleflex el dispositivo debe conectarse al equipo de desacoplamiento de corriente o voltaje o un sistema de localización de averías , como se muestra en la siguiente figura:



4) Interpretación de resultados



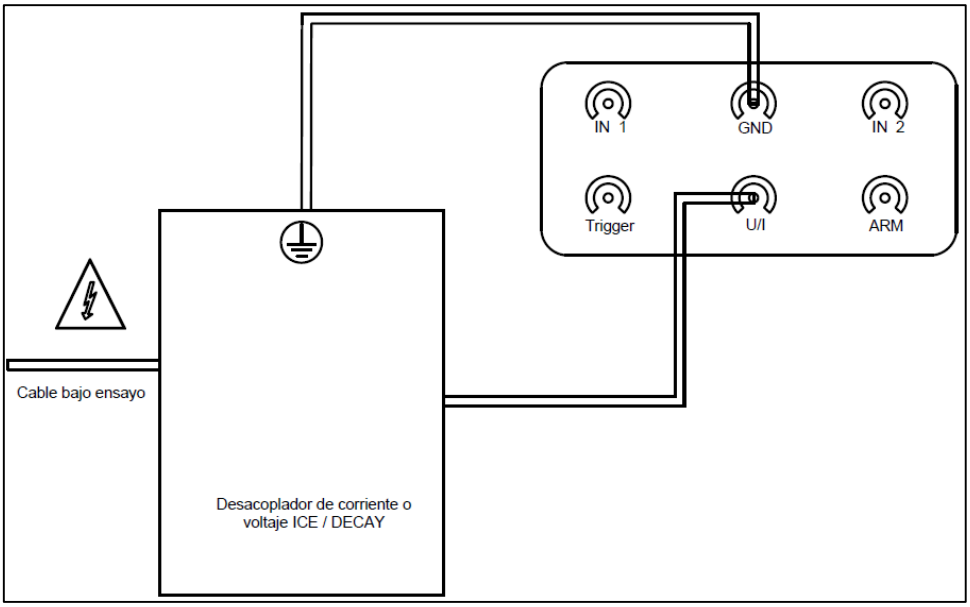
El software intentara automáticamente identificar el periodo de la oscilación y colocar las marcas correspondientes, pero si la curva de decaimiento registrada se superpone demasiado con las señales de interferencia, se debe ajustar el filtrados para ellos debe guiarse en el manual de operaciones del equipo.

4.3. Método de desacoplamiento de corriente ICE

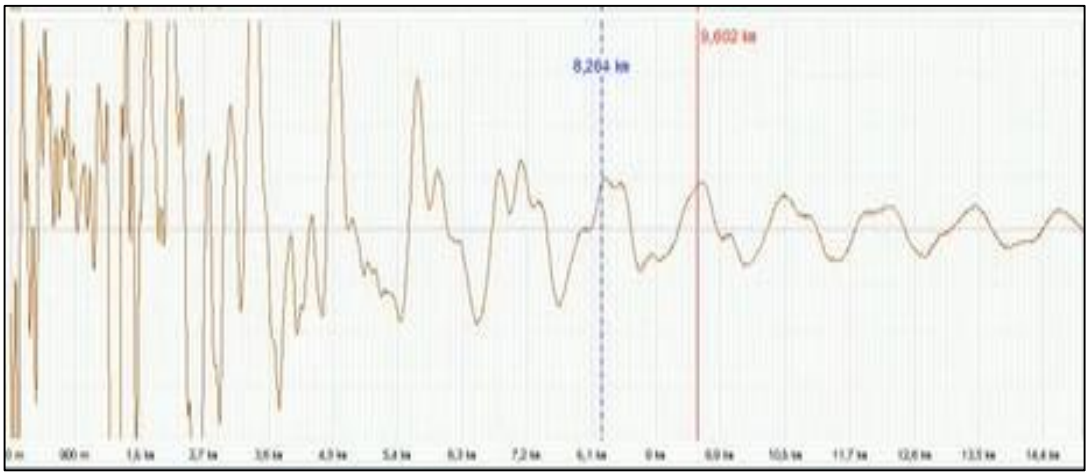
El método de prelocalización por desacoplamiento de corriente (ICE) ha demostrado ser factible cuando se tratan averías en la parte del rango de los kiloohmios y para distancias de averías extremadamente largas en las que a menudo no se consigue ningún resultado con el método ARM. De la misma manera que el método ARM a través de una descarga del equipo generador de ondas de choque se enciende la avería y se produce una descarga en la misma. En consecuencia de este fenómeno aparecerá una onda transitoria atenuada que se desplazara hacia adelante y hacia atrás entre la avería y el generador de choques, gracias al desacoplamiento de corriente en el Teleflex muestra una oscilación con un periodo equivalente a una única distancia de avería.

1) Revisión del nivel de la batería.- Este punto es importante debido a que el equipo no se puede quedar sin suministro de energía en ninguno momento, por lo que se sugiere que nivel adecuado para iniciar una prueba es del 50% de batería según el fabricante, esto se lo puede revisar fácilmente en la interfaz de la pantalla del equipo.
2) Seleccionar el modo de operación DECAY (DEC) en el menú principal, como se va a pre localizar la falla que está ocurriendo, se obtendrá una gráfica de referencia y una gráfica del lugar en donde se está presentando la falla.

3) Para poder llevar acabo un procedimiento de localización transitoria como es el método ICE, con la utilización del Teleflex el dispositivo debe conectarse al equipo de desacoplamiento de corriente o voltaje o un sistema de localización de averías , como se muestra en la siguiente figura:



4) Interpretación de resultados



El software intentara automáticamente identificar el periodo de la oscilación y colocar las marcas correspondientes, si no se detecta ningún disparo, y por lo tanto, no se muestra la traza de avería, puede ser necesario ajustar el umbral de activación o la tensión de choque antes de poder activar otro choque.

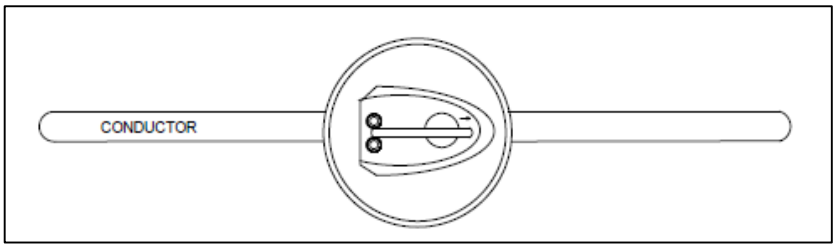
ANEXO E. Prueba #4 Localización Exacta de la falla

La localización mediante choques es uno de los métodos más utilizados para localizar averías con precisión, el principio de funcionamiento es sencillo un generador de sobretensión alimenta pulsos de sobretensión en el extremo del cable defectuoso, esto causa descargas disruptivas de voltaje (arcos) en el lugar de falla. El ruido que producirá la descarga disruptiva resultante se propaga en el suelo y se registra con el sensor de ruido del suelo en la superficie, por lo que la distancia a la falla se puede calcular utilizando el volumen del ruido de descarga disruptiva o la diferencia de tiempo entre la llegada del pulso magnético y el ruido de descarga disruptiva.

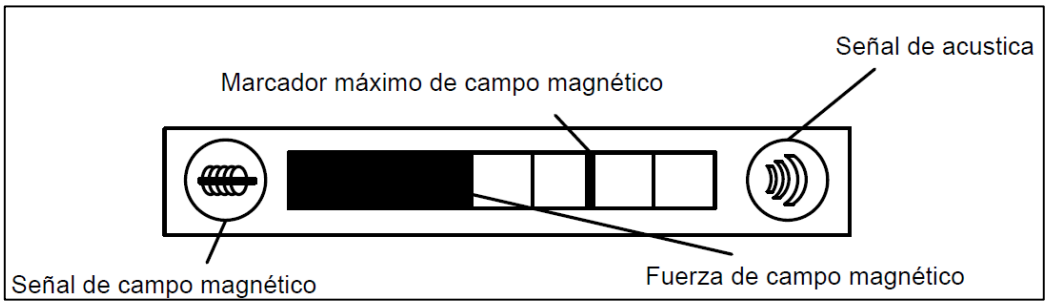
Después de la pre localización, suele ser relativamente fácil delimitar donde se encuentra la falla en el cable, ya que el área de localización no es demasiado grande lo único que se debe hacer normalmente es encontrar una posición inicial con el equipo directamente sobre el cable y comenzar la prueba.

Procedimiento para la utilización del equipo de localización exacta:

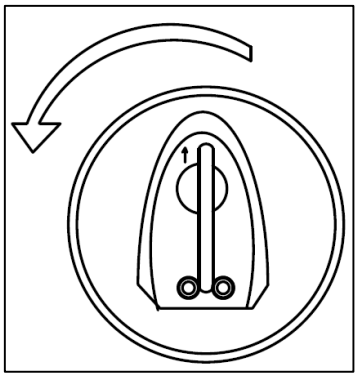
1) Colocar el sensor en el suelo con la flecha apuntando en la dirección en la que se cree que recorre el cable bajo ensayo.



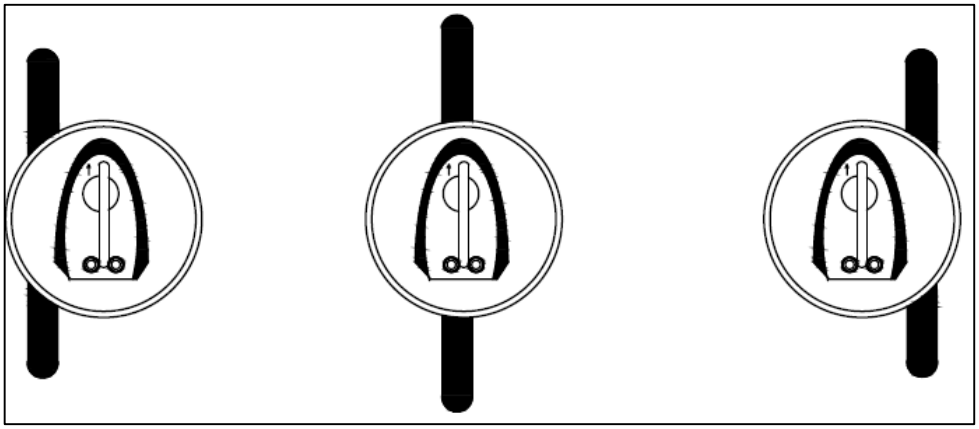
2) Se debe esperar a que la barra indicadora de señal, muestre la llegada del pulso



3) Una vez obtenido la señal, se debe girar el sensor detenidamente en su propio eje y permanecer en esa posición hasta el momento en el que se registre un nuevo pulso.



4) Es importante igualmente mantener el sensor alineado como se muestra en la figura, y observar el indicador de posición de la línea.



5) Mueve el sensor lateralmente en el tiempo con los puntos (transversalmente a la ruta del cable) hasta que el indicador muestre que está exactamente sobre el cable, esta sería la posición adecuada para la localización.

El ruido de destellos tiene sus propias características de sonidos que suelen ser variables, la propagación del sonido se ve fuertemente afectada por el entorno a través del cual viaja el sonido, la velocidad de este y la distancia a la fuente de sonido influyen en las frecuencias recibidas por el sensor, en cuanto mayor es la velocidad y menor la distancia, menos se atenúan las altas frecuencias. Entonces en superficies duras con una alta velocidad de propagación (como en losas de piedra) se puede esperar un ruido de descarga disruptiva de tono alto, en este caso la reducción de las bajas frecuencias relevantes mediante el filtrado de paso alto puede tener un efecto muy positivo en el proceso de localización acústica. Por otro lado, cuando los terrenos se tornan arenosos o blandos, las altas frecuencias libres se atenúan en gran medida, en gran medida cuando el sensor está lejos de la fuente del ruido de descarga disruptiva, por lo

que en esa clase de terrenos se recomienda suprimir las altas frecuencias utilizando el filtro de paso bajo

ANEXO F. Prueba #5 Identificación del tipo de cable

Verificación del estado de la cubierta del cable

La cubierta exterior es la primera línea de defensa del cable las medidas que se pueden tomar para evitar daños y la evaluación de la misma pueden ayudar al mantenimiento de las características internas del cable, por eso es importante que en este paso se revise cada una de las características del cable (la parte que sea visible) con el objetivo de verificar el tipo de cable, revisando:

- Conductor
- Blindaje del conductor
- Aislamiento
- Blindaje de Aislamiento
- Hilos de cobre
- Cinta
- Chaqueta

En caso de encontrar algún daño (aplastamiento, deformación, cortes, roturas, etc.) evaluar el grado de importancia del mismo, en caso de ser grave (rotura o corte profundo hasta los conductores o blindaje) descartar el tramo hasta la zona dañada, si el daño es menor (aplastamiento, deformación).

ANEXO G. Prueba #6 Reparación

Antes de iniciar el trabajo y una vez recibida la línea o parte de la misma en consignación o descargo, se debe verificar la ausencia de tensión eléctrica; poner la misma en cortocircuito y a tierra, en ambos extremos, además de ello se deben ubicar barreras de protección, señales o avisos de seguridad.

La desconexión de líneas o equipos de la fuente de energía eléctrica se debe hacer abriendo primeros los equipos diseñados para operar con carga. Para trabajos de mantenimiento en líneas subterráneas se debe:

- Identificar la ubicación de los equipos conforme lo indiquen los planos.
- Ubicar las trayectorias, circuitos de alimentación, transformador y seccionador.
- Identificar los riesgos y determinas las medidas preventivas para realizar las tareas.
- Verificar el estado de las conexiones de puesta a tierra y los conductores de puesta a tierra.

Empalmes para cables de media tensión

La definición de empalme puede considerarse como la conexión o reconstrucción de todos elementos que constituyen un cable de potencia aislado, protegido mecánicamente dentro de la misma cubierta o carcasa.

Existen varios tipos de empalmes, los cuales se los puede reconocer por el tipo de material que utilizan y la forma en que la que se los aplica para poder reemplazar el aislamiento de los cables a empalmar.

Entonces se tienen los siguientes:

- Empalmes en cinta.- Este tipo de empalmes se caracteriza por la restitución de los diferentes componentes del cable, con excepción del conductor, este proceso se lleva a cabo aplicando cintas en forma sucesiva, hasta obtener todos los elementos del cable, las cintas aislantes aplicadas para obtener un nivel de aislamiento adecuando pueden ser del tipo vulcanizable, las cuales no contienen adhesivos. De acuerdo al tipo de elemento a restituir, se determinan las características físicas y químicas de las cintas a utilizar en la elaboración del empalme.
- Empalmes moldeados en fábrica. – Este tipo de empalme es aquel en el que los componentes son moldeados por el fabricante utilizando materiales elastómeros, los

componentes se ensamblan sobre los cables a empalmar en el sitio de funcionamiento, algunos fabricantes suelen elaborar los empalmes en forma integral, es decir, que todos los elementos elastoméricos que los constituyen se encuentran contenidos en una sola pieza.

En el medio de estos empalmes suelen existir otros elementos conocidos como los Conectores Aislados Separables (CAS), que se emplean para la conexión del cable para la red de media tensión a otros equipos, como por ejemplo transformadores Pad Mounted u otros cables, estos elementos ayudan a tener una conexión y desconexión de los cables creando una interface operativa manejable, por lo que son utilizados ampliamente a nivel de distribución urbana en donde se necesite realizar derivación para nuevos usuarios y en donde los espacios son reducidos.

ANEXO H. Dirección URL Manual del sistema Megger Centrix 2.0

MANUAL DE USUARIO

Centrix 2.0

CENTRIX 2.0 - SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN CABLES

DIRECCIÓN URL:

https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/vaiiynedqg/man_centrix_1_21cu_es.pdf

CÓDIGO QR:

ANEXO I. Diseño del sistema propuesto en el software PSCAD

Paso 1. -

- Se va a crear el tipo de cable que se pretende utilizar para la simulación, esto se lo hará abriendo *"master library"* y dirigiéndose hacia la librería de cables llamada *"more on cables"* una vez allí se sigue los pasos dados por el propio software PSCAD:

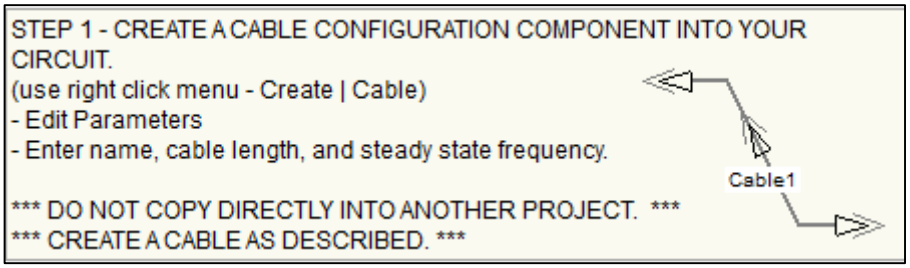


Figura 4. 17. Paso uno para la creación de un cable en PSCAD.

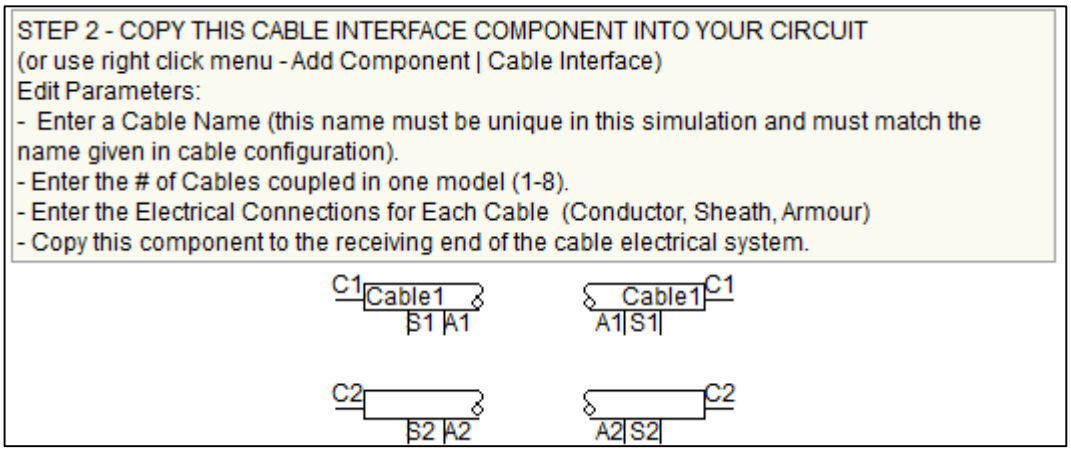


Figura 4. 18. Paso dos para la creación de la interfaz del cable en PSCAD

- Una vez realizado estos dos subpasos se procede a configurar el cable, el programa como tal sugiere que para simulaciones en el dominio del tiempo se utilice el siguiente tipo de cable y configuración:

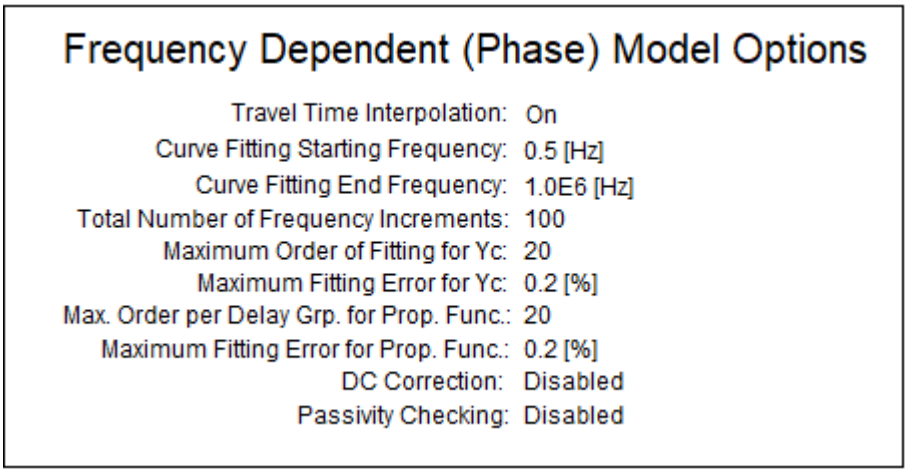


Figura 4. 19. Modelo del cable sugerido para análisis en el dominio del tiempo.

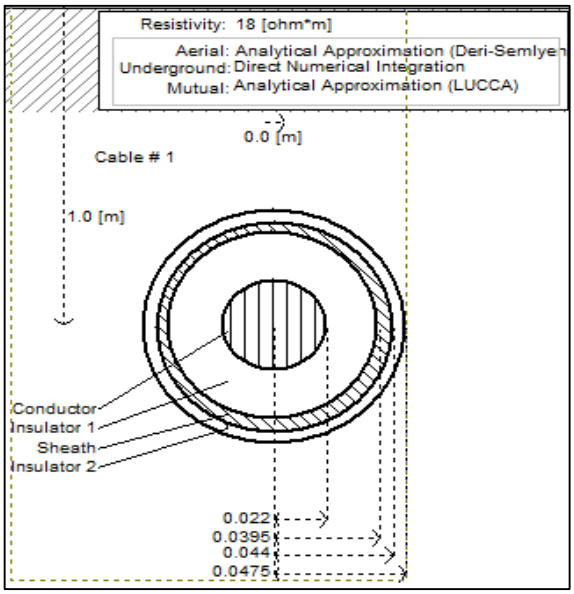


Figura 4. 20. Cable seleccionado con sus respectivas características.

En este caso el cable seleccionado lo sugiere el programa debido a que es un modelo universal y debido a eso ya vendrá configurado con los valores adecuados para análisis en el tiempo, pero si se quisiera hacer alguna modificación en cuanto al espaciamiento entre conductores, permitividad, resistividad se lo puede realizar de acuerdo a la necesidad, esto se lo logrará dando doble clic en el cable y aparecerá la siguiente ventana:

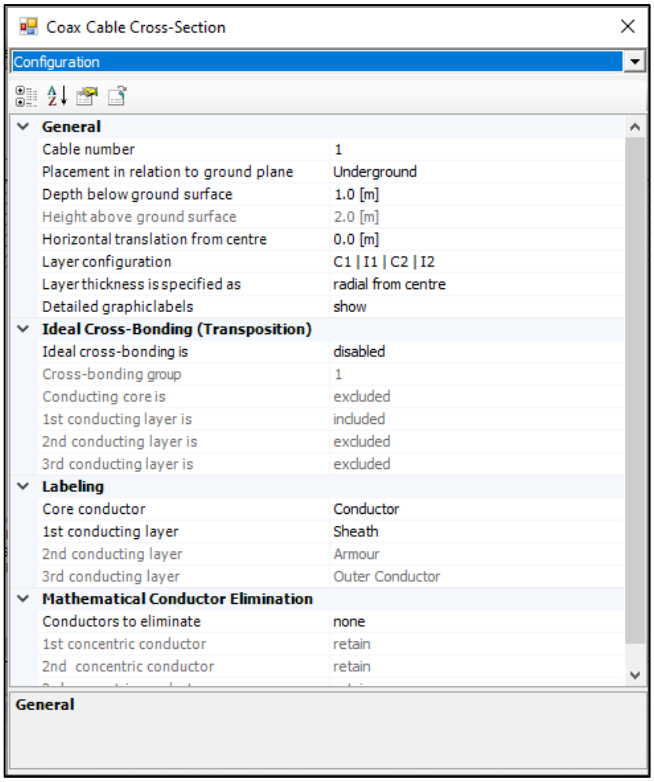


Figura 4. 21. Interfaz del cable para modificar sus propiedades.

Paso 2. –

- Se ubicación los cables creados, junto con sus interfaces en el área de trabajo de PSCAD:

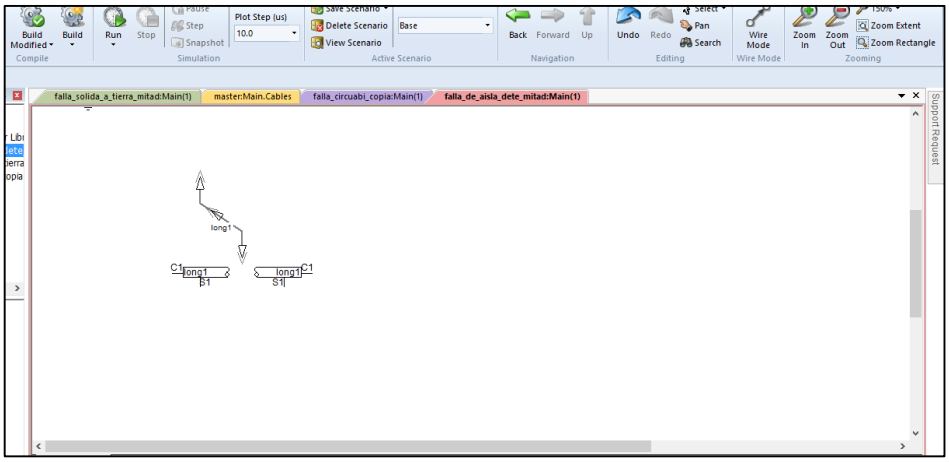


Figura 4. 22. Cable creado junto con sus respectivas interfaces en el espacio de trabajo de PSCAD.

- En la interfaz del programa ya se puede modificar a los cables en cuestión de longitud, nombre, frecuencia de trabajo, etc.

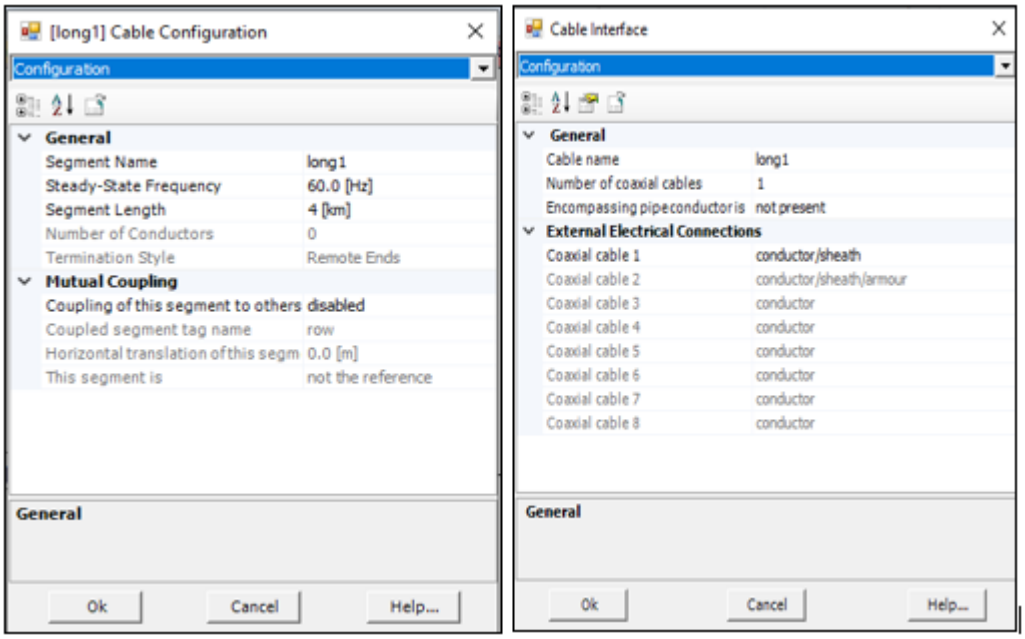


Figura 4. 23. Ventana de configuración para el cable y para cada interfaz del cable.

Paso3. -

En este paso se procede a diseñar el sistema de acuerdo a las necesidades que se tenga en este caso y para esta simulación se ha representado un tramo de 60m, mediante la creación de 2 tramos uno de 33m y otro de 27m.

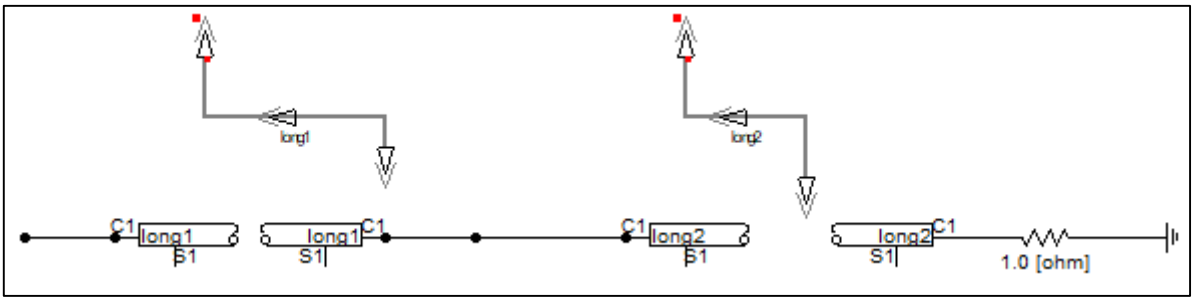


Figura 4. 24. Sistema de 60m representando mediante dos tramos de 33m y uno de 27m.

ANEXO J. Protocolo de Resultados

Protocolo

Megger.

Propietario:	kevin chancusig	**Sitio del cable:**	teatro bolivar	**Fecha de la medicion:**	23/06/2021
Estación de inicio:	T8-06			**Estación del extremo remoto:**	Teatro

Informacion del Cable	NKBA	60 m	(3 x 70 mm²)	Papel impregnado en aceite Empalme

Longitud del cable	60 m	**Número de empalmes**	0
Número de cable	2/0	**protección**	Sin protección
Tensión nominal U_o	8 kV	**Terminal HC**	

	Extremo cercano	Extremo lejano
Terminación		
Técnica de accesorios		
Técnica de conexión		

Medición								
dB	92.4		87.96		89.91			
ns	5.9		4.2		6.1			
dB								
ns								

Fabricante:

Tipo:

Acción:

Tipo de fallo: L1 L2 L3 N

Fallo a tierra
Corto circuito
Interrumpir
Fallo de Pantalla

Componente nuevo: **Fabricante:** **Tipo:**

Prueba de Cable	Tensión Ueff [kV]	Hora t [min]	Ok	Resistencia de Aislamiento R					
				L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L2-L3	L1-L3
Prueba con CC									
Prueba de VLF				Chaqueta del Cable R					
Prueba de cubierta									

Daño externo

Compañia/Nombre:

Direccion:

Telefono:

Pérdida de alimentación

Numero de usario final:

Hora: de a

Tiempo de Trabajo

Tiempo de Trabajo:

Lóngitud de recorrido:

Uso del equipamiento:

Notas:

ANEXO K. Informe de mediciones realizadas en campo para redes soterradas de medio voltaje

INFORME DE MEDICIONES REALIZADAS EN CAMPO PARA REDES SOTERRADAS DE MEDIO VOLTAJE				
Nombre / Técnico: _____	Fecha de prueba: _____	Sitio del cable: _____	Orden de Trabajo: _____	
Tipo de trabajo a realizar:	Medición de resistencia de aislamiento ☐	Pre localización de fallas ☐	Localización de fallas ☐	Mantenimiento ☐
Equipos usados:		Tipo de cable:		Fase analizada:
Reflectómetro		Longitud:		L1 ☐
Generador de pulsos		Tensión Nominal:		L2 ☐
Megaohmetro		Número de Empalmes:		L3 ☐
Localizador Acústico		Sección:		N ☐
Métodos Utilizados:				
Reflectometría: ARM ☐ DECAY ☐ ICE ☐	Secciones donde empiezan las fallas	Metro	Metro	Metro
Localización Acústica:	dB	dB	dB	dB
Memoria de Cálculos:		Niveles de tensión de prueba: Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3 Prueba 4	kV	kA
Resultados:				
Observaciones:				
_____ Firma/ Responsable			_____ Firma Técnico	

ANEXO L. Aplicación experimental de los procesos

Para empezar con la aplicación de los procesos de funcionamiento del sistema Megger Centrix 2.0 se decidió elegir el lugar en el que se realizara la prueba, de esta forma la Empresa Eléctrica Quito debido a los inconvenientes presentados en el cable de alimentación en la Fundación Teatro Bolívar ubicado en el centro histórico entre la Av. Eugenio Espejo y Av. Juan José Flores(Figura), como es de conocimiento en este tipo de lugares no se puede tener tendidos eléctricos aéreos debido a que la estética y cultura intrínseca del mismo, por lo que las instalaciones subterráneas son una necesidad y es importante solucionar los problemas que se presenten sin causar daños considerables en aceras, veredas, casas patrimoniales, etc.

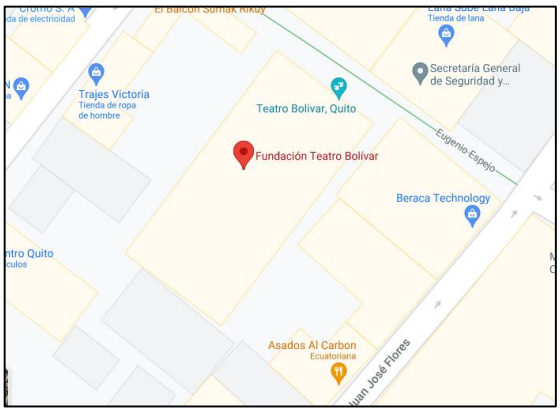


Figura 4. 25. Ubicación Geográfica del lugar de estudio.

Una vez ubicado el lugar se procede a realizar la inspección de la ruta en donde se efectuaran los trabajos de medición, en este caso el pozo de revisión se ubicó en la Av. Juan José Flores como se muestra en la figura, por lo que los equipos de medición y demás herramientas que se utilizaran se ubicaran en esta zona.



Figura 4. 26. Pozo de revisión ubicado en la Av. Juan José Flores.

Se procede entonces al levantamiento de la tapa del pozo para adecuar los cables que estarán bajo ensayo, mediante la utilización de una barra:



Figura 4. 27. Levantamiento del pozo de revisión de la red subterránea.

Una vez abierto el pozo, el técnico procede a entrar en el mismo para poder encontrar las puntas del cable de media tensión, como se observa en la imagen el cable bajo ensayo es un cable tripolar 2/0 que soporta un voltaje de hasta 8kV, sin embargo, el voltaje que manejaba en la red era de 6.3kV.



Figura 4. 28 Cable subterráneo de media tensión Tripolar 2/0 (6.3 kV).

Nivel de Aislamiento 100% **Cables Tripolares MV para 5 y 8kV 90°C**

Cable Tripolar MV-90 para 8kV 90°C, Nivel de Aislamiento 100%, Espesor de Aislamiento: 2,92mm

1. Conductor		3. Aislamiento	7. Chaqueta	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	
Calibre	Diámetro	Diámetro	Espesor		Cobre	Aluminio
AWG/kcmil	mm	mm	mm	mm	kg/km	kg/km
6	4,26	12,0	2,03	34,5	1564	1310
4	5,40	13,1	2,03	37,9	2003	1599
2	6,81	14,5	2,03	41,0	2539	1997
1/0	8,52	16,2	2,79	46,2	3488	2496
2/0	9,57	17,3	2,79	48,5	4033	2744
3/0	10,75	18,5	2,79	51,0	4703	3077
4/0	12,07	19,8	2,79	53,9	5527	3478
250	13,25	21,1	2,79	56,4	6256	3835
350	15,68	23,4	2,79	61,6	8069	4878
500	18,74	26,4	2,79	69,2	10844	6061

El primer paso para la localización de la falla, es saber la ruta exacta en la que se encuentra el cable, para ello existen dos métodos que se podrían aplicar de acuerdo al lugar en donde se presente la falla o avería, estos son:

- Ubicación a través del uso de un localizador de cables y tuberías.
- Ubicación a través de los planos cargados en el ARGIS de la empresa suministradora de energía (EEQ).

A continuación se procede a analizar los dos métodos respectivamente.

El primero método es el uso de un localizador de cables y tuberías, la mayor parte de proveedores de estos equipos usan el mismo principio de funcionamiento, este consta de un emisor y receptor de frecuencia, como se observa en la figura:



Figura 4. 29. Emisor y receptor de frecuencia ubicados en el pozo de revisión.

A continuación se realiza la conexión del emisor en uno de los conductores pertenecientes al cable tripolar como se muestra en la figura:



Figura 4. 30. Conexión de la fuente emisora de frecuencia al conductor bajo ensayo.

Para empezar la localización se va a seleccionar tanto en el emisor como en el receptor la misma frecuencia, para este caso de estudio se escogió 82kHz, la ganancia de igual manera viene programa por defecto en 999, sin embargo, cuando se tenga ganancias elevadas esta se puede reducir con el objetivo de que la medición sea más precisa y en un rango más corto de distancia



Figura 4. 31. Receptor y Emisor calibrados en la misma frecuencia.

Una vez establecidos estos parámetros se debe ir siguiendo con el receptor, hacia la dirección en la que marque mayor ganancia, como se muestra en la figura



Figura 4. 32. Receptor que muestra la ganancia y dirección en donde es más fuerte.

Una vez que se tenga ubicado la ruta por donde está la red subterránea se procede a realizar la medición de la longitud total a través del uso del odómetro, que se muestra en la figura, este proceso se lo puede hacer junto con el receptor aunque no es recomendable debido a que este se ira moviendo de una lado a otro mientras encuentra la mayor ganancia y esto podría causar una mala medición de la longitud.



Figura 4. 33. Odómetro utilizado para medir la longitud del cable bajo ensayo

.

El segundo método para la ubicación de la ruta del cable es a través de la búsqueda de las redes soterradas cargadas en la plataforma ArcGIS, este sistema permite recopilar, organizar administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica

Una vez ubicada la ruta por donde se encuentra el cable bajo ensayo, el siguiente paso especificado en la guía de procedimientos es la identificación de la falla, para este caso de estudio se lo hizo con el propio equipo Teleflex SX mostrado en la figura :



Figura 4. 34. Equipo Megger Teleflex SX.

Una vez conectado el equipo al cable bajo ensayo y a través de la interpretación de las curvas que marque la interfaz del equipo en relación al principio de radar que maneja, se podrá determinar a breves rasgos que tipo de falla se está presentando y de qué tipo es, sin embargo este método no es del todo confiable, ya que no muestra una remarcada avería.

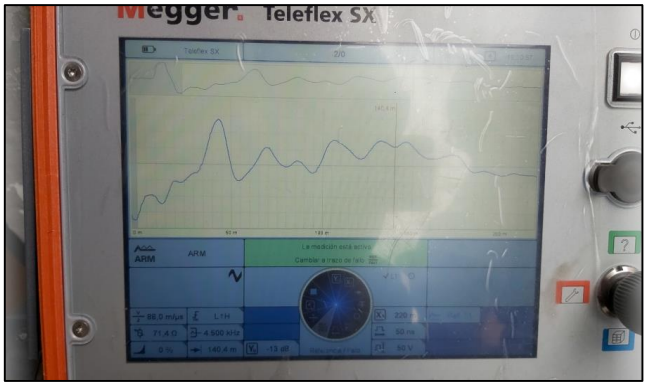


Figura 4. 35. Equipo TDR en la interpretación del tipo de falla.

El siguiente paso es realizar una prelocalización de la falla para ello se aplica la misma metodología TDR, pero en esta ocasión se usara la tecnología ARM para tener una curva de referencia y una curva en la que visualice mejor la distancia de la falla del cable bajo ensayo, como se observa en la figura:

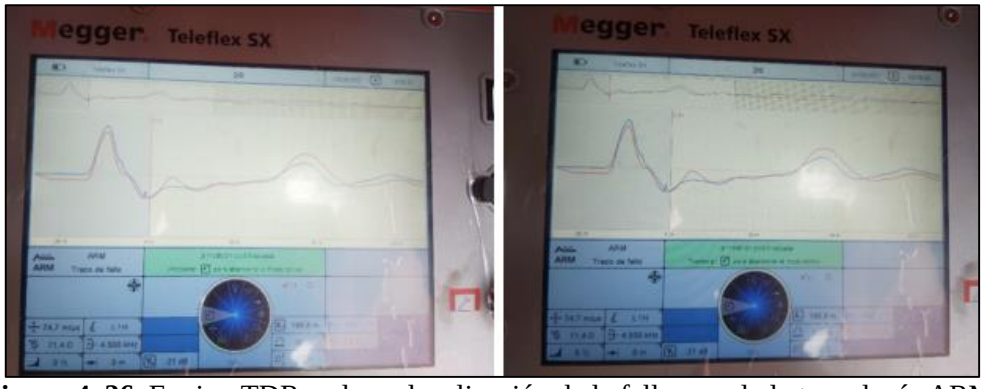


Figura 4. 36. Equipo TDR en la prelocalización de la falla usando la tecnología ARM.

A medida que se va inyectando el voltaje y se lo va elevando moderadamente se podrá ir divisando de mejor manera en donde empieza la falla y que tipo de falla puede estar ocurriendo, esto se logra solamente observado en qué dirección se refleja la onda:

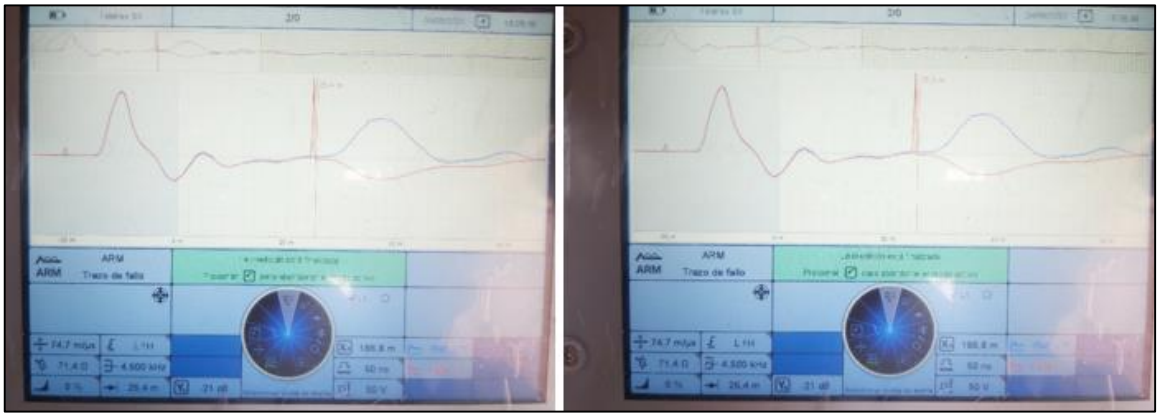


Figura 4. 37. Prelocalización de falla aplicando un voltaje elevado.

Una vez realizado una prelocalización se procedo a localizar exactamente mediante la utilización del Digiphone, que a través de las señales acústicas procedentes debido a la disrupción del cable en los lugares que se encuentren con averías, producirá un sonido que será captado médiate el receptor



ANEXO M. Simulación acústica

Con la finalidad de disponer de una coordinación entre los parámetros de usuario más usados y las posibles modificaciones que se realizarían, la necesidad de ejecutar un script es imperiosa. La ejecución de la simulación consta de las siguientes partes:

Definición del solucionador

Simulink puede ejecutar modelos agrupándose en dos grandes solucionadores: los solucionadores de tiempo discreto y los solucionadores de tiempo variable. La diferencia entre ellos estriba en que los primeros no tienen capacidad adaptativa: es decir, no detectan cuando un sistema ha llegado a valores estables, sin embargo, tienen mayor tolerancia a variaciones ocasionadas por eventos transitorios, siempre y cuando el tiempo de muestreo sea elegido adecuadamente. Por otra parte, los solucionadores de tiempo variable suelen ser computacionalmente más rápidos cuando detectan que los valores han llegado a variaciones mínimas.

Para este experimento se ha visto la necesidad de prescindir de los solucionadores en tiempo variable, para optar por una resolución en tiempo discreto.

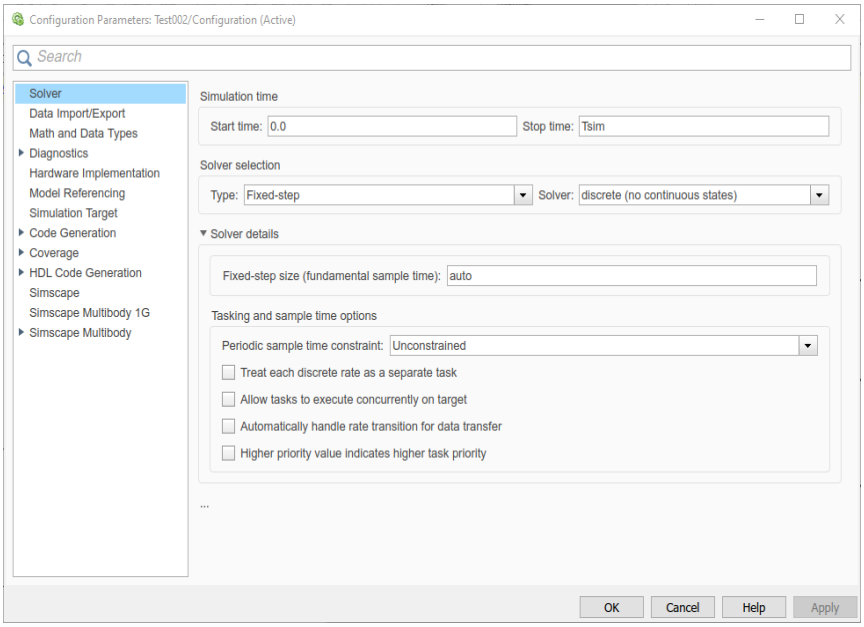


Figura: Configuración para la elección de los solucionadores apropiados en Simulink.

La simulación en tiempo discreto es bastante útil en caso de requerirse labores que requieren sincronización, tales como comunicación con dispositivos externos, sistemas SCADA e

instrumentos de recopilación de muestras. Esto, podría considerarse para estudios futuros e investigación de métodos de localización de fallas.

Ejecución de Script

En esta etapa, se ejecuta una porción de código programada en el lenguaje M. En este código se programan detalles como el tiempo de muestreo, la frecuencia de la señal periódica, el ciclo de trabajo, y los valores de resistencia, inductancia y capacitancia en base a fórmulas.

Además, se ejecuta una línea "sim('Test002')" que permite la ejecución del modelo en Simulink.

Presentación de resultados

Mediante otro script, se pueden visualizar los valores de las corrientes en los puntos antes, en, y después de la falla.

La esquematización del proceso en Matlab/Simulink se puede explicar en el siguiente diagrama.

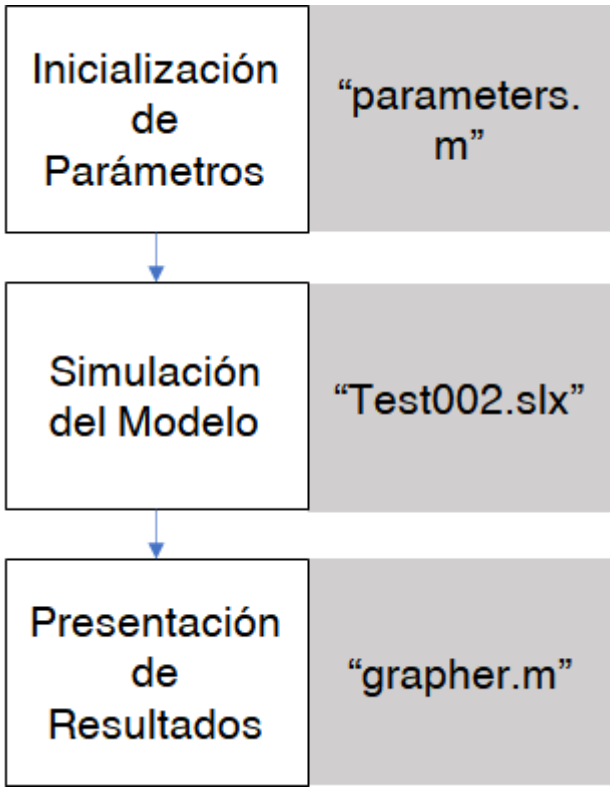
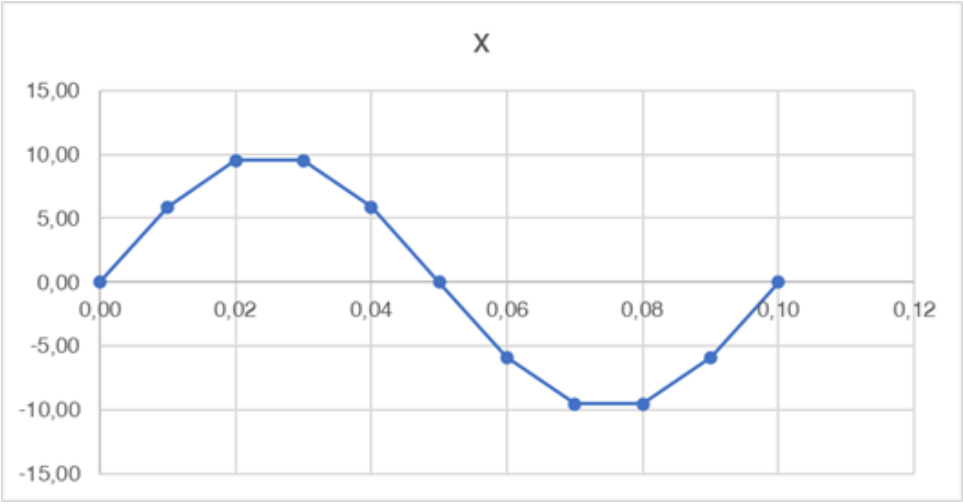


Figura: Diagrama de ejecución de los componentes del modelo propuesto.

Los valores cuadráticos, se supondrá una señal sinusoidal con los siguientes datos:

t	x
0,00	0,00
0,01	5,88
0,02	9,51
0,03	9,51
0,04	5,88
0,05	0,00
0,06	-5,88
0,07	-9,51
0,08	-9,51
0,09	-5,88
0,10	0,00

El gráfico de esta función viene dado en la figura:



El objetivo es encontrar el promedio cuadrático de la señal, puesto que, si se calcula el promedio normal, la simetría hará que el valor de promedio sea cero, ya que la parte superior anula a la parte inferior con lo que no se puede realizar un promedio clásico que represente la verdadera fluctuación.

Para el efecto, se procede a calcular el cuadrado de los valores, para posteriormente sumar todos los valores.

n	t	x	x^2
1	0,00	0,00	0,00
2	0,01	5,88	34,55
3	0,02	9,51	90,45
4	0,03	9,51	90,45
5	0,04	5,88	34,55
6	0,05	0,00	0,00
7	0,06	-5,88	34,55
8	0,07	-9,51	90,45
9	0,08	-9,51	90,45
10	0,09	-5,88	34,55
11	0,10	0,00	0,00
			500,00

Es fácilmente apreciable que el promedio cuadrático de la forma de onda viene dado por:

RMS^2= (1/0,1)*(500) = 50

RMS = sqrt(50) \approx 7.07

Por lo tanto, el promedio cuadrático de la onda propuesta es de 7,07. El cálculo de promedios cuadráticos permite incluir valores transitorios en un análisis, pero en un contexto más amplio. Justamente las técnicas usadas por los medidores acústicos deben realizar promedios cada cierto tiempo, de lo contrario la gran cantidad de datos sería abismal y no podría leerse en las interfaces humano-máquina.

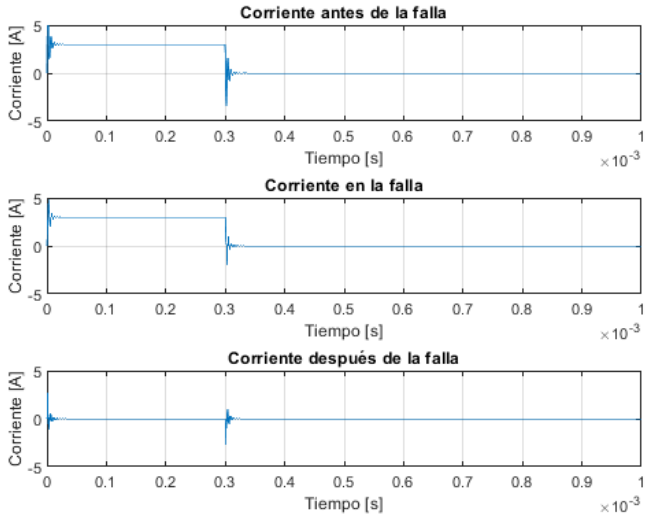


Figura: Superposición de las corrientes durante un ciclo de trabajo para la línea analizada.

Se puede apreciar claramente que la magnitud de la corriente antes de la falla es similar a la corriente en la falla, por lo que existe una fuga. Después de la falla, existen componentes de corrientes transitorias pero residuales.

Los valores cuadráticos son calculados con un bloque RMS, en Simulink. No se ha realizado una tabla analizada posteriormente en otro software. Este bloque ha sido creado por el autor. Si bien Simulink provee bloques personalizados, no son los adecuados para la aplicación.

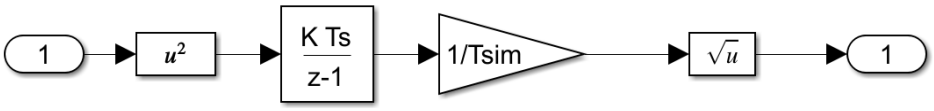


Figura: Bloque RMS creado en Simulink para el promedio cuadrático de cantidades.

El bloque RMS creado funciona de la siguiente manera: toma la señal de entrada, la eleva al cuadrado, la integra con un bloque de integración discreta, luego divide la cantidad para el periodo de simulación, para posteriormente extraer su raíz cuadrada. Por lo tanto, este proceso es realizado enteramente en Simulink sin necesidad de realizar un análisis posterior.

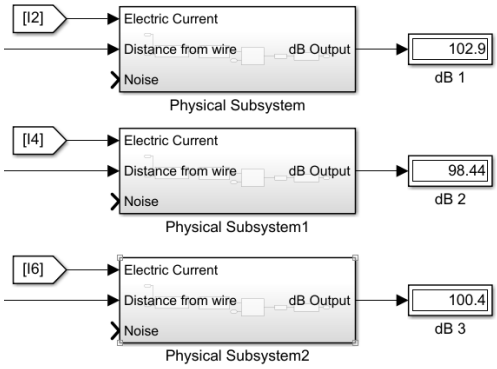


Figura: Decibeles resultantes en el circuito analizado.

Con una distancia de medida de 0.6 metros, los resultados pueden apreciarse en la tabla:

Localización	Intensidad [dB]
Antes de la falla	102,90
En la falla	98,44
Después de la falla	100,40