

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PRUEBAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS.

**ANÁLISIS DE ESTADO ACTUAL DE LAS PRUEBAS DE
DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES
SUBTERRÁNEOS UTILIZANDO EL LABORATORIO MÓVIL DE
CABLES CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

DAVID GABRIELI SINCHI REA

david.sinchi@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. FAUSTO RAMIRO VALENCIA ARCOS

fausto.valencia@epn.edu.ec

DMQ, Septiembre 2023

CERTIFICACIONES

Yo, David Gabrieli Sinchi Rea declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

DAVID GABRIELI SINCHI REA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por David Gabrieli Sinchi Rea, bajo mi supervisión.

MSc. FAUSTO RAMIRO VALENCIA ARCOS
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DAVID GABRIELI SINCHI REA

MSc. FAUSTO RAMIRO VALENCIA ARCOS

DEDICATORIA

A Dios que por su infinito amor me ha permitido alcanzar esta meta de vida.

A mis padres, Pedro e Inés, a quienes corresponde todo el crédito y reconocimiento del logro alcanzado, siendo los partícipes imprescindibles de mi formación como persona y profesional.

A mi hermana Sarahí, compañera e impulsora de vida.

A mis abuelos, Mariano †, Clotilde † y Rosa, por dejarme la huella indeleble de humildad, trabajo y amor.

David Sinchi R.

AGRADECIMIENTO

A Dios y nuestro Señor Jesucristo, por darme la vida, la salud, la familia y el ser. A la Santa Virgen María por cuidarme siempre bajo su manto permitiéndome vivir este momento.

A mi familia, mi padre Pedro, mi madre Inés y mi hermana Sarahí, eternamente les estaré agradecido por esta oportunidad, por la confianza, apoyo y sacrificio. Este proyecto y todos los logros han sido alcanzados gracias a ustedes, estos logros son suyos, gracias por estar y ser mi familia.

A mis abuelos, Mariano †, Clotilde † y Rosa, por sus palabras y ser quienes han formado, criado y apoyado a tan grandiosos y admirables padres.

Al MSc Fausto Valencia por todo el apoyo, paciencia y guía en el desarrollo de este proyecto.

A todo el personal del Laboratorio de Transformadores de la EEQ, por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo durante mi estancia de pasante en esta sección. Un sincero agradecimiento al Grupo de Cables de la EEQ, Ing. Pablo Sotomayor, Ing. Kleber Cubi e Ing. Paúl Catota, y al jefe de sección, el Ing. Lenin Quisaguano, quienes con su disponibilidad y apertura me han permitido desarrollar el presente proyecto, compartiendo su experiencia y conocimiento profesional.

A todos los docentes de la EPN que han participado y aportado cada semestre en el desarrollo profesional de mi persona.

Así como a todas las amistades que he formado y con quienes he progresado académicamente durante en el transcurso de estudio en la EPN.

Y a todos los hermanos de comunidad del Camino Neocatecumenal de Sucúa y Quito que, con cada palabra, oración y convivir, me han apoyado en cada momento de gracia y dificultad, en especial durante mi tiempo de estancia en la ciudad de Quito.

David Sinchi R.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE	2
1.4 MARCO TEÓRICO.....	4
1.4.1 Sistema De Distribución Subterránea.....	4
1.4.2 Sistema De Cables De Potencia.....	6
1.4.3 El Cable Eléctrico De Potencia.....	6
1.4.3.1 Modelo de cables de media tensión.....	6
1.4.3.2 Componentes de los cables de media tensión.....	7
1.4.3.3 Características importantes en diseño de cables de MT.....	10
1.4.3.4 Especificaciones Técnicas para Cables Aislados en la EEQ.	11
1.4.4 Fallas en Cables Eléctricos De Potencia.....	12
1.4.4.1 Clasificación y Tipos de Fallas en Cables de Potencia.....	13
1.4.4.2 Causas de Fallas y Defectos en cables de media tensión.....	14
1.4.4.3 Degradación en aislamiento:	16
1.4.5 Normativas Consideradas para Pruebas de Campo en Cables.....	16
1.4.5.1 IEEE Std 400.2-2013: IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1Hz).....	16
1.4.5.2 IEEE Std 1234-2019: IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems.....	17
1.4.5.3 IEC 60229-2007: Tests on extruded oversheaths with a special protective function.....	17
1.4.6 Pruebas en Campo de Cables Aislados.....	17
1.4.6.1 Prueba para Instalación.....	18
1.4.6.2 Prueba para Aceptación.....	18
1.4.6.3 Prueba para Mantenimiento.....	18
1.4.7 Pruebas de Diagnóstico en Cables.....	18
1.4.7.1 Prueba de Cubierta.....	19
1.4.7.2 Prueba de Tensión Soportada VLF con forma de onda senoidal (AC- VLF).....	20
1.4.7.3 Prueba de Tangente Delta con forma de onda senoidal VLF (VLF-TD).....	20
1.4.7.4 Prueba de Descargas Parciales con forma de onda senoidal VLF (VLF- PD).....	22

1.4.8	Técnicas y Equipos para Localización de Fallas de Alta Impedancia en Cables Aislados.....	23
1.4.8.1	Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).....	23
1.4.8.2	Equipo de Descarga Capacitiva (Thumper).	23
1.4.8.3	Métodos de Pre-localización de Fallas de Alta Resistencia.	24
1.4.8.4	Métodos de Seguimiento y Localización puntual.	25
2	METODOLOGÍA.....	27
2.1	EQUIPAMIENTO TECNOLÓGICO DE LA EEQ PARA PRUEBAS DE CABLES DE POTENCIA.....	27
2.1.1	Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0 de la EEQ.	27
2.1.2	Interfaz del Sistema Centrix y Meggerbook Cable.	29
2.1.2.1	Modos De Operación Del Sistema Centrix Del Laboratorio Móvil.	29
2.1.3	Equipos Complementarios Del Laboratorio Móvil De Cables.	30
2.1.3.1	PDS 62-SIN: Acoplador para Descargas Parciales.....	30
2.1.3.2	HVCC VLF SIN-62.....	31
2.1.3.3	DIGIPHONE+2 NTRX: Localizador puntual de fallas y trazador de cables subterráneos	32
2.2	CONSIDERACIONES DE LA EEQ PARA PRUEBAS EN CAMPO DE CABLES SOTERRADOS.....	33
2.2.1	Consideraciones De Seguridad Para Pruebas En Campo De Cables De Potencia.	33
2.2.1.1	Reglas de Oro del Electricista Profesional.....	33
2.2.1.2	Reglas de Seguridad para trabajos con Alta Tensión.	33
2.2.1.3	Procedimiento de seguridad para pruebas en campo.	34
2.2.2	Consideraciones Previas A Ejecución De Pruebas En Cables Aislados.	35
2.2.2.1	Identificación de cables y fases a probar.	35
2.2.2.2	Preparación de puntas de cables a probar.	35
2.2.2.3	Conexionado de puntas y pantallas para pruebas.	36
2.3	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS DE CAMPO EN CABLES SOTERRADOS EJECUTADAS POR LA EEQ.....	36
2.3.1	Prueba de Diagnóstico para Instalación.....	36
2.3.1.1	Aplicación de Reflectometría TDR.....	37
2.3.1.2	Aplicación de Prueba de Cubierta.....	38
2.3.1.3	Aplicación de Prueba de Tensión VLF.....	40
2.3.2	Prueba de Diagnóstico para Aceptación.....	42
2.3.2.1	Aplicación de Prueba de Descargas Parciales con VLF (VLF-PD).....	42
2.3.2.2	Resultados e interpretación de medición de Descargas Parciales.	48
2.3.3	Prueba de Diagnóstico para Mantenimiento.	51
2.3.3.1	Aplicación de Reflectometría TDR.....	51

2.3.3.2	Aplicación de Prueba de Tangente Delta con VLF (VLF-TD).....	52
2.3.3.3	Aplicación de Pruebas adicionales.	55
2.3.4	Descripción De Pruebas Para Localización De Fallas de Alta Impedancia. 56	
2.3.4.1	Identificación del tipo de falla.....	57
2.3.4.2	Pre-localización de falla.....	59
2.3.4.3	Trazado de ruta del cable.....	62
2.3.4.4	Localización puntual de falla.....	63
2.3.4.5	Identificación de fase fallada y reparación.	65
2.4	ESTRUCTURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA GUÍA TÉCNICA DE PRUEBAS DE CABLES EN CAMPO.	66
2.4.1	Descripción De Los Componentes A Considerar En La Guía Técnica.	66
2.4.1.1	Objetivos.	66
2.4.1.2	Equipamientos.....	66
2.4.1.3	Referencias Normativas o Normativas.....	66
2.4.1.4	Procedimiento para ejecución de pruebas.....	66
2.4.1.5	Criterio de aceptación y/o evaluación.	67
2.4.2	Estructura De La Guía Técnica para Pruebas de Diagnóstico y Localización de Fallas.....	67
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
3.1	RESULTADOS.	68
3.1.1	Aplicación De Pruebas De Diagnóstico Para Instalación.	68
3.1.2	Aplicación De Prueba De Diagnóstico Para Aceptación.	72
3.1.3	Aplicación De Pruebas De Diagnóstico Para Mantenimiento.	76
3.1.4	Aplicación De Pruebas Para Localización De Fallas.....	80
3.2	CONCLUSIONES.....	86
3.3	RECOMENDACIONES.....	88
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	89
5	ANEXOS.....	92
	ANEXO I: Guía Técnica de Pruebas de Diagnóstico y Localización de Fallas en cables de potencia subterráneos utilizando el Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito S.A.	93
	ANEXO II: Esquemas de Conexión para Pruebas de Diagnóstico y Localización de Fallas.	145
	ANEXO III: Gráficos, Tablas y Parámetros Referenciales.	149
	ANEXO IV: Equipamiento complementario para ejecución de pruebas y objetos de menús de funciones básicas.	152

RESUMEN

El presente Trabajo de Integración Curricular consiste en la elaboración de una Guía Técnica para la ejecución de pruebas de campo de diagnóstico y localización de fallas en sistemas de cables subterráneos de media tensión. Se describen los procedimientos de pruebas para instalación, aceptación y mantenimiento, como también el procedimiento para la localización de fallas de alta impedancia, aplicados mediante el sistema de pruebas Centrix de Megger instalado en el Laboratorio Móvil de Cables de la Empresa Eléctrica Quito.

Para ello, son referenciadas las correspondientes normas internacionales IEEE 400.2-2013 y IEC 60229-2007 para la aplicación de pruebas de diagnóstico con alto voltaje CC y CA VLF, y la norma IEEE 1234-2019 para la localización de fallas en sistemas de cables apantallados. Los cuales proveen de parámetros y metodologías normalizadas de ensayo, así como de criterios de aceptación, evaluación e interpretación de resultados.

Además, este documento considera y describe los procedimientos de seguridad y los procedimientos que preceden a la aplicación de pruebas de campo con alta tensión, también describe al equipamiento y a la operación del sistema de pruebas Centrix. Incluye la aplicación de pruebas de campo reales.

La estructuración de la Guía Técnica de Pruebas consta de componentes tales como objetivos, equipamiento, normativas, procedimientos de ejecución y criterios de aceptación o evaluación que permiten su adecuada interpretación y lectura, de modo que el técnico u operador final pueda aplicar las respectivas pruebas paso a paso utilizando los equipos de prueba Megger, en específico, el sistema de pruebas Centrix.

PALABRAS CLAVE: Sistema de Cables de Potencia, pruebas de campo en cables, diagnóstico en cables aislados, localización de fallas en cables, seguridad en pruebas, IEEE 400.2, IEEE 1234, IEC 60229, Laboratorio Móvil de Cables, Sistema de pruebas CENTRIX.

ABSTRACT

This Curricular Integration Work consists of the elaboration of a Technical Guide for the execution of diagnostic and fault location field tests in medium voltage underground cable systems. It describes the test procedures for installation, acceptance and maintenance, as well as the procedure for locating high impedance faults, applied through the Megger Centrix test system installed in the Mobile Cable Laboratory of Empresa Eléctrica Quito.

For this purpose, the corresponding international standards IEEE 400.2-2013 and IEC 60229-2007 for the application of diagnostic tests with high voltage DC and AC VLF, and the IEEE 1234-2019 standard for fault location in shielded cable systems are referenced. Which provide standardized test parameters and methodologies, as well as acceptance criteria, evaluation and interpretation of results.

In addition, this document considers and describes the safety procedures and the procedures that precede the application of high voltage field tests. It also describes the equipment and the operation of the Centrix test system. Moreover, it includes the application of real field tests.

The structure of the Technical Test Guide consists of components such as objectives, equipment, regulations, execution procedures and acceptance or evaluation criteria that allow its proper interpretation and reading, so that the final technician or operator can apply the respective tests, step by step, using Megger test equipment, specifically, the Centrix test system.

KEYWORDS: Power Cable System, cable field tests, insulated cable diagnosis, cable fault location, cable test safety, IEEE 400.2, IEEE 1234, IEC 60229, Mobile Cable Laboratory, CENTRIX Test System.

1 INTRODUCCIÓN

Las redes eléctricas de distribución en nuestro país han evolucionado al ritmo del desarrollo y la demanda eléctrica del sector industrial, comercial y residencial. De igual manera sus componentes, construcción, instalación y niveles de tensión se han mejorado acorde al requerimiento del momento y futuro de estas redes, es por ello que la Agencia de Regulación y Control “ARCERNNR” con sus regulaciones, y el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables “MERNNR” con sus homologaciones, disponen que el servicio eléctrico brindado por las distribuidoras del país debe cumplir con estándares de calidad, confiabilidad y seguridad en énfasis a redes subterráneas. Por lo tanto, es importante la ejecución de pruebas en cables soterrados de potencia previo a su puesta en servicio, así como el mantenimiento periódico de los mismos una vez energizadas; sabiendo que en la red eléctrica actual aún existen conexiones operando con cables antiguos, la implementación de técnicas de localización eficaz de fallas, son de vital importancia para la continuidad del servicio.

La Empresa Eléctrica Quito, con el propósito de brindar un servicio eléctrico de calidad a sus clientes internos y externos, ha adquirido nuevas tecnologías para la atención de sus redes de distribución subterráneas. Una de ellas es el Laboratorio Móvil de Cables tipo Van Centrix 2.0 del fabricante Megger, con tecnología que permite realizar pruebas, diagnóstico y localización de fallas a cables soterrados de media tensión, siendo el primer laboratorio móvil de este tipo en el Ecuador y segundo en Latinoamérica. La EEQ ha asignado y capacitado al denominado Grupo de Cables, primer grupo de su personal profesional que se encuentra especializado en la aplicación de dichas pruebas con el dominio de esta tecnología.

El propósito de este proyecto es proporcionar una guía técnica que contribuya al avance nacional en el campo de pruebas, diagnóstico y localización de fallas en sistemas de cables subterráneos, apoyado en el manejo del Laboratorio Móvil de Cables, el cual opera bajo el sistema Centrix 2.0.

Se busca también satisfacer la necesidad de un documento que defina y detalle los procedimientos de cada una de estas pruebas de campo, el orden en el que deben ser ejecutadas, la conexión y operación de los equipos, teniendo presente la seguridad durante estas pruebas y disponiendo de un material guía para la aplicación del actual y futuro personal de la EEQ y demás Empresas de Distribución.

Para el desarrollo de este componente con enfoque descriptivo, se recopiló la información requerida mediante el acompañamiento en las distintas pruebas en campo con el personal de la EEQ, registrando los procedimientos realizados y criterios de aceptación en base a las normativas internacionales utilizadas, además del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, consiguiendo elaborar la guía técnica para la ejecución de pruebas en cables subterráneos con el Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía técnica para pruebas de diagnóstico en cables de potencia soterrados y localización de fallas de alta impedancia con el Laboratorio Móvil de Cables CENTRIX 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las normativas internacionales que la EEQ emplea para pruebas de diagnóstico en la instalación y recepción de obras, así como pruebas de mantenimiento y para la implementación de localización de fallas de alta impedancia en cables de medio voltaje de sus redes eléctricas subterráneas.
2. Describir los procedimientos que el personal de la EEQ efectúa para pruebas de diagnóstico, mantenimiento y localización de fallas con el Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0.
3. Estructurar la guía técnica en base a las normativas y procedimientos correspondientes para las pruebas de diagnóstico y mantenimiento de cableado soterrado y localización de fallas utilizando el Laboratorio Móvil de Cables Centrix.
4. Aplicar la guía técnica en pruebas de diagnóstico en cables soterrados y en pruebas de localización de fallas utilizando el Laboratorio Móvil de Cables en sitio.

1.3 ALCANCE

El alcance de este proyecto es presentar una guía técnica fundamentada por las normas internacionales IEEE Std. 400.2-2013, IEC 60229-2007, para realizar pruebas de diagnóstico en la recepción de obras de soterramiento de cables de potencia y mantenimiento en redes eléctricas soterradas; y la norma IEEE Std. 1234-2019 para

detección de fallas de alta impedancia reportadas mediante incidencias por el Centro de Control de la EEQ utilizando el Laboratorio Móvil de Cables CENTRIX.

Las fases con el que se desarrolló el presente Trabajo de Integración Curricular consistieron en:

A. Fase teórica.

En la fase teórica se investigó acerca de los cables de potencia, sus características y fallas, que la Empresa Eléctrica Quito cuenta en sus redes eléctricas soterradas. Se revisaron las normas internacionales con las que se rigen las pruebas de diagnóstico en cables de potencia y localización de fallas de alta impedancia. Adicionalmente, se realizó una revisión del Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0 enfocándose principalmente en su funcionalidad y las medidas de seguridad que la EEQ aplica a su personal en este tipo de pruebas.

B. Fase metodológica.

Para la fase metodológica se observó la manera en que el personal de la EEQ realiza las pruebas en sitio utilizando el Laboratorio Móvil de Cables y las normas correspondientes, de manera que se describió el procedimiento para cada prueba, la interpretación de resultados y los criterios de aceptación/rechazo. Una vez verificados los parámetros que las normas presentan y la operación del equipo tecnológico del Laboratorio Móvil de Cables Centrix, se procedió a la estructuración de la guía técnica para la ejecución de las pruebas de diagnóstico en cables de potencia de soterramiento, pruebas de mantenimiento y localización de fallas de alta impedancia en redes eléctricas soterradas.

C. Fase de pruebas.

Una vez definido cada procedimiento de pruebas, estas se aplicaron para comprobar la correcta ejecución, verificándolas con las normas y los procedimientos que el personal ha venido efectuando hasta la presente fecha.

D. Análisis de resultados y elaboración de la guía.

Se analizaron los resultados obtenidos de cada prueba para su respectiva interpretación, procediendo a finiquitar la descripción de los procedimientos de cada prueba, elaboración de la guía técnica y las correspondientes conclusiones del proyecto.

1.4 MARCO TEÓRICO.

1.4.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA.

La red de distribución subterránea es aquella en que sus elementos de instalación son ocultados bajo tierra mediante ductos, sus conductores son aislados y las subestaciones de transformación MV/BV se instalan a nivel o bajo el suelo en cámaras o gabinetes [1].

El diseño de redes subterráneas de distribución es homologado por el MERNNR en conjunto con las empresas eléctricas de distribución [2], donde su construcción, en gran medida obra civil y elementos eléctricos, disponen de homologación en especificación, entre estos: cables y accesorios, transformadores de distribución, equipos de seccionamiento y protección, y acometidas domiciliarias [3].

1.4.1.1 Componentes de la Red de Distribución Subterránea.

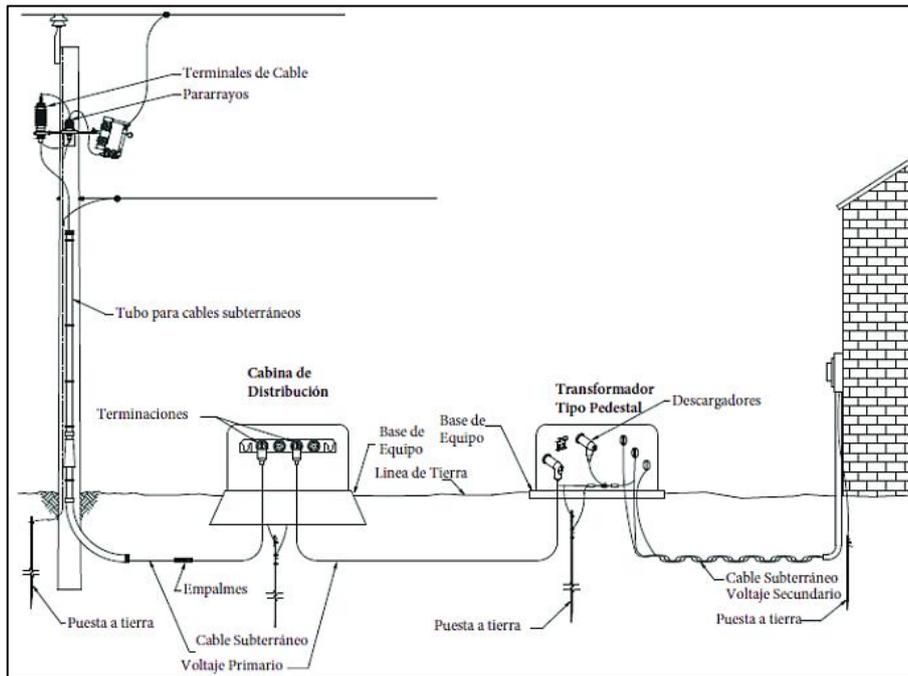


Figura 1.1. Componentes del sistema de distribución subterránea [4].

Los principales componentes que las instalaciones de distribución subterráneas son:

Cable subterráneo.

Es el componente primordial que transporta la energía eléctrica y que se extiende por toda la red subterránea, siendo canalizado por ductos desde los terminales de la instalación de transición aérea-subterránea hasta las cámaras eléctricas, conectando los equipos de transformación y seccionamiento.

Equipos tipo pedestal.

Corresponden a los transformadores de distribución tipo pedestal, diseñados para ser instalados a nivel o debajo del suelo, y los gabinetes o celdas de seccionamiento tipo pedestal que funcionan como una combinación de interruptores y dispositivos de seccionamiento para la derivación de alimentadores [5].

Accesorios para cables:

Terminales: Son accesorios que se utilizan en las puntas de cables para instalaciones de transición aérea-subterránea. Están contruidos para que el esfuerzo eléctrico dentro del aislamiento sea distribuido uniformemente [1]. Cuenta con diseños para aplicaciones externas e internas, de tipo premoldeado y contraíble en frío.

Empalmes: Son accesorios que se utilizan para unir finales de conductores aislados de media y baja tensión, proporcionan protección contra humedad en la sección empalmada y son aptos para el servicio a intemperie, enterrados o sumergidos [1]. Pueden encontrarse como empalmes contraíbles en frío y premoldeados.

Conectores aislados separables: Son dispositivos de seccionamiento manual para operación con y sin carga, permiten la interconexión de cables a equipos (transformador, interruptor, celdas y barras de derivación). Pueden presentarse como tipo codo, tipo T y codo portafusibles [1]

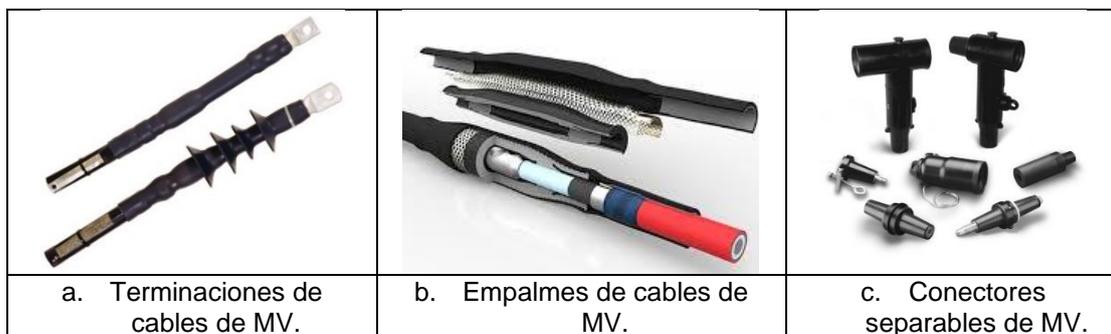


Figura 1.2. Accesorios para conexión cables subterráneos [3].

Descargadores de sobretensión y electrodos de puesta a tierra.

Descargadores: Dispositivos de protección contra sobretensiones inducidas por rayos y otros transitorios para sistemas subterráneos. Siendo pararrayos específicos en estas redes [5].

Electrodos a tierra: Elementos que constituyen la puesta a tierra, destinados a proveer la conexión optima y permanente de los terminales de equipos, cámaras eléctricas y puntos de red a tierra [1].

Ductos, pozos y cámaras eléctricas.

Estos tres componentes son principalmente estructuras de obra civil, que se encuentran normalizadas y homologadas para su construcción por el INEN y el MERNNR [3] [6].

Están dimensionados y construidos para la canalización y revisión de la red subterránea, albergan cables, equipos de transformación y equipos de protección y seccionamiento.

1.4.2 SISTEMA DE CABLES DE POTENCIA.

Se denomina sistema de cables al conjunto de uno o más tramos de cables aislados de alimentación unidos entre sí, de 5kV o superior, incluyendo sus accesorios (empalmes, terminaciones y conectores) [7].

1.4.3 EL CABLE ELÉCTRICO DE POTENCIA.

El cable es un conductor eléctrico diseñado con componentes que le proporciona aislamiento en toda su extensión, así como una distribución proporcional de campo eléctrico y protección contra factores ambientales.

Se conocen como cables de potencia a los cables que están destinados al transporte de energía eléctrica de media y alta tensión, cuya fabricación y diseño está sujeto a normativas nacionales e internacionales. En función de su aplicación, deben cumplir parámetros como flexibilidad, rendimiento eléctrico, capacidad de corriente, resistencia a máximas temperaturas y humedad, así como a entornos en donde se lo instalará, sea a la intemperie, bajo tierra, canalizados o sumergidos [8].

1.4.3.1 Modelo de cables de media tensión.

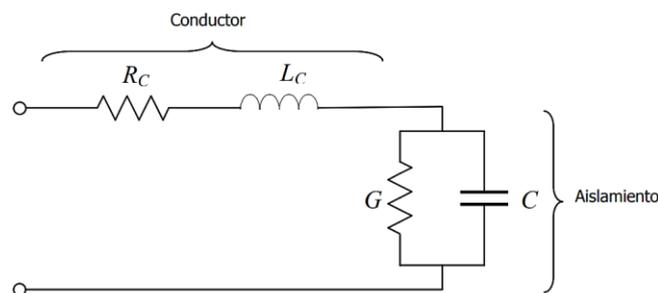


Figura 1.3. Modelo eléctrico típico de un cable de media tensión [9].

El modelo eléctrico de un cable es representado como el circuito equivalente de la Fig. 1.3, donde R_C corresponde a la resistencia del conductor central, C a la capacitancia del cable (comportamiento como condensador cilíndrico por el dieléctrico entre el conductor y la pantalla), L_C a la inductancia del cable y G a la conductancia del aislamiento [9].

1.4.3.2 Componentes de los cables de media tensión.

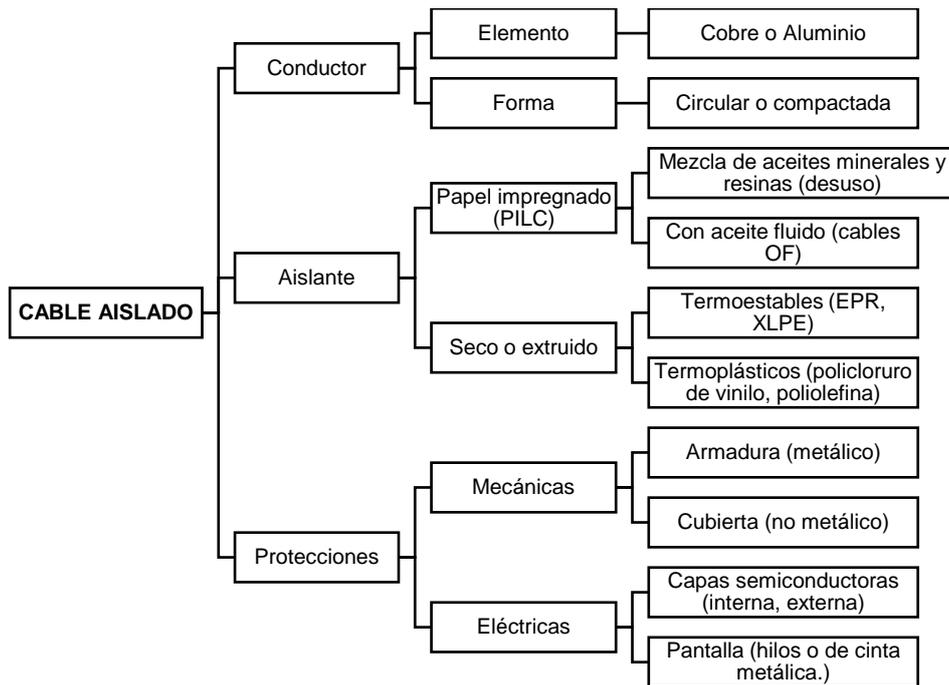


Figura 1.4. Componentes del cable aislado [10].

Los principales componentes de los cables de potencia son:

CONDUCTOR CENTRAL:

El conductor es el núcleo del cable, cuyo material permite la conducción de la corriente eléctrica por el cable. Este material puede ser de cobre y aluminio de sección circular. El núcleo conductor está constituido en hilos o alambres cableados en capas concéntricas, que pueden ser comprimidos o compactos en función de la reducción del espacio entre hilos conductores.

CAPA SEMICONDUCTORA INTERNA:

Es la primera capa de aislamiento que se encuentra en contacto directo con el conductor y lo recubre en su totalidad, su material es semiconductor y termoestable. Su función es mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor proporcionando una superficie cilíndrica equipotencial, así como también una superficie libre de huecos para impedir la ionización del aire en el espacio entre el conductor y el aislante. Esta capa también es conocida como blindaje del conductor [11].

AISLAMIENTO:

El aislamiento es otro componente importante del cable cuya función es brindar un medio aislante entre conductor central y la pantalla, disponiendo de la rigidez dieléctrica necesaria

para evitar fugas de corriente y fallas entre fases o fase-neutro. Además, contiene al campo eléctrico producido por el conductor del cable energizado [11].

Los cables aislados se pueden clasificar según su material dieléctrico:

Aislamiento Laminado: Formado en capas de cintas de papel de celulosa o polipropileno o una combinación de ambos, impregnados de aceite. Algunos de sus diseños son de papel impregnado recubierto de plomo (PILC) y de masa impregnada no drenante (MIND) [12], utilizados en las primeras redes subterráneas en el siglo XX.

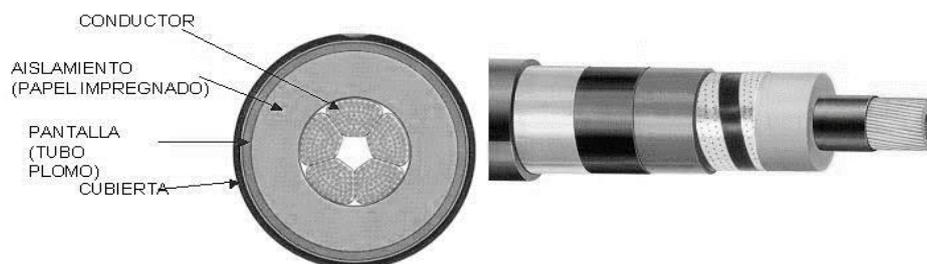


Figura 1.5. Cable con aislamiento de papel impregnado (PILC) [13].

Papel impregnado en aceite (PILC): Este aislante consiste en papel a base de celulosa impregnado con aceite fluido o aceite espeso para mejorar sus propiedades dieléctricas. Constituido por una mezcla de 75% aceite mineral y 25% colofonia (resina natural), lo que forma una masa aislante que al incremento de temperatura rellena los intersticios de aire evitando la ionización al interior del cable. Para complementar su construcción, estos eran recubiertos por una armadura metálica de plomo o aluminio [13].

Aislamiento seco o extruido: Presentes actualmente en cables subterráneos, conformados de materiales plásticos que, en función de su comportamiento ante el calor, estos se dividen en termoplásticos y termoestables [13].

Los termoplásticos: Estos se ablandan con el calor, lo que permite moldearlos repetidas veces sin que pierdan propiedades. Los materiales termoplásticos más utilizados en la fabricación de cables son el Policloruro de Vinilo (PVC), el Polietileno (PE) y el Elastómero Termoplástico (TPE), que se encuentran como aislamiento o cubierta.

Los termoestables: Son plásticos a los que se los puede ablandar una sola vez por calentamiento durante su fabricación y que, posteriormente, no pueden recuperar sus propiedades de transformación. Los materiales termoestables más utilizados como aislante en cables son el Etileno Propileno (EPR) y el Polietileno Reticulado (XLPE) o reticulado retardante a la arborescencia (TR XLPE).

CAPA SEMICONDUCTORA EXTERNA:

Es una capa de material semiconductor termoestable que recubre al aislamiento, por lo general, de polietileno. Su función es permitir el confinamiento homogéneo de las líneas del campo eléctrico al interior del aislamiento, siendo una función complementaria a la capa semiconductor interna. Esta capa se conoce también como blindaje del aislamiento [11].

APANTALLAMIENTO:

El apantallamiento o pantalla es un elemento metálico no magnético que se coloca sobre el blindaje del aislamiento con el propósito de confinar el campo eléctrico en el interior del cable, distribuir el esfuerzo eléctrico de forma simétrica y radial en el aislamiento, limitar la influencia mutua entre cables eléctricos y limitar el riesgo de electrocución, conduciendo las corrientes de cortocircuito a tierra [11][10].

La pantalla sirve como referencia a tierra del cable, y como conductor a neutro cuando se requiere manejar corrientes de neutro. El apantallamiento por lo general es de cobre y se presenta en tres configuraciones:

Pantalla en cinta de cobre: Consiste en una cinta de cobre que se aplica de forma helicoidal sobre el blindaje del aislamiento recubriéndolo en su totalidad.

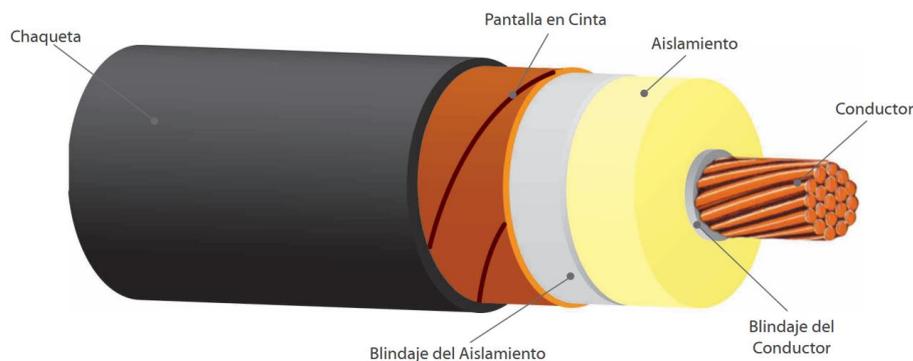


Figura 1.6. Cable extruido con apantallamiento de cinta de cobre [11].

Pantalla en hilos de cobre: Está conformada por una cantidad de hilos de cobre distribuidos uniformemente sobre el blindaje del aislamiento. El número de hilos se incrementa de acuerdo con el perímetro del cable.

Pantalla neutro concéntrico: Consiste en una pantalla de hilos de cobre que además de ejecutar la función de apantallamiento, puede actuar como conductor neutro del cable.

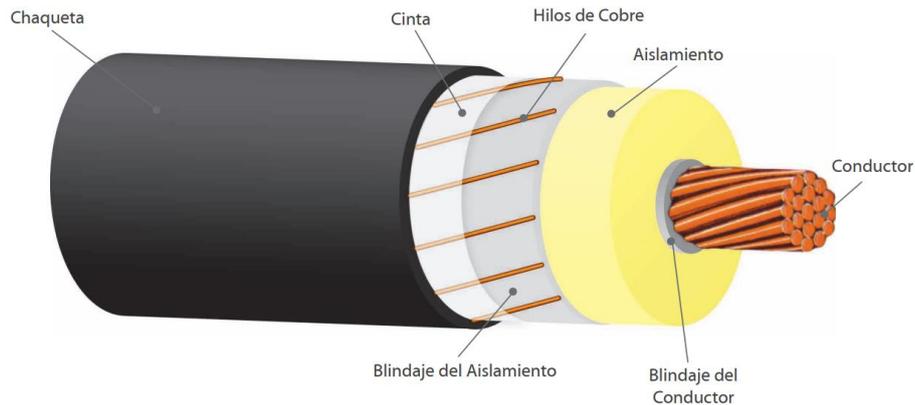


Figura 1.7. Cable extruido con pantalla de hilos de cobre / neutro concéntrico [11].

CUBIERTA:

La cubierta o chaqueta es el elemento exterior que recubre al cable, siendo la parte expuesta al ambiente. Su función es la protección mecánica, química y ambiental del cable, además de resistir ciertos fenómenos en función del entorno donde el cable será instalado. Además, debe presentar resistencia a la humedad, fuego, radiación UV, hidrocarburos, resistencia a impactos y abrasión.[11]

Las cubiertas de los cables generalmente son fabricados con materiales termoplásticos como el policloruro de vinilo (PVC) o el polietileno (PE). Pueden incorporar armadura metálica en aplicaciones especiales y en cables de potencia antiguos como los PILC cuya armadura consistía en cintas o tubos de plomo.

1.4.3.3 Características importantes en diseño de cables de MT.

Clase o voltaje de diseño: Es el voltaje máximo para el cual, el cable está diseñado y puede operar de forma segura. Para cables primarios de media tensión, los valores de diseño son 15, 25 y 35 kV [14].

Calibre del conductor: Especifica el tamaño (diámetro y área) de la sección transversal del conductor interno y está directamente relacionado con la capacidad de conducción de corriente del cable. Para clasificar a los cables según su calibre, en Ecuador se usa la escala americana AWG (*American Wire Gauge*), que en alimentadores de media tensión parte desde los 2 AWG hasta los 4/0 AWG, mientras que para valores superiores se usa la notación kcmil o MCM (mil circulares mil) [4] [14].

Niveles de aislamiento: Especifica el nivel de tensión que el cable puede soportar durante cierto tiempo, donde espesor de aislamiento es determinado por el voltaje entre fases y características del cable [4]. El nivel de aislamiento es establecido en porcentajes.

En Ecuador, el nivel de aislamiento para cables de media tensión se categoriza en:

- Nivel 100%: Utilizado en sistemas de cables con neutro conectados sólidamente tierra y que cuentan con dispositivos de protección, de modo que, la falla a tierra sea eliminada en la mayor brevedad posible, en un tiempo menor a un minuto [3].
- Nivel 133%: Utilizado en casos en donde no puede cumplirse la eliminación de falla de la categoría 100%. Corresponde a sistemas de cables con neutro aislado que cuenten con una seguridad razonable en la sección con falla, para desenergizar la falla en un tiempo no mayor a una hora [3].

Capacitancia del cable: Es la medida de la capacidad del cable para almacenar carga entre el conductor y la pantalla, debido a la diferencia de voltaje entre ellos [11]. La capacitancia está relacionada con el espesor del aislamiento, la constante dieléctrica del material aislante y la longitud del cable, su unidad se encuentra en $\mu F/km$ [15].

1.4.3.4 Especificaciones Técnicas para Cables Aislados en la EEQ.

En Ecuador, las redes eléctricas utilizadas para atender el servicio eléctrico en lotizaciones, urbanización, condominios y edificios de propiedad horizontal deben ser de instalación subterráneas [1].

En el sistema de distribución de la EEQ, los voltajes nominales existentes en sus componentes se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1.1. Voltajes de servicio en distribución de la EEQ [1].

Componentes	Voltaje nominal
Alimentadores y redes primarias de distribución.	22.8 GrdY / 13.2 [kV] 13.2 GrdY / 7.62 [kV] 6.3 [kV]
Circuitos secundarios trifásicos	220 / 127 [V]
Circuitos secundarios monofásicos	240 / 120 [V]

Mientras que las características y especificaciones técnicas de cables aislados para instalaciones subterráneas actuales y nuevas se indican en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Características principales de cables para redes subterráneas [3].

Característica	Para Medio Voltaje	Para Bajo Voltaje
Conductor	Cobre suave o aluminio AA 1350 o AA 8000	Cobre suave o aluminio AA 8000
Forma de conductor	Cableado concéntrico	Cableado concéntrico

Tipo de aislamiento	Polietileno Reticulado XLPE o TR XLPE.	Polietileno (PE) a 75°C (TTU)
Voltajes de diseño	15 kV, 25 kV y 35 kV	2000 V o 600 V
Pantalla sobre aislamiento	Semiconductor de polietileno reticulado removible o de alta adherencia	
Tipo de pantalla electrostática	Cinta metálica o alambre de cobre	
Chaqueta	Material PVC (Color rojo)	Material PVC (color negro para fases y verde para neutro)
Resistencia	A la abrasión, calor y humedad	A la humedad y al calor

1.4.4 FALLAS EN CABLES ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

Se denomina falla a la condición física que ocasiona la avería en un cable, lo que le impide mantener la continuidad de servicio a la tensión requerida [16].

También se la puede describir como una resistencia no lineal en paralelo con un espacio de chispa (spark gap o explosor), como un circuito equivalente que puede presentarse en derivación (aislamiento) o en serie (conductores) en el cable, ejemplificado en la Fig. 1.8. En fallas reales pueden encontrarse en combinación de fallas en paralelo y serie.

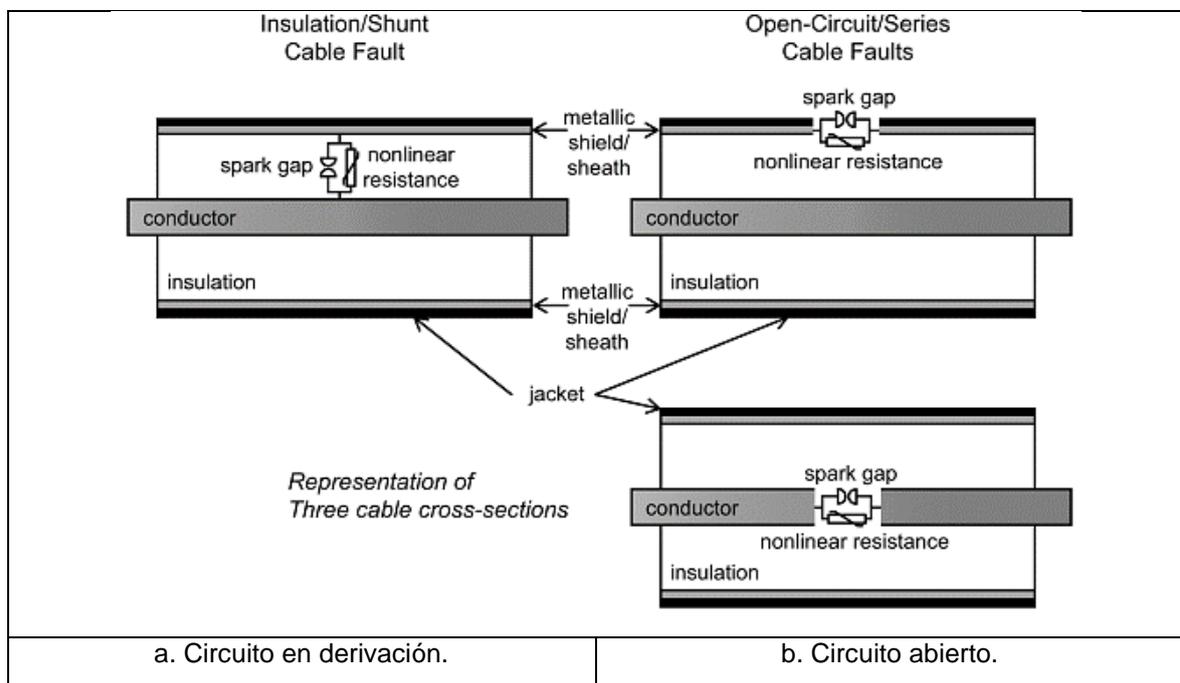


Figura 1.8. Falla en aislamiento y falla en conductores. [17]

Cabe mencionar que, la avería se define como una descarga disruptiva que puede presentarse a través o a lo largo del aislamiento, produciendo fallas del tipo alta resistencia, baja resistencia o intermitentes, en cortocircuito de fase a fase o fase a tierra y en circuito abierto [17].

1.4.4.1 Clasificación y Tipos de Fallas en Cables de Potencia.

Las fallas en cables de potencia pueden clasificarse en fallas francas y no francas, que a su vez agrupan los siguientes tipos de fallas.

Tabla 1.3. Tipos de falla y clasificación [18].

Ítem	Tipo de falla	Clasificación
1	Cortocircuito a tierra (baja impedancia)	Falla franca
2	Circuito abierto	
3	Cortocircuito entre fases	
4	Combinación de las anteriores	Falla no franca
5	De alta tensión (alta impedancia)	
6	Intermitentes	

Falla Franca: Se presenta como un cortocircuito o circuito abierto (interrupción del conductor). Este tipo de fallas generalmente se presentan en muy pocos casos (<5 % de fallas) [18]. El cortocircuito a tierra también es conocido como falla atornillada.

Falla No Franca: Presentan un bajo aislamiento en el lugar del defecto, es decir que, en funcionamiento o con aplicación de tensión de prueba, en algún punto débil del aislamiento se producirá una descarga disruptiva, impidiendo al cable, continuar en servicio. Generalmente es el caso de la mayoría de las fallas ($\geq 95\%$ del total) [18].

Tabla 1.4. Descripción de tipos de falla.

Tipo de Falla	Características.	Fallas típicas
Falla de baja resistencia.	<p>Producen interrupción del servicio por cortocircuito de conductor a tierra o con otro conductor, desviando la corriente a tierra en el punto de falla.</p> <p>Falla en derivación, forzada del contacto y pérdida de aislamiento entre conductor central y pantalla del cable.</p> <p>Se presenta como un puente carbono-metal de baja resistencia en aislamiento, $R < 100 \Omega$.</p> <p>Son fácilmente detectados por reflectometría TDR.</p> <p>Los voltajes de ruptura o falla (V_f) son bajos.</p>	<p>Cortocircuitos fase a tierra.</p> <p>Cortocircuitos de fase a fase en cables tripolares.</p>
Falla de alta resistencia.	<p>Falla en aislamiento, producto de una ruptura parcial del aislamiento en el cable, provoca una conexión de alta resistencia entre conductor y pantalla.</p> <p>Se presentan como caminos u orificios no carbonizados de alta resistencia ($R > 100 \Omega$) en valores de $k\Omega$ o $M\Omega$, pero menores al valor de resistencia de aislamiento.</p> <p>A pesar de que el conductor tenga continuidad, la falla no es detectada por reflectometría TDR, pero si es identificada ante la aplicación de tensión de prueba DC con altos voltajes de ruptura. Voltajes de ruptura elevados, entre 4 y 12 kV en cables de hasta 35kV.</p>	<p>Perforación o picadura en aislamiento.</p>
Falla intermitente.	<p>Falla en aislamiento, produce interrupciones intermitentes en el servicio, debido a la conexión temporal y repetida entre conductor y pantalla por defectos.</p>	<p>Cortocircuito temporal entre</p>

	Aparecen de forma aleatoria en determinados momentos de operación, a pesar de que el conductor tenga continuidad, estas fallas son difíciles de detectar y requieren de métodos de localización especializados. Mismas características de fallas de alta resistencia, con la diferencia de que no son sostenidas con el tiempo.	conductor y pantalla, por ingreso de agua (XLPE) o secado de aceite en cables PILC.
Falla de circuito abierto.	Falla en serie, debido a la separación de un segmento de conductor por ruptura o fundición por corrientes de falla. El cable presenta una discontinuidad de extremo a extremo, por ende, una interrupción en el flujo de corriente eléctrica. Son fácilmente detectados por reflectometría TDR ya que emulan la terminación del cable, $R \rightarrow \infty$.	Ruptura de conductor central. Ruptura de pantalla. Separación del empalme.

1.4.4.2 Causas de fallas y defectos en cables de media tensión.

En los cables de potencia para redes subterráneas inciden varios factores que contribuyen a la generación de defectos y con el tiempo llegan a provocar fallas. Entre ellos se pueden mencionar a los factores ambientales, condiciones de operación, condiciones de instalación, el envejecimiento natural del cable y factores externos como animales o daños provocados por terceros [19], donde también se toman en cuenta las características del cable y accesorios.

Tabla 1.5. Resumen de causas típicas de defectos y fallas en cables.

Daños Mecánicos.			
Origen de daños	Causas típicas	Consecuencias.	Defectos
Agentes Naturales y Ambientales.	Envejecimiento del cable. Entornos con alta humedad o inundadas. Movimientos de tierra. Exposición al sol o altas temperaturas. Perforación en armaduras de cables PILC.	Deterioro del material aislante. Deterioro del material de cubierta. Corrosión en pantallas. Ingreso de humedad en cables y empalmes. Rupturas de conductor central y pantalla. Fuga y secado de aceite en cables PILC. Separación de empalmes y terminaciones.	Arborescencias acuosas. Arborescencias eléctricas. Fallas de circuito abierto. Cortocircuitos en empalmes y conductores empapados de agua.
En instalación y mantenimiento.	Rasgaduras y perforación en cubierta. Fractura de aislamiento por aplastamiento. Estrés mecánico en instalación y en ángulos de curvatura. Impropiedad de instalación de accesorios y mano de obra defectuosa.	Ingreso de humedad en cables y accesorios. Corrosión de pantalla metálica. Acumulaciones de campo eléctrico en cavidades de accesorios y en irregularidades del cable.	Arborescencias acuosas. Arborescencias eléctricas. Descargas parciales.

Propios de fábrica.	Huecos y cavidades en aislamiento. Impurezas y contenidos en materiales aislantes. Distribución no homogénea de las capas y componentes en el cable. Defectos de fabrica en accesorios.	Acumulaciones de campo eléctrico en cavidades de aislamiento y accesorios.	Arborescencias eléctricas. Descargas parciales.
Agentes externos	Rasgaduras o mordeduras de animales. Aplastamiento y rupturas por excavación. Vandalismo.	Ingreso de humedad en el cable. Corrosión en pantallas. Rupturas de conductor central y pantalla.	Arborescencias acuosas. Arborescencias eléctricas. Fallas de circuito abierto.
Daños Eléctricos.			
Origen de daños	Causas típicas	Consecuencias.	Fallas
En operación y maniobra.	Seccionalización y reenganches. Sobrecargas.	Estrés eléctrico en aislamiento. Acumulaciones de campo eléctrico en cavidades de accesorios y cables. Separación de empalmes y terminaciones por explosiones.	Descargas parciales. Fallas de cortocircuito, intermitentes y de alta resistencia.
Descargas atmosféricas.	Sobretensión.	Fundición del conductor central por corrientes transitorias.	Fallas de cortocircuito y de circuito abierto.

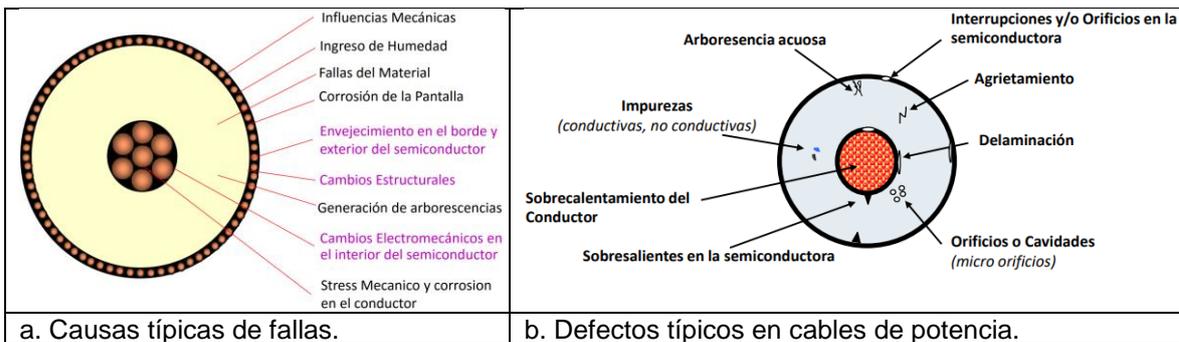


Figura 1.9. Causas y defectos típicos en cables aislados [15].



Figura 1.10. Proceso de degradación de aislamiento extruido en cables [15].

1.4.4.3 Degradación en aislamiento:

La degradación del aislamiento es un proceso en el tiempo que afecta al sistema de cables, reduciendo sus propiedades aislantes y concluyendo en fallas.

Los principales fenómenos de degradación en el aislamiento son:

Árboles de agua: Patrones de electro-oxidación en forma de árboles que pueden producirse con aumentos de tensión en impurezas iónicas, protuberancias o huecos en materiales poliméricos impregnados de humedad. El aislamiento es degradado debido a la modificación química en presencia de agua. Con el tiempo, estos árboles de agua se inducen en arboles eléctricos que crecerán hasta provocar fallos en el aislamiento [12].

Árboles eléctricos: Crecimientos en forma de árbol constituidos por microcanales no sólidos o carbonizados, que pueden producirse con aumentos de tensión en protuberancias, impurezas, huecos o árboles de agua por periodos de tiempo prolongados. Presentándose una descarga parcial, que hará crecer al árbol hasta provocar una falla [12].

Descarga Parcial: Pequeña descarga eléctrica localizada que genera un puente parcial del aislamiento entre dos conductores. Aparecen como eventos individuales de muy corta duración que van siempre acompañadas de emisiones de luz, sonido y calor, así como de pulsos electromagnéticos; y a menudo resultan en reacciones químicas [20]. Estas se clasifican como internas, superficiales y de efecto corona.

1.4.5 NORMATIVAS CONSIDERADAS PARA PRUEBAS DE CAMPO EN CABLES.

1.4.5.1 IEEE Std 400.2-2013: IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1Hz).

En esta norma se describen las pruebas de tensión soportado a muy baja frecuencia (VLF) como la prueba simple VLF y pruebas de diagnóstico como Tangente Delta (TD) y Descargas Parciales (DP), donde los métodos de ensayo VLF utilizan señales de CA con formas de onda senoidal a frecuencias de 0.01 Hz a 1 Hz, siendo 0.1 Hz, la frecuencia de prueba VLF más utilizada [12].

Esta guía tiene por objetivo proporcionar información relevante a la metodología, tensiones y factores a tomar en cuenta al efectuar pruebas en campo con tensión alterna VLF en cables apantallados de media y alta tensión de 5 kV a 69 kV con aislamiento extruido y laminado. Incluye tablas con los niveles de tensión de prueba recomendados para las pruebas de instalación, aceptación y mantenimiento [12].

Para las pruebas tratadas en este proyecto se toma en cuenta la Tabla 3 y 4 de esta norma, así como sus secciones 4 y 5 de seguridad y pruebas CA de muy baja frecuencia (VLF) respectivamente, en la aplicación de pruebas en aceptación y mantenimiento con VLF, TD y DP, teniendo una extensión referencial para esta última en la norma IEEE 400.3-2006.

1.4.5.2 IEEE Std 1234-2019: IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems.

En esta norma se describen las pruebas y mediciones que se realizan en los cables de alimentación apantallados para identificar la ubicación puntual de una falla. Indica las limitaciones de cada prueba y medición concretas para localizar una avería mediante la recomendación de técnicas de localización especializadas.

Esta guía tiene por objetivo enfatizar aquellas técnicas de localización de fallas que mantienen la integridad del cable, reducen el tiempo de interrupción del servicio y consideran la sensibilidad y seguridad del equipo. Siendo aplicable a sistemas de cables de alimentación apantallados y aislados, en todos los niveles de voltaje [17].

Proporciona información referente a la seguridad y a los tipos de fallas con una tabla de caracterización como ayuda para la selección de técnicas de localización.

De esta norma se han tomado en cuenta los apartados 4, 5, y las técnicas de localización de la sección 7, de su última versión IEEE Std 1234-2019.

1.4.5.3 IEC 60229-2007: Tests on extruded oversheaths with a special protective function.

Es una norma que proporciona una serie de pruebas que pueden ser requeridas para cables eléctricos de cubierta exterior extruida con función de protección especial. Comprende de pruebas eléctricos de rutina en cubiertas de cables, utilizados en sistemas aislados o no aislados, pruebas tipo de abrasión y propagación de corrosión; y prueba eléctrica del recubrimiento de cables después de la instalación [21].

Para este proyecto se toma en cuenta la sección 5 de esta norma, correspondiente a prueba eléctrica después de la instalación en la aplicación de prueba de cubierta.

1.4.6 PRUEBAS EN CAMPO DE CABLES AISLADOS.

Las pruebas en campo con respecto a las normas IEEE para pruebas en cables se categorizan por puntos de vista de aplicación y técnica.

1.4.6.1 Prueba para Instalación.

Es una prueba de campo realizada después de la instalación y montaje de tramos de cables nuevos, pero antes de integrar empalmes o terminaciones. La prueba está destinada a detectar daños durante el transporte, almacenamiento o fabricación [7].

1.4.6.2 Prueba para Aceptación.

Es una prueba de campo realizada después de la instalación del sistema de cables nuevos, incluidas las terminaciones y empalmes, pero antes de que el sistema sea energizado o puesto en servicio. La prueba está destinada a detectar daños posteriores a la instalación e identificar cualquier defecto o error grave en la instalación de accesorios [7].

1.4.6.3 Prueba para Mantenimiento.

Prueba de campo realizada durante la vida útil de un sistema de cables, por lo general durante un periodo no crítico o en condiciones planificadas. Está destinado a evaluar el estado del cable y accesorios, detectar el deterioro y comprobar la capacidad de servicio del sistema [12].

Se aplica en sistemas de cables que han estado en servicio por algún tiempo y que puede encontrarse con cierto grado de envejecimiento, por lo que los niveles de tensión y duración de prueba son menores a los aplicados en pruebas de instalación o aceptación [7].

1.4.7 PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO EN CABLES.

Son pruebas de campo aplicadas en cualquier momento de la vida útil de un sistema de cables para evaluar y conocer el estado de sus componentes. Está destinado a determinar y localizar degradaciones que puedan causar fallas en los cables y accesorios [7].

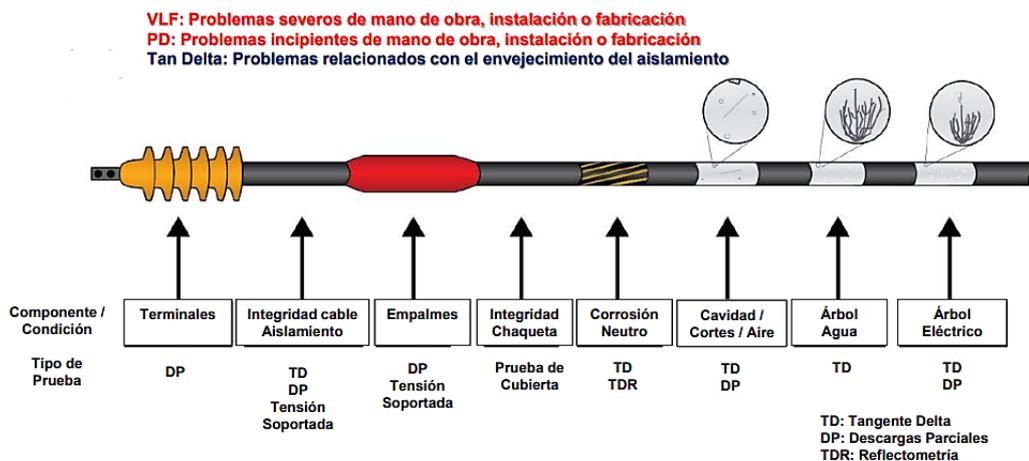


Figura 1.11. Guía de selección de pruebas y diagnósticos en cables [15].

El diagnóstico en cables aislados tiene 3 propósitos esenciales:

- Encontrar puntos débiles en el cable con defectos incipientes que pueden convertirse en fallas en corto o largo plazo.
- Conocer el estado actual del aislamiento y su pérdida de rigidez dieléctrica.
- Proporcionar información para la toma de decisión en reparación o reemplazo del cable antes de producirse una falla.

Las pruebas de diagnóstico son realizadas típicamente fuera de línea, en ausencia de tensión, donde el cable es desconectado de la red en ambos extremos, y son categorizadas como:

Prueba simple de tensión soportada: En el cual se aplica tensión de una magnitud predeterminada durante un tiempo predeterminado. Si el objeto de prueba sobrevive, se considera que el cable ha pasado la prueba [12]. Aplicados para el diagnóstico preventivo del cable, estas son:

- Prueba de cubierta o chaqueta.
- Prueba VLF.

Prueba monitoreada de tensión soportada: En el cual se aplica tensión de una magnitud predeterminada por un tiempo predeterminado. Durante la prueba, se monitorean el comportamiento de las propiedades del objeto de prueba, para determinar su condición [12]. Aplicados para el diagnóstico predictivo del cable, estas son:

- Prueba de Tangente Delta.
- Prueba de Descargas Parciales.

1.4.7.1 Prueba de Cubierta.

Esta prueba se utiliza para verificar la integridad eléctrica de la cubierta externa del cable después de su instalación en ductos, para ello se sigue la cláusula 5 de la norma IEC 60229:2007 y utiliza un equipo Hipot DC conectado por la pantalla del cable.

Consiste en aplicar una tensión continua de 4kV por milímetro de espesor de la cubierta exterior extruido con un máximo de 10 kV entre la pantalla metálica y el electrodo exterior durante un período de 1 minuto; en donde no deberá producirse ninguna descarga disruptiva durante la prueba [21]. Para que la prueba sea efectiva, es necesario que el suelo haga buen contacto con toda la superficie de la cubierta.

1.4.7.2 Prueba de Tensión Soportada VLF con forma de onda senoidal (AC-VLF).

La prueba VLF es una prueba de diagnóstico de tensión soportada simple que tiene como objetivo verificar la integridad del cable sometido a prueba. Si el cable de prueba tiene un defecto lo suficientemente grave a la tensión de prueba aplicada, se iniciará un árbol eléctrico y crecerá en el aislamiento en función de la geometría del defecto, la frecuencia y amplitud de la fuente de tensión [12].

Esta prueba es aplicada en pruebas de campo de instalación, aceptación y mantenimiento, cuyos parámetros de ensayo como el voltaje y tiempos de prueba, consideraciones y metodología es indicada por la norma IEEE 400.2-2013 sección 5.1.

En esta prueba se utiliza un equipo de prueba que proporcione una tensión VLF a 0.1 Hz con forma de onda senoidal conectado al objeto de prueba por su conductor central. El nivel de tensión de prueba es ajustado al valor especificado en la Tabla 3 de la norma IEEE 400.2 según la clase o voltaje de diseño del cable. Este voltaje de prueba es aplicado por una hora en pruebas de instalación o aceptación, mientras que en mantenimiento es aplicado por 15 o 30 minutos, el cable pasa la prueba si es capaz de soportarla, caso contrario, si se produce una falla con el colapso de tensión, el cable no pasa la prueba [12].

1.4.7.3 Prueba de Tangente Delta con forma de onda senoidal VLF (VLF-TD).

La prueba de tangente delta es una prueba de tensión soportada monitoreada, en donde se mide el factor de disipación (Tan Delta) en cables para determinar el factor de pérdida del material aislante, ya que este factor aumenta durante el proceso de envejecimiento del cable, por tanto, es utilizada como diagnóstico [7].

El factor de disipación se define como la relación entre la corriente resistiva (I_R) y capacitiva (I_C) y el ángulo delta es el ángulo de fase entre la corriente capacitiva y la corriente total, a una frecuencia ω y tensión U .

$$DF = \tan(\delta) = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega RC} \quad (1.1)$$

Donde el aislamiento del cable puede ser representado por un circuito equivalente que consiste en dos elementos, una resistencia y una capacitación, que, ante la aplicación de una tensión de prueba VLF, es calculado el coeficiente tan delta.

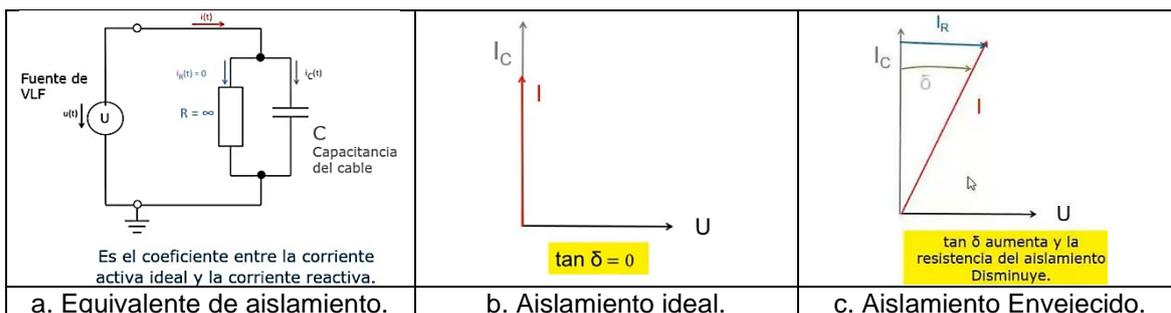


Figura 1.12. Circuito equivalente de aislamiento y sus relaciones de tangente delta [22].

Para la prueba de tangente delta, el cable es conectado a un equipo de prueba capaz de generar tensión VLF senoidal y medir TD, la metodología de prueba esta dictada por la norma IEEE 400.2 sección 5.4 y es aplicada en pruebas de campo de mantenimiento.

En la prueba se mide tangente delta (TD) a $0,5 U_0$, U_0 , y $1,5 U_0$, (U_0 Voltaje nominal fase-tierra del cable), por cada paso se debe incluir al menos seis mediciones de TD en intervalos de 10s a 0,1 Hz. Se calculan tres parámetros importantes, tangente delta promedio, tangente delta diferencial y la estabilidad de tangente delta, que vienen determinadas principalmente por la degradación del aislamiento del cable (árboles de agua), la corrosión de los blindajes metálicos, la humedad del aislamiento y la degradación de los accesorios [12].

Tangente delta promedio (\overline{TD}): Es el valor promedio de las mediciones de TD en cada paso de tensión.

Tangente Delta diferencial (DTD): Es la diferencia del valor TD medido entre dos niveles de tensión, indica el comportamiento de TD con el incremento de voltaje.

$$DTD = \overline{TD}(1.5 U_0) - \overline{TD}(0.5 U_0) \quad (1.2)$$

Estabilidad temporal de Tangente Delta (TDTS): Es la desviación estándar de los valores TD medidos en el tiempo a un paso de tensión.

$$TDTS = \sqrt{\frac{\sum(TD - \overline{TD})^2}{(n - 1)}} \quad (1.3)$$

La medición TD con forma de onda sinusoidal de 0,1 Hz ofrece una evaluación comparativa del envejecimiento de los aislamientos de PE, XLPE, TRXLPE, EPR y tipo papel, cuyos resultados permiten diferenciar entre sistemas de cables nuevos, defectuosos y muy degradados [12].

Los valores absolutos de VLF-TD, VLF-DTD y estabilidad temporal (VLF-TDTS) son utilizados como cifras de mérito o se comparan con datos históricos para calificar el estado del aislamiento del cable como:

- *No se requiere ninguna acción.*
- *Se aconseja un estudio más detallado.*
- *Acción requerida.*

La norma IEEE 400.2 proporciona tablas con cifras de mérito para evaluación de aislamiento según su tipo [12].

1.4.7.4 Prueba de Descargas Parciales con forma de onda senoidal VLF (VLF-PD).

La prueba de descargas parciales permite identificar ubicaciones de descarga (huecos, bordes afilados, partes flotantes, árboles eléctricos y tracking) como puntos débiles en un sistema de cables. Las descargas parciales se originan en zonas localizadas del aislamiento, las juntas o las terminaciones del cable bajo estrés eléctrico (sobrevoltajes, en condiciones estacionarias de servicio o por una tensión de prueba externa) [7].

Las descargas parciales se describen mediante parámetros, como las tensiones de inicio y extinción de las descargas parciales (PDIV y PDEV), las magnitudes de los impulsos de las descargas parciales, los patrones de descargas parciales y la ubicación de las descargas parciales en un tramo de cable [7].

Las mediciones de campo de DP se pueden realizar en línea a tensiones U_0 o fuera de línea a tensiones de prueba superiores a U_0 por las dos razones siguientes:

- Para evaluar si existen defectos de aislamiento con PDIV superior al voltaje de operación normal. Tales defectos pueden iniciar fallos de aislamiento en caso de sobretensiones de CA temporales, pero no en condiciones normales de operación.
- Para verificar que después de una prueba de aceptación, no se detectan DP hasta una tensión superior al servicio. Esto indicará que durante la operación de servicio el aislamiento del cable de alimentación está libre de defectos con DP [7].

La prueba de descargas parciales con onda senoidal VLF es una prueba de tensión soportada monitoreada, aplicada en pruebas de campo de aceptación y mantenimiento, donde la metodología de aplicación esta dictada por la norma IEEE 400.2 sección 5.5.

Este método de medición DP en particular consiste en aplicar un voltaje sinusoidal a 0.1 Hz, a valores desde 0 hasta $2 U_0$, tensión eficaz del cable fase-tierra, para provocar descargas parciales en los sitios con defectos de aislamiento. Mediante el uso de métodos de ondas se puede medir la magnitud de las DP, ubicar y registrar las DP de los diversos defectos en el cable, empalmes o terminaciones, siendo una herramienta de diagnóstico no destructiva [12].

1.4.8 TÉCNICAS Y EQUIPOS PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS DE ALTA IMPEDANCIA EN CABLES AISLADOS.

1.4.8.1 Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).

La reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) se utiliza para localizar y caracterizar los cambios de impedancia en un sistema de cables [7]. Esta es una prueba sencilla que es aplicada para medir la longitud del cable para pruebas de diagnóstico y para localizar fallas de baja resistencia, obteniendo la distancia en donde se encuentra la avería.

Para lo cual, los reflectómetros (TDR) transmiten pulsos de baja tensión y de corta duración por el conductor del cable. Registran el tiempo transcurrido del pulso al recorrer toda la longitud del cable y sus reflexiones producidas por desviaciones de la estructura homogénea del cable. Estas reflexiones inciden de vuelta a la fuente y son mostradas en una pantalla de visualización [17].

Los cambios en las impedancias aparecen en una secuencia temporal y permiten al operador ubicar e identificar el inicio y fin del cable, los empalmes y derivaciones, los cambios en el tipo de cable y averías como cortocircuitos e interrupciones. La lectura digital de un TDR proporciona la distancia a la avería y la medición de la longitud del cable, a partir del tiempo de reflexión de un pulso conociendo la velocidad de propagación de conductor. La medición TDR se realiza con el cable fuera de línea y requiere que al menos dos conductores (conductor central y la pantalla) estén en estrecha proximidad [17].

1.4.8.2 Equipo de Descarga Capacitiva (Thumper).

Los thumpers son dispositivos de descarga capacitiva y de generación de sobretensión en AT, con suficiente tensión y energía para romper un punto de avería y también generar un golpe audible en la ubicación de la vería en el cable [17]. El Thumper se caracteriza por su tensión y energía nominales. La energía nominal se calcula según la ecuación:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1.4)$$

Donde E es la clasificación energética del thumper (J o W-s), C es la capacitancia interna (F) y V es la tensión nominal del thumper.

El funcionamiento del Thumper se basa en la descarga periódica de su condensador interno en el cable. Cuyo propósito es romper la falla en el espacio de chispa (spark gap) y causar un ruido audible en ella, o bien proporcionar una corriente de arco lo suficientemente fuerte para permitir la medición de la reflexión del arco [17].

La aplicación combinada de equipos Thumper y TDR es útil para prelocalizar fallas mediante el método de reflexión del arco y luego identificar la falla con instrumentos acústicos y/o electromagnéticos.

1.4.8.3 Métodos de Pre-localización de Fallas de Alta Resistencia.

Las fallas de alta resistencia en cables suelen reflejarse de manera insuficiente o nula en la medición TDR debido a sus impulsos de muy baja tensión, siendo imposible localizar la posición de la avería en el reflectograma.

Para estos casos, se han establecido métodos de prelocalización adicionales que combinan un procedimiento de alta tensión con un procedimiento de reflexión de impulsos. Estos métodos fuerzan una descarga disruptiva en la avería y con ella un arco voltaico en esa posición. La cual es conseguida mediante la descarga instantánea de un condensador cargado o mediante la carga del cable, provocando que la falla se comporte como una de baja resistencia durante un corto periodo de tiempo.

Método de Reflexión de Arco (ARM).

El método reflexión del arco de sobretensión permite localizar fallas de alta resistencia e intermitentes. Donde un generador de sobretensión puede convertir dichas fallas temporalmente en fallas de resistencia muy inferiores a la impedancia característica, facilitando su localización en una operación combinada de TDR y el generador de sobretensión en dos fases.

En la primera fase de la medición, los pulsos del TDR no son reflejados por la falla de alta resistencia o intermitente y sólo son visibles el inicio, final y empalmes del cable. En la segunda fase, se conecta el generador de sobretensión, cuya amplitud del pulso de sobretensión es lo suficientemente alta como para romper la avería y generar un arco en su lugar. El pulso del TDR se reflejará en el arco y una imagen de la falla temporal de baja resistencia se visualizará como una reflexión negativa, indicando la ubicación de la falla en pantalla. Una vez que cesa el arco, la falla vuelve a su estado de alta resistencia [17].

Método de corriente de impulso (ICE).

El método de corriente de impulso permite localizar averías en cables de alta resistencia e intermitentes. Donde un generador de sobretensión envía un pulso de alta tensión al cable defectuoso, produciendo un arco eléctrico en el lugar de la avería.

Parte de la energía del impulso de AT se refleja en el inicio del cable y, debido a la baja impedancia del condensador de sobretensión, es reflejada nuevamente en el cable. La señal rebota hasta que se disipa toda su energía. Este proceso puede ser observado acoplando un TDR en el cable, donde el espaciado de las reflexiones que se muestran en una pantalla es la medida de la distancia a la falla [17].

Método DECAY o de decaimiento.

El método Decay permite localizar averías en cables de alta resistencia e intermitentes cuando la tensión de ruptura de la avería es superior a la tensión máxima disponible del generador de sobretensión, o cuando la capacitancia del cable se aproxima o supera la capacitancia de un thumper.

Un equipo de prueba de CC o un quemador cargarán continuamente el cable hasta que se produzca el arco de la avería. En cada arco, se genera una onda viajera que se refleja de un lado a otro entre el inicio del cable y la falla, hasta que se disipa su energía. Esto puede ser observado acoplando un TDR, cuyo espaciado de las reflexiones que se muestran en una pantalla es la medida de la distancia a la falla [17].

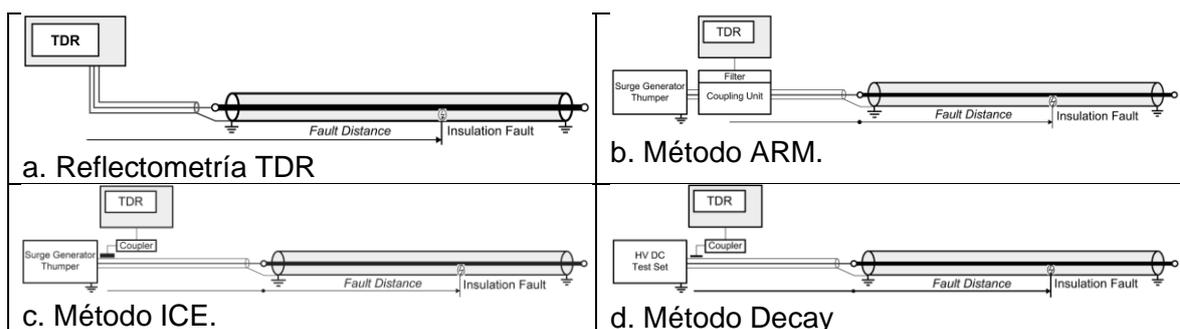


Figura 1.13. Diagrama esquemático de métodos de prelocalización de fallas [17].

1.4.8.4 Métodos de seguimiento y localización puntual.

Método de audio y radio frecuencia.

Este método consiste en conectar un generador de audiofrecuencia, operando normalmente en el rango de 60 Hz a 200 kHz, al conductor y a la pantalla metálica del cable. Estos conductores, junto con la falla, proporcionan una vía de corriente para la señal, siendo la tierra una vía adicional.

Una antena direccional sintonizada se utiliza para detectar el campo magnético generado por la corriente inyectada. Dependiendo de la polarización de la antena con respecto al trazado y al cable, se detecta una señal nula o de pico directamente sobre el cable. Las mediciones de los cambios de señal, especialmente en la lectura nula, se utilizan para la localización de empalmes, detección de la corrosión del blindaje metálico y localización de fallas que no emiten una señal acústica [17].

Método de coincidencia.

El método consiste en descargar un condensador (Thumper) en el cable defectuoso. Luego, con un detector electromagnético, se rastrea el pulso del golpe por el cable, mientras que con el detector acústico se detecta el golpe audible causado por la descarga. En las proximidades de la falla, la onda de transición magnética se utiliza para iniciar un temporizador y la señal acústica para detenerlo. La medición del tiempo transcurrido indica la distancia o profundidad de la falla. Cuando el tiempo transcurrido entre el flashover y el golpe es mínimo, el operador se encuentra directamente encima de la falla [17].

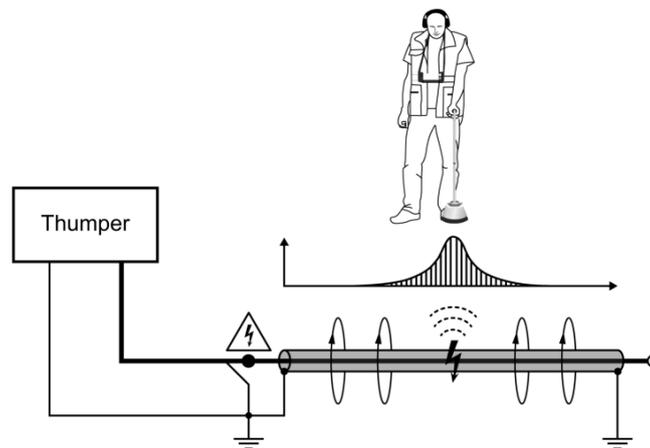


Figura 1.14. Método de localización por coincidencia [17].

2 METODOLOGÍA.

En este capítulo se describe la metodología de pruebas en cables ejecutada por la Empresa Eléctrica Quito S.A., a través de su personal profesional capacitado por Megger para la operación del Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

En la primera sección se expone la funcionalidad y características del Laboratorio Móvil de Cables Centrix con su equipamiento complementario; en la segunda sección se mencionan las consideraciones previas a ejecución de pruebas en campo; mientras que, en la tercera sección se presenta la descripción de pruebas de instalación, aceptación y mantenimiento más la localización de fallas en cables subterráneos; y, finalmente, en la cuarta sección se muestra la estructuración de la Guía técnica, basada en el procedimiento actual de pruebas, las normativas utilizadas y el manejo del sistema Centrix.

2.1 EQUIPAMIENTO TECNOLÓGICO DE LA EEQ PARA PRUEBAS DE CABLES DE POTENCIA.

2.1.1 LABORATORIO MÓVIL DE CABLES CENTRIX 2.0 DE LA EEQ.

La Empresa Eléctrica Quito con el propósito de mejorar la calidad y continuidad del servicio a sus clientes, en el año 2020, mediante convenio con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), invirtió más de 700 mil dólares en la adquisición de dos laboratorios móviles, los cuales consisten en dos vehículos Tipo Van equipados en su interior por tecnología del fabricante Megger^R. El primer vehículo en llegar, en 2021, fue el Laboratorio Móvil de Transformadores destinado a pruebas en campo de transformadores de distribución y potencia; el segundo vehículo en llegar, en 2022, fue el Laboratorio Móvil de Cables destinado a la ejecución de pruebas de diagnóstico y localización de fallas en cables de potencia para redes de distribución subterráneas, siendo estos los primeros vehículos de esta tecnología adquiridas por un Empresa de Distribución Eléctrica en Latinoamérica [23].

El Laboratorio Móvil de Cables es uno de los sistemas de pruebas instalados en vehículo más moderno, eficiente y completo de la región para diagnóstico de cables y localización de fallas. Este laboratorio monta el sistema centralizado Centrix 2.0 del fabricante Megger configurada en función de las necesidades y requerimientos de la EEQ para atender trabajos en campo en su área de concesión a sus clientes internos como también externos en una mejorar continua de su servicio.



Figura 2.1. Laboratorio Móvil de Cables Centrix de la EEQ.

El Laboratorio Móvil denominado Van de Cables puede ser alimentado desde la red o desde su propia fuente de alimentación tipo generador a 120 V / 60 Hz y puede trabajar como fuente para la inyección de alto voltaje AC y CC con valores nominales de hasta 62 kV_{AC} y 80kV_{CC} para los respectivos modos de operación [24].

Su Sistema Centrix 2.0 se encuentra equipado por un módulo Teleflex, un sistema Hipot de pruebas por corriente continua y de cubierta, un sistema de pruebas VLF-seno con módulo de diagnóstico TDM-62 para medición Tan-Delta interno y descargas parciales, además de un sistema integral para Pre-localización y localización puntual de fallas con generador de audiofrecuencia y de condensador de choque (Thumper interno), permitiendo efectuar pruebas y diagnosticar cables, acorde con las respectivas normas y localizar fallas de manera ágil y no destructiva.

La Van de cables se encuentra dividida por el cuarto de control y el gabinete para el sistema de conexión de AT. En este último se encuentran los componentes del sistema de conexión, donde la disposición se configura acorde al tipo de vehículo y el equipamiento adicional, la descripción de los componentes se puede encontrar en el ANEXO I Subsección 2.3 [24].

Además, su interior se encuentra diseñado y climatizado como oficina, disponiendo de compartimentos que permiten organizar herramientas, instrumentos y demás equipos, donde también se encuentra la unidad control e instrumentación con un alto nivel de seguridad para el personal y del propio sistema durante la ejecución de pruebas.

La unidad de control central del Laboratorio móvil viene incorporada, de serie, con una PC industrial de pantalla táctil y un panel de mando para la navegación en su interfaz. Alternativamente se puede controlar el sistema mediante un computador portátil con el software GPSP instalado y un *dongle* de acople.

2.1.2 INTERFAZ DEL SISTEMA CENTRIX Y MEGGERBOOK CABLE.

El Sistema Centrix cuenta con una interfaz de usuario basado en Linux instalado en la PC industrial, que permite al operario controlar todas las funciones y navegar a través de menús adaptables según sus modos de operación, además de presentar en pantalla los parámetros de prueba, alertas y trazas de ejecución durante las pruebas.

También, el sistema Centrix se encarga de almacenar y registrar automáticamente todos los resultados de las pruebas, tanto de forma temporal como permanente. Mientras que, las funciones del sistema, los resultados de las mediciones y los indicadores de alerta se muestran en la pantalla de la unidad control.

Por otra parte, el software de registro MeggerBook Cable es un programa de bases de datos que se encuentra integrado en el sistema Centrix 2.0 y registra permanentemente en segundo plano las mediciones realizadas, permite crear y administrar información de cables como también generar informes.

Los registros de datos almacenados (mediciones, cables, informes) pueden ser exportados a otros equipos de medición con MeggerBook Cable, así como también a un ordenador con el programa MeggerBook ReportEdition instalado.

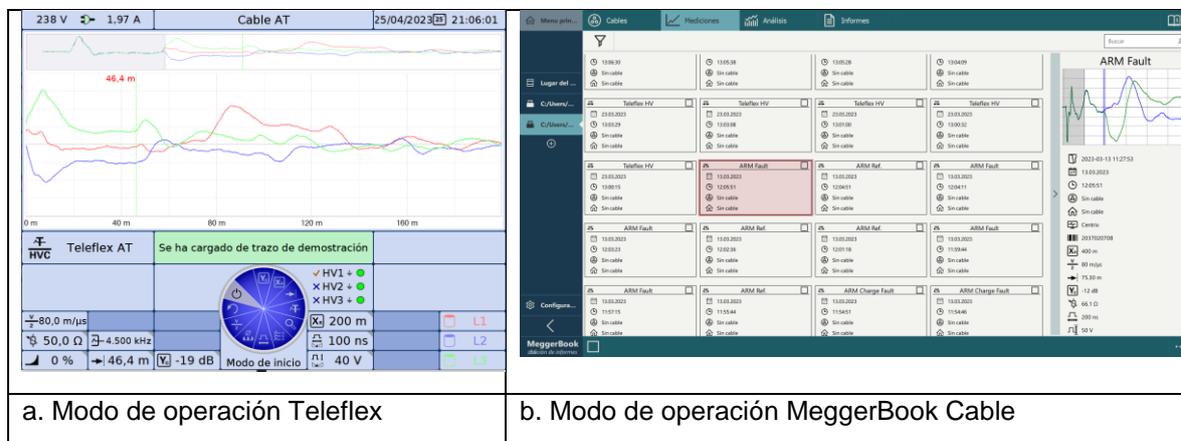


Figura 2.2. Interfaz de usuario del sistema Centrix 2.0.

Véase la descripción detallada de los elementos de las interfaces de usuario Centrix y MeggerBook Cable en el Anexo I, Guía Técnica.

2.1.2.1 Modos De Operación Del Sistema Centrix Del Laboratorio Móvil.

Las funcionalidades del Laboratorio Móvil De Cables de la EEQ vienen dadas según la configuración de adquisición. Estas disponen de modos de operación, que cuya navegación y presentación se encuentra detallada en el ANEXO 1 (2.5.3).

Las principales funcionalidades se pueden resumir en la siguiente lista:

Menú de selección Sistema: Contiene los principales menús de datos e información de sistema, así como los menús para su configuración interna.

Menú Librería de cables: Accede al modo de operación del software de registro MeggerBook Cable para la creación de cables, gestión de pruebas y generación de informes.

Menú de Modos TDR: Dispone de dos modos de medición de reflexión de impulso TDR, el modo de operación normal por Teleflex AT y el modo de operación especial IFL (Localización de avería intermitentes).

Menú de Prueba: Incluye modos de operación para análisis de cables por prueba de cable con corriente continua (Prueba con CC), prueba con voltaje sinusoidal a muy baja frecuencia (Prueba de VLF) y Prueba de Cubierta para análisis de la cubierta externa.

Menú de Diagnóstico: Cuenta con modos de operación para el diagnóstico dieléctrico de cables por Prueba de Tangente Delta para determinar el factor de pérdida $\tan \delta$ y diagnóstico por Descargas Parciales. Estos modos de operación requieren de dispositivos complementarios de conexión como el HVCC y el PDS 62-SIN respectivamente.

Menú de Pre-localización: Dispone de modos de operación para Pre-localización de fallas de alta impedancia por Medición de la Reflexión de Arco (ARM), Desacoplamiento de voltaje (Decay) y Desacoplamiento de corriente (ICE).

Menú de Localización Punto Exacto: Contiene los modos de operación para localización exacta de averías mediante Onda de Choque y trazado con Generador de Audiofrecuencia. Estos modos de operación funcionan complementariamente con el equipo receptor Digiphone+2.

Menú de Quemado: Cuenta con un modo de operación particular denominado Quemado que permite la conversión de averías de alta resistencia en derivación de baja resistencia.

2.1.3 EQUIPOS COMPLEMENTARIOS DEL LABORATORIO MÓVIL DE CABLES.

2.1.3.1 PDS 62-SIN: Acoplador para Descargas Parciales.

El PDS 62-SIN es una unidad de acoplamiento de descargas parciales que, en combinación con la fuente de voltaje de pruebas VLF-Sinus del Laboratorio Móvil, permite reconocer, valorar y localizar puntos de avería de DP en el aislamiento y accesorios de cualquier tipo de cable de media tensión.

El sistema de medición de descarga parcial PDS 62-SIN conecta la fuente de voltaje con el objeto de ensayo y se encarga de desacoplar y registrar las señales de medición. Sus componentes internos están diseñados para desacoplar las señales (condensador de acoplamiento, impedancia de medición, amplificador de medición), mientras que, el detector de DP procesa las señales [25].

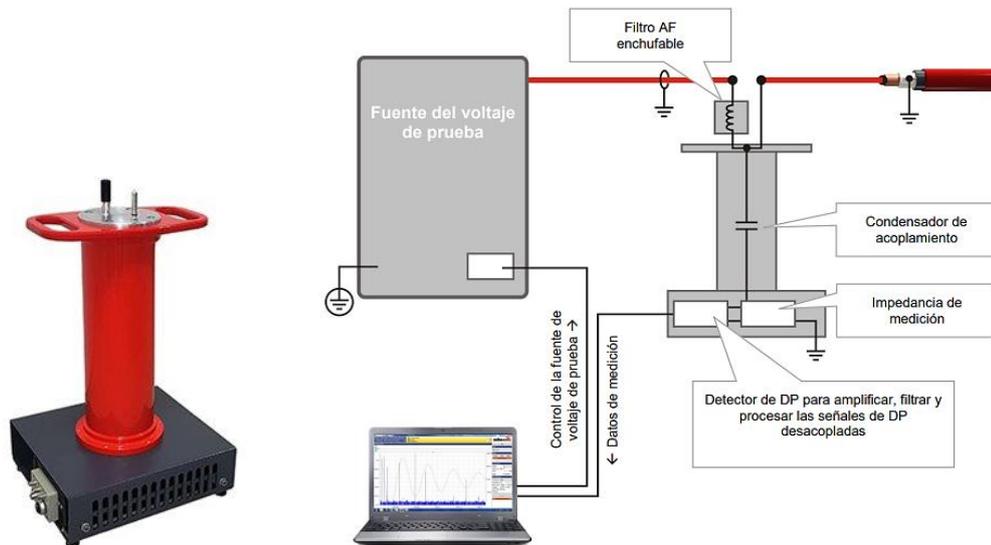


Figura 2.3. Sistema de medición de descarga parcial PDS 62-SIN [25].

Calibrador DP CAL1: El calibrador es un dispositivo adicional al sistema de medición de descargas parciales PDS 62-SIN, funciona como generador de impulsos que acopla de manera continua impulsos de calibración a una carga de magnitud conocida (1nC) en el objeto de ensayo [26].



Figura 2.4. Dispositivo calibrador CAL 1.

2.1.3.2 HVCC VLF SIN-62.

Es un dispositivo de conexión de HVCC para corrección del cable de alta tensión, su función consiste en corregir corrientes de fuga durante la medición de la tangente delta. Donde el apantallamiento del cable debe conectarse mediante un adaptador HVCC al cable neutro de la fuente de AT, véase Anexo II.



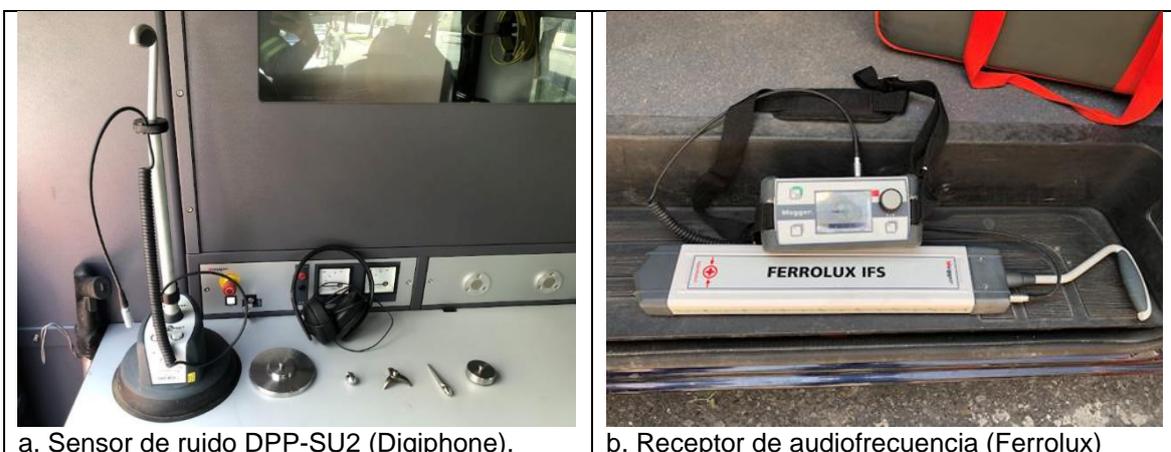
Figura 2.5. Dispositivo HVCC.

2.1.3.3 DIGIPHONE+2 NTRX: Localizador puntual de fallas en cables y trazador con receptor de ondas de choque.

El kit Digiphone+2 es un conjunto de dispositivos de recepción de señal acústica y electromagnética, destinado a la localización acústica de fallas por ondas de choque, como también el enrutamiento y trazado de cable por generador de audiofrecuencia.

Este kit está conformado por tres accesorios operados desde una unidad de visualización, que en función de la conexión del accesorio cambia su modo de operación. El denominado conjunto NTRX consta de un sensor de ruido de suelo DPP-SU2 (Digiphone), un receptor de audiofrecuencia iFS (Ferrolux) y picas de tierra (ESG) para localización exacta de fallas en cables, véase conexión y detalles de accesorios de Digiphone+2 en el Anexo IV.

La tecnología de su unidad indicadora, de serie, cuenta con reducción de ruido de fondo BNR, silenciador automático de proximidad APM, una brújula de cables y flecha de falla. Esta unidad permite una visualización continua de la profundidad, posición y dirección del cable subterráneo, además incorpora una reducción eficiente de ruido y una acústica mejorada para la identificación de fallas [27].



a. Sensor de ruido DPP-SU2 (Digiphone).

b. Receptor de audiofrecuencia (Ferrolux)

Figura 2.6. Sistema de localización puntual de averías Digiphone+2.

2.2 CONSIDERACIONES DE LA EEQ PARA PRUEBAS EN CAMPO DE CABLES SOTERRADOS.

2.2.1 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA PRUEBAS EN CAMPO.

La Empresa Eléctrica Quito con el objetivo de resguardar la integridad y salud de su personal dispone de instructivos y procedimientos de seguridad que permite identificar peligros, valorar riesgos y determinar controles para evitar accidentes e incidentes de trabajo en las distintas condiciones.

2.2.1.1 Reglas de oro del electricista profesional.

Al trabajar con electricidad, todo personal que interviene en instalaciones de red de BV, MV y AV se encuentra expuesto a electrocución y quemaduras por arco eléctrico. Para evitar estos accidentes, la EEQ ha definido y establecido siete reglas de oro que el electricista profesional debe poner en práctica [28]:

1. Elaborar un diagrama eléctrico unifilar.
2. Abrir los cortes visibles:
 - a. Cortes visibles adyacentes a disyuntores, interruptores, re-conectores.
 - b. Seccionadores SB, SRA, SF, lazos en MT y apertura de cartuchos fusibles en BV.
3. Bloquear y etiquetar los cortes visibles.
4. Comprobar a distancia, la ausencia de voltaje en cada uno de los conductores.
5. Instalar, lo más cerca posible a la zona de trabajo, las puestas a tierra y cortocircuitos.
6. Delimitar y señalar físicamente la instalación consignada.
7. Dar constancia de la conformidad de la consignación mediante firma.

2.2.1.2 Reglas de Seguridad para trabajos con Alta Tensión.

Para el correcto uso del Laboratorio Móvil de Cables que inyecta alta tensión en AC como en DC en sus pruebas de campo, el fabricante Megger, dispone de las siguientes cinco reglas de seguridad para salvaguardar a los operadores, el sistema y los equipos conectados [24]:

1. Desconectar.
2. Proteger contra reconexiones.
3. Comprobar la ausencia de tensión.

4. Conectar a tierra y cortocircuitar.
5. Señalizar la zona de trabajo y aislar partes energizadas adyacentes.

2.2.1.3 Procedimiento de seguridad para pruebas en campo.

Para la ejecución de pruebas de diagnóstico y localización de fallas con el Laboratorio Móvil de Cables, el Grupo de Cables ha establecido las siguientes pautas de seguridad:

1. Todo trabajo debe estar soportado por las ordenes de trabajo, con los datos requeridos para el mismo y la consignación del área de trabajo.
2. Previo a la ejecución del trabajo, se debe realizar la inspección correspondiente, para planificar el procedimiento de trabajo, en caso de tormenta eléctrica y/o lluvia, el trabajo será suspendido o evitado su inicio.
3. Contar con el equipo de protección personal (EPS): uniforme de trabajo con cintas reflectantes, botas dieléctricas, casco con protección facial y guantes; así como radios para comunicación y equipo de des-energización.
4. Delimitar el área de trabajo, despejando y protegiendo ambos extremos del cable para evitar el riesgo eléctrico y el acceso a peatones y personal no autorizado.
5. Contar con fácil acceso a la malla de tierra del sitio para la conexión de Laboratorio Móvil, equipos de des-energización y conductores de cables durante pruebas.
6. Mantener la comunicación y coordinación de maniobras entre el equipo de compañeros en el extremo inicial y final del sistema de cables a trabajar.
7. En todas las pruebas con aplicación de AT, es obligatorio descargar (des-energizar) los conductores del objeto de prueba previo a maniobras y cambios de conexión.



Figura 2.7. Desenergización de cables posterior a inyección de tensión de prueba. Estas pautas son aplicadas en cada prueba descrita en este documento. Además, dichas pautas son consideradas para la estructuración de la guía y anexadas en la Guía Técnica.

2.2.2 CONSIDERACIONES PREVIAS A EJECUCIÓN DE PRUEBAS EN CABLES AISLADOS.

Niveles de tensión: Es necesario diferenciar los 3 valores de tensión existentes en los sistemas de cables y sus pruebas:

U [kV]: Clase o Tensión nominal de diseño entre fases. Ej: 15, 25 y 35 kV.

U_0 [kV_{rms}]: Tensión nominal eficaz de funcionamiento fase a tierra. Ej: $\frac{15}{\sqrt{3}} = 8.6$ kV_{rms}

U_S [kV]: Voltaje nominal de servicio entre fases. Ej: 6.3, 13.2 y 22.8 kV.

Mientras que la tensión de prueba U_{test} puede considera los valores U_0 o U_S según el tipo de prueba aplicada, y en disrupción, el voltaje de ruptura U_{fault} suele ser menor a U_0 y U_S .

2.2.2.1 Identificación de cables y fases a probar.

Consiste en identificar las características más importantes del cable, registrándolas para corroborar con los datos proporcionados en la orden de trabajo y para crear el archivo de cable nuevo en el software MeggerBook Cable del sistema Centrix.

Estas características son: el voltaje de diseño (Clase), el calibre del conductor, material del conductor y aislamiento, año y nombre del fabricante. Estas se encuentran marcadas por cada metro del cable.

Las fases son identificadas en pruebas de instalación y aceptación mediante marcas de cinta o numeración directamente, mientras que, en pruebas de mantenimiento o localización de fallas, los técnicos determinan la fase según la disposición del montaje de la terna, siendo de izquierda a derecha la numeración L1, L2 y L3 de cada línea.

2.2.2.2 Preparación de puntas de cables a probar.

Consiste en acondicionar las puntas del cable en cada extremo y disponerlas sobre un soporte pedestal a distancia segura entre ellas, dejándolas listas para maniobras y conexiones con el equipo de prueba.

Pueden tener puntas desnudas para pruebas de instalación y mantenimiento en ciertos casos, donde se expone el conductor desnudo mediante el corte ordenado de sus componentes externos, mientras que, para pruebas de aceptación, tienen las puntas con terminaciones listas, donde se toma en cuenta la accesibilidad a estas en cada extremo y el tipo de conector de ser el caso. En localización de fallas se pueden tener puntas terminales en cables nuevos o puntas desnudas en cables viejos.

2.2.2.3 Conexión de puntas y pantallas para pruebas.

La conexión de los objetos de ensayo y del Laboratorio Móvil de Cables varían según el tipo de prueba a aplicar y de las maniobras de conexión en ambos extremos del cable. Véase las conexiones según el tipo de prueba aplicada en el ANEXO II.

El equipo de prueba se conecta al conductor del cable a probar mediante su terminal de AT, mientras que, su pantalla se conecta a tierra y al conductor neutro del terminal de AT.

Durante una prueba, todos los conductores de las fases que no están siendo probadas deberán ser cortocircuitadas con sus pantallas y conectadas a la puesta a tierra del sitio.

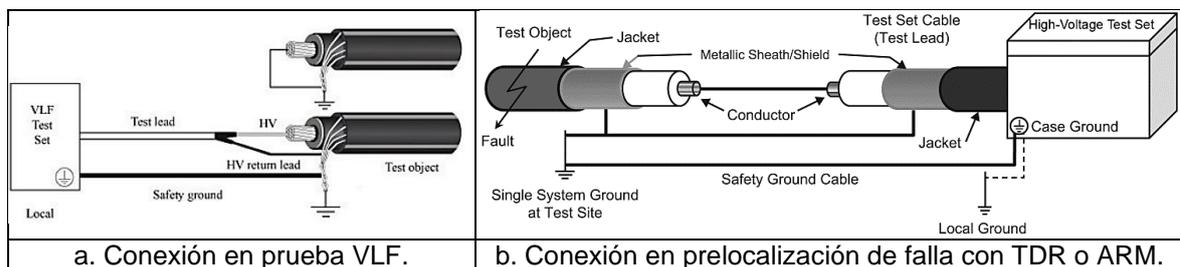


Figura 2.8. Sistema de conexión de equipo y objeto de prueba a tierra del sitio [12] [17].

Los esquemas de conexión para todas las pruebas que se describen en este documento están agrupados en el ANEXO II.

2.3 DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS DE CAMPO EN CABLES SOTERRADOS EJECUTADAS POR LA EEQ.

2.3.1 PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA INSTALACIÓN.

Es una prueba de campo solicitada por clientes con construcción de redes eléctricas subterráneas y es atendida en el lugar de obra para los tramos de cables nuevos.

Esta prueba se realiza después de la instalación del sistema de cables por los bancos de ductos, pero antes de incorporar las puntas terminales y empalmes, es decir, se aplica al cable solo con puntas desnudas en sus extremos.

Su propósito es detectar defectos provocados en el transporte y daños durante el montaje de los cables. Estos pueden ser rasgaduras o perforaciones en la cubierta y afectaciones en el aislamiento por aplastamiento, fisuras y/o penetración de humedad.

Esta prueba de campo consiste en aplicar reflectometría TDR más diagnóstico con prueba de cubierta y prueba VLF, tomando en cuenta las consideraciones previas de seguridad y la preparación de puntas con la identificación de sus características.

2.3.1.1 Aplicación de reflectometría TDR.

La reflectometría se aplica exclusivamente para medir la longitud real de cada cable de la triada a probar, para ello, se realiza el correspondiente esquema de conexión como se indica en la Figura 2.9.

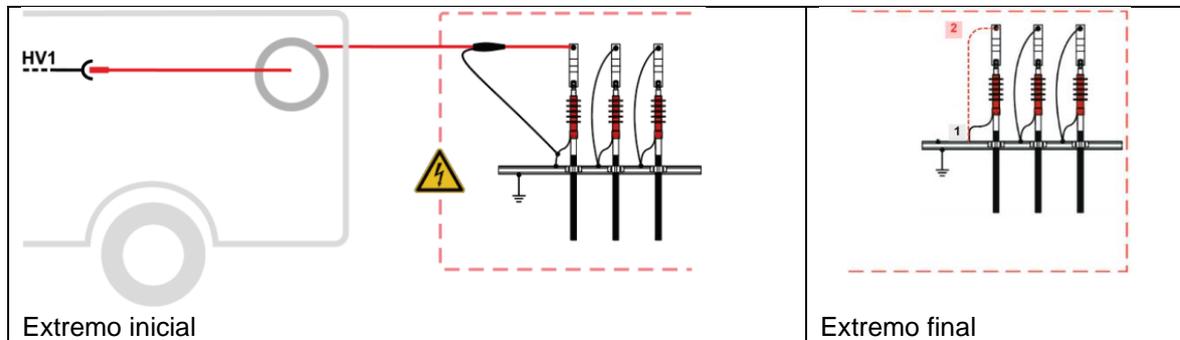


Figura 2.9. Esquema de conexión para Reflectometría TDR [24].

Método de aplicación:

En reflectometría se usa el modo de operación Teleflex AT $\frac{\Delta T}{HVC}$ del sistema Centrix para inyectar pulso de voltaje de 50 V (200ns) por el conductor central y visualizar la traza TDR del cable en pantalla, realizando dos mediciones con las siguientes maniobras:

1. Con el extremo final en circuito abierto entre conductor y pantalla.
2. Con el extremo final en cortocircuito conductor y pantalla.

Las trazas son guardadas en la base de datos del sistema y sobrepuestas para análisis y medición de longitud de los cables.

Los parámetros adicionales para aplicación de reflectometría se indican en el ANEXO II apartado 7.

Resultados:

Las trazas resultantes de la reflectometría en las dos maniobras permiten identificar el cambio de impedancia del cable en el extremo final. Estas muestran dos reflexiones, uno positivo y otro negativo, concernientes al extremo en circuito abierto y cortocircuito, en donde el punto de divergencia de las trazas indica la longitud total del cable.

Como se observa en la figura 2.10, el reflectograma TDR del cable señala una longitud de 520 m desde su extremo inicial al final.

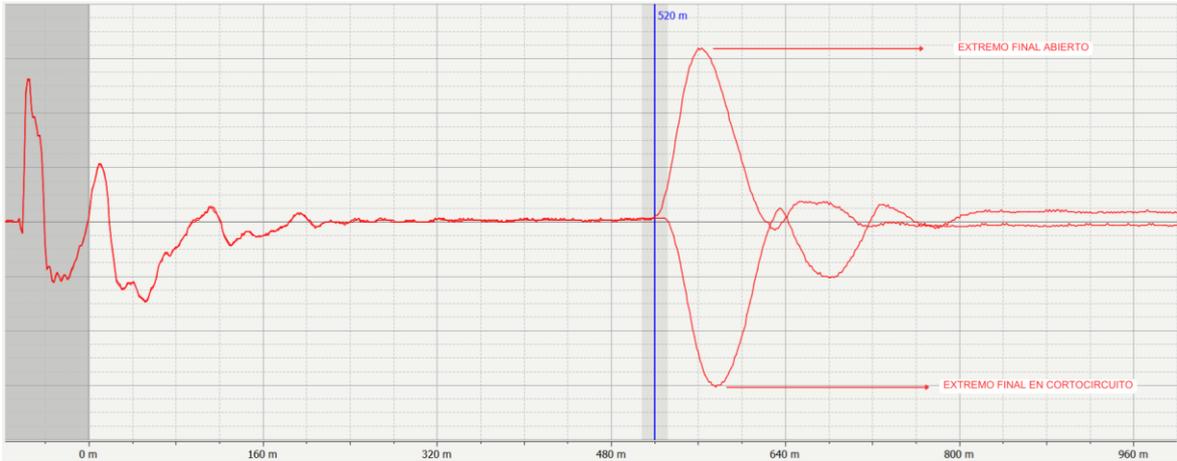


Figura 2.10. Ejemplo de medición TDR de un cable sano en sus dos condiciones.

2.3.1.2 Aplicación de prueba de cubierta.

La prueba en cubierta se aplica para determinar la condición de la cubierta exterior de los cables de media tensión después de la instalación.

Parámetros normativos:

En esta prueba se toman los parámetros de ensayo de la norma IEC 60229 sección 5, que consiste en aplicar tensión continua de 4 kV por milímetro de espesor de la cubierta con un máximo de 10 kV por la pantalla del cable durante un minuto [21].

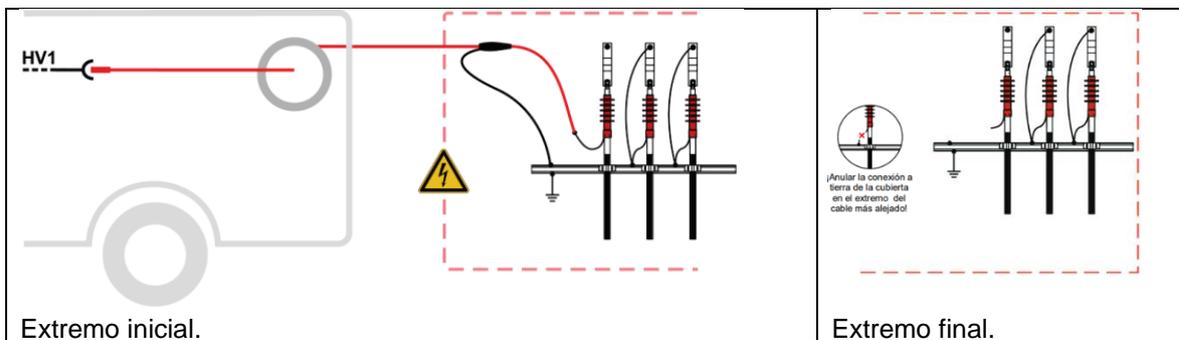


Figura 2.11. Esquema de conexión para Prueba de cubierta [24].

Método de aplicación:

Para esta prueba se realiza el esquema de conexión para prueba de la Figura 2.11 y se utiliza el modo de operación Prueba de Cubierta $\overline{\text{P}}$ del sistema Centrix. Es ajustado el nivel de voltaje a inyectar (kV CC) y la duración de prueba, iniciando la prueba con la habilitación de AT para observar las mediciones de voltaje y corriente en pantalla.

Resultados:

En esta prueba se pueden presentar tres respuestas como se observa en a la siguiente figura, donde la medición de corriente y voltaje son sobrepuestas para visualizar su comportamiento.



Figura 2.12. Gráficas de resultantes de prueba de cubierta.

En el primer caso (a): la prueba es completada exitosamente, la señal de voltaje crece y se establece al nivel ajustado para prueba, mientras que su corriente presenta un pico creciente en su inicio pero que disminuye a valores cercanos a 0 mA durante la prueba. La caída de corriente es un indicador de que la cubierta está en perfecto estado y no existen corrientes de fuga.

En el segundo caso (b): la prueba también es completada, pero con una presencia de corriente de fuga sostenida, es decir, existe una corriente que no decae a 0 mA. Indica una vulnerabilidad en la cubierta que con el tiempo puede convertirse en fisura o falla.

En el tercer caso (c): la prueba es interrumpida abruptamente en la inyección de voltaje, debido a una disrupción entre pantalla y tierra por existencia de perforación de la cubierta exterior. En pantalla aparece una ventana emergente informando la disrupción detectada con sus datos de tensión y corriente de falla.

Criterio de aceptación:

Aceptación: Si la cubierta de cable soporta el nivel de tensión aplicada durante la prueba, el cable pasa la prueba.

Rechazo: el caso contrario, si la cubierta del cable no logra soportar la tensión aplicada y presenta disrupción, el cable no pasa, se requiere retirar el cable para la identificación del daño, repararla si es posible o sustituirlo por otro cable nuevo.

2.3.1.3 Aplicación de Prueba de Tensión VLF.

La prueba de tensión VLF es una prueba simple que consiste en aplicar voltaje alterno a muy baja frecuencia (VLF) para verificar la integridad del aislamiento del cable y su rigidez dieléctrica. Detecta defectos lo suficientemente graves que pueden provocar fallas e interrupciones durante el tiempo de servicio del cable.

Parámetros normativos:

En esta prueba se consideran los parámetros de ensayo indicados por la norma IEEE 400.2 en su sección 5.1; los niveles de tensión de ensayo son seleccionados en función del voltaje de diseño del cable para prueba de aceptación, ver Tabla del ANEXO III (3.2) [12].

El tiempo de prueba recomendado para prueba de instalación y/o aceptación en cables nuevos es de 60 minutos a una frecuencia de 0.1 Hz.

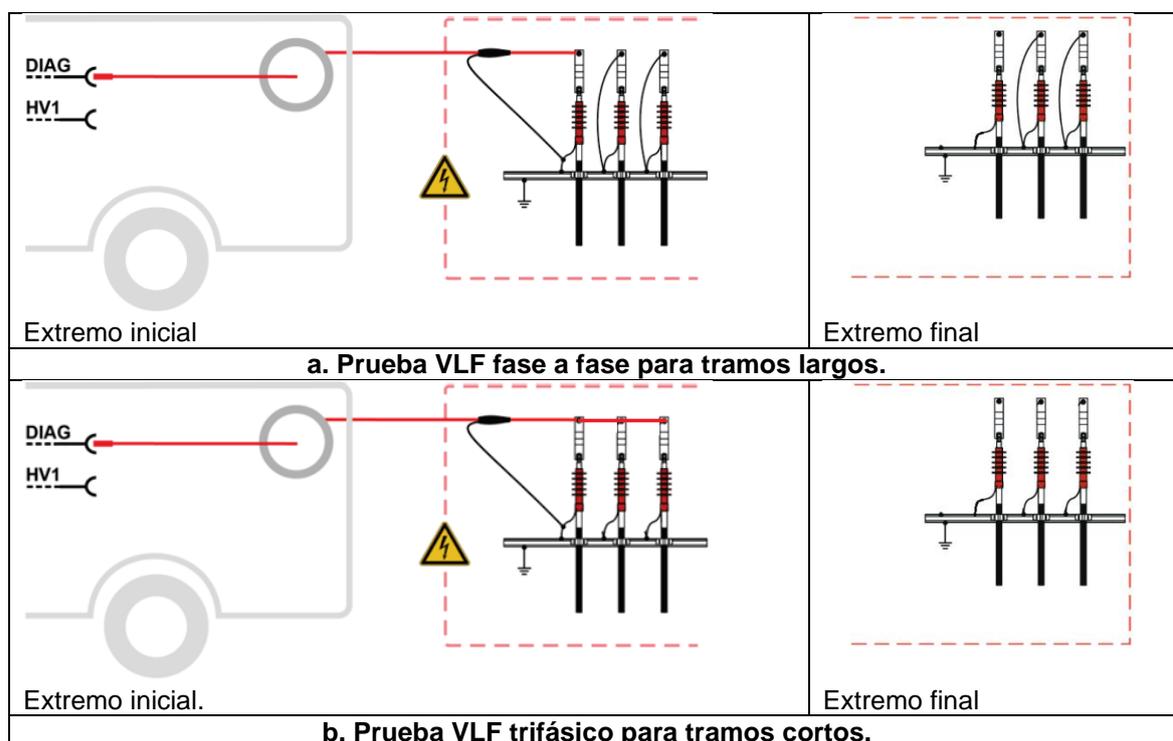


Figura 2.13. Esquema de conexión para Prueba VLF [24].

Método de aplicación:

Para esta prueba se emplea el esquema de conexión para prueba VLF indicado en el Figura 2.13.a, y se utiliza el modo de operación Prueba de VLF ^{VLF} del sistema Centrix. El

voltaje de prueba U_{nom} en rms es ajustado al valor del nivel de tensión correspondiente a la clase del cable a probar y el tiempo de prueba a 60 minutos, observando que la forma de onda sea seno a frecuencia de 0.1 Hz. La tensión de ensayo es inyectada por el conductor central del cable, mientras que la pantalla y conductores de las demás líneas de la triada son conectados a tierra.

Debido al tiempo considerable que toma aplicar esta prueba de línea en línea (3 horas), el fabricante Megger ha sugerido una alternativa de aplicación más eficiente. Esta consiste en inyectar tensión a los conductores de las tres líneas conectadas en paralelo, como se muestra en el Figura 2.13.b. Sin embargo, solo puede ser aplicado para sistemas de cables de corta distancia, fijándose en que no se supere la capacidad del equipo ($1\mu F$) en esta conexión. Si se supera dicha capacidad o si se produce una disrupción, se debe llevar a cabo la prueba VLF individualmente en cada cable.

Resultados:

En esta prueba, la tensión de prueba se visualiza progresivamente en pantalla durante el tiempo de aplicación. Puede presentar dos posibles respuestas como en la Fig. 2.14.

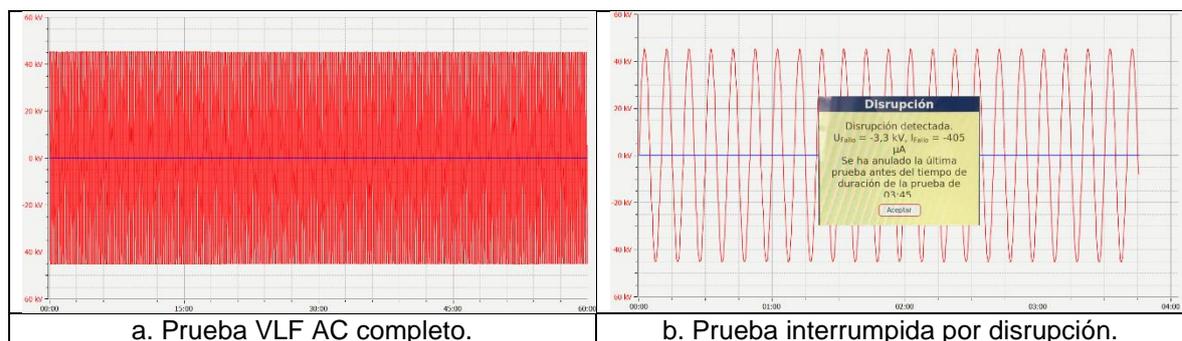


Figura 2.14. Señal resultante de prueba de tensión VLF.

Respuesta (a): Prueba completada correctamente, el aislamiento soportó la tensión de ensayo durante el tiempo de aplicación, es decir, el aislamiento se encuentra en perfecto estado.

Respuesta (b): Prueba interrumpida por disrupción, es decir, en un instante específico, la tensión aplicada provocó una descarga disruptiva en el aislamiento por crecimiento de árboles eléctricos. También aparece una ventana emergente informando la disrupción detectada con sus datos de tensión y corriente de falla.

Criterio de aceptación:

Aceptación: Si el aislamiento del cable soporta la tensión aplicada durante el tiempo de prueba, el cable pasa la prueba.

Rechazo: Si el aislamiento del cable no soporta la tensión aplicada y presenta interrupción, el cable no pasa, se requiere retirar el cable y sustituirlo por otro nuevo.

Algunas alertas de interrupción en prueba VLF para cables nuevos suelen deberse a conexiones incorrectas del sistema de prueba y el cable, como también interrupciones con elementos externos, por lo que es recomendado revisar las conexiones y volver a ejecutar la prueba VLF.

2.3.2 PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA ACEPTACIÓN.

La prueba de aceptación se realiza después de la incorporación de puntas terminales y empalmes en instalación del sistema de cables nuevos antes de ser energizados. Su propósito es detectar defectos en la elaboración de los empalmes y terminales o en los cables en sí, mediante el diagnóstico por Prueba de Descargas Parciales (DP).

Esta prueba se ejecuta previa recepción de obra y es complementaria a la prueba de instalación. Verifica la calidad y confiabilidad de la instalación del sistema de cables.

2.3.2.1 Aplicación de Prueba de Descargas Parciales con VLF (VLF-PD).

La prueba de descargas parciales es aplicada para detectar, medir y localizar DP en el sistema de cables, identificándolas según su tipo y potencial defecto causante.

En este caso particular, es una prueba monitoreada de tensión soportada de VLF a 0.1 Hz, donde se incorpora el acoplamiento de medición DPS 62-SIN al Laboratorio Móvil de Cables, el cual opera como la unidad de monitoreo y fuente de tensión VLF seno.

La evaluación de los accesorios y el cable radica en analizar los siguientes parámetros que son monitoreados durante la aplicación de la prueba:

- Las tensiones de inicio y extinción de DP (PDIV y PDEV).
- Ubicación y magnitud de las DP.
- Patrón resuelto en fase de DP (PRPD).

Parámetros normativos.

Se considera y sigue el método de prueba de descarga parcial con VLF de la norma IEEE 400.2, sección 5.5, que consiste en elevar lentamente la tensión hasta el nivel de prueba de tensión VLF, mientras se monitorea la actividad de las DP. Si se producen descargas parciales, la tensión a la que se inician es la tensión de inicio de descarga parcial (PDIV). La tensión puede mantenerse a este nivel o elevarse hasta el nivel de prueba VLF durante

20 s a 50 s (2 ciclos a 5 ciclos), midiendo la actividad de DP, y reducir la tensión lentamente hasta que las PD se extingan, siendo esta la tensión de extinción de descarga parcial (PDEV) [12].

Por otra parte, en la norma IEEE 400.3-2006, la precisión en la interpretación de medición de DP es buena cuando los sistemas de cables pueden clasificarse como “muy buenos” o “muy malos” [20].

- Muy buenos: cuando muestran escasa actividad de DP y donde el PDIV será normalmente mayor a U_0 y hasta superior a $2 U_0$.
- Muy malos: cuando muestran PDIV a niveles bajos e inferiores a U_0 , con características de DP bien definidas y patrones de DP resueltos en fase fácilmente reconocibles.

Además, la norma sostiene que, en cables nuevos, los niveles de tensión de prueba lleguen hasta 1.5 o $2 U_0$ para garantizar que la PDEV del sistema de cable sea superior a $1 U_0$, mientras que, en sistemas de cables envejecidos, los niveles de tensión deben ser inferiores para evitar el riesgo de iniciar daños en sus defectos.

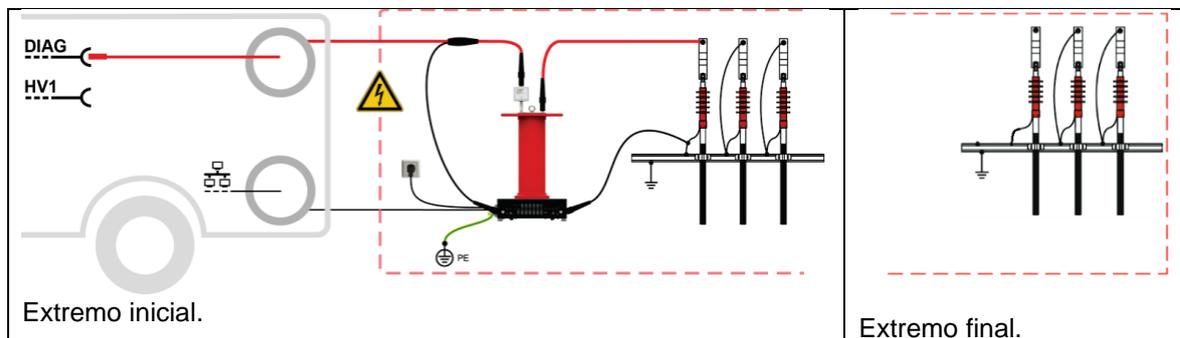


Figura 2.15. Esquema de conexión para Prueba de Descargas Parciales [25].

Metodología de aplicación.

Para la aplicación de Prueba de Descargas Parciales se debe realizar su correspondiente esquema de conexión de la Figura 2.15. Esto incluye la correcta conexión entre el objeto de ensayo, el equipo de acoplamiento PDS 62-SIN y el Laboratorio Móvil de Cables, más la conexión del cable de red para la recepción de datos de medición.

La prueba y medición de descargas parciales se ejecuta a través del modo de operación Diagnóstico DP  del sistema Centrix, el cual accede a un software específico para esta prueba, el denominado PD Detector, el cual consta de módulos que son desplegados en pantalla con sus respectivos entornos de trabajo [25].

El procedimiento en si de la prueba de DP con el software PD Detector se desarrolla con las siguientes etapas:

Creación del cable.

Inicia con la creación del archivo de cable nuevo en el módulo de Gestor de Cables, para el cual, la identificación de cables y accesorios es importante para el registro de sus características. En esta ventana se detalla la información de las terminaciones en los extremos del cable, la construcción del cable y accesorio, y un esquema gráfico del sistema de cables.

Asignación de la tarea de medición.

Continúa en el módulo de Tareas de Medición, donde el archivo del cable previamente integrado a la base de datos es seleccionado para asignarle las mediciones a realizar, sus resultados y su correspondiente informe, indicando el extremo desde donde se inyectará tensión para la medición de DP.

Calibración.

La etapa de calibración es fundamental para medir la sensibilidad del equipo de medición. Esto se logra mediante el acoplamiento de un dispositivo calibrador que inyecta pulsos de corriente a una carga conocida en el conductor del objeto de prueba. De esta manera, el equipo puede detectar y medir los impulsos de carga en pC generados por las descargas parciales. Estos impulsos se comparan con el valor de calibración y se localizan en función de la velocidad de propagación de estos.

La calibración del PDS 62-SIN se lo realiza con el dispositivo CAL1 del propio fabricante, y mediante el módulo Calibración. El módulo despliega una ventana, en donde se configura el detector DP a un ancho de banda optimo (alto para cables cortos <1km y bajo para cables largos) y la calibración con la longitud del cable o la velocidad de propagación para el tipo de cable en cuestión. Además, el valor de carga que debe ser ajustado al mismo valor que el presente en el instrumento calibrador, en este caso a 1nC utilizado por la EEQ.

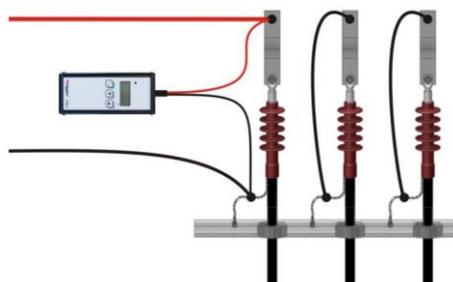


Figura 2.16. Conexión del calibrador [25].

El calibrador CAL1 es conectado en paralelo al equipo de medición DP (PD 62-SIN) y al objeto de prueba entre conductor y pantalla, véase la conexión en la Figura 2.16.

Una vez iniciada la calibración, se registran los impulsos de carga más el tiempo de reflexión de extremo a extremo. De forma automática el proceso termina posterior a unos 15-30 segundos aproximadamente y como resultado se obtiene una traza TDR del cable, la velocidad de propagación y un diagrama de carga de calibración.

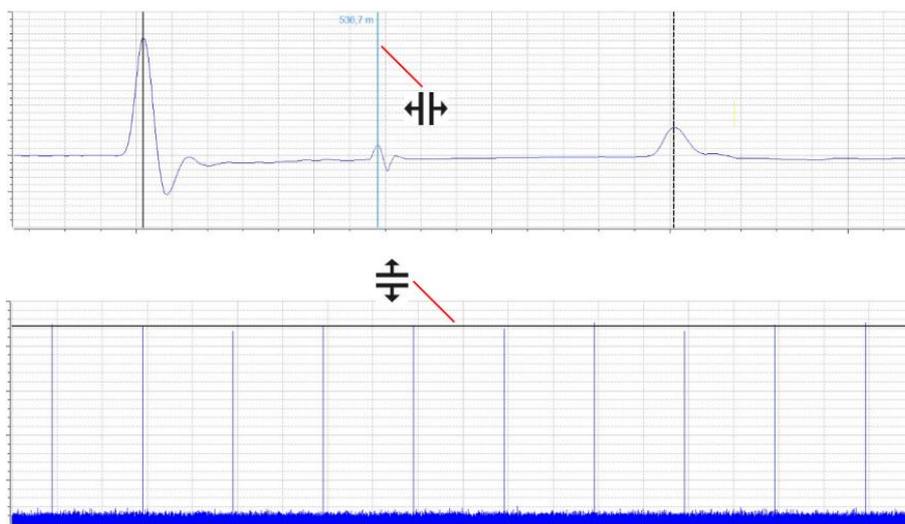


Figura 2.17. Resultados de calibración del detector PD [25].

La traza TDR indica la longitud real del cable y calibra la velocidad de propagación de DP por este, también identifica la presencia de empalmes, mientras que, el diagrama de carga señala el valor promedio de los impulsos de calibración de DP en el cable frío.

Esta calibración es guardada automáticamente en la tarea de medición y posterior a esta, se desenergiza el objeto de prueba y se desconecta el calibrador.

Medición de Descargas Parciales.

Procediendo con la siguiente etapa, la medición de descargas parciales se accede a su correspondiente módulo que es habilitado una vez realizada la asignación de la tarea y la calibración. Este módulo presenta una pantalla de visualización y control que se detalla en la siguiente sección “Interfaz de módulo de medición”.

En primera instancia se realiza la medición obligatoria del nivel de ruido, ajustando el detector PD a la fase actual y al rango de medida en calibración (1nC). Esta medición incorpora el espectro de ruido del cable en la ventana de diagramas DP, por lo que debe guardarse para habilitar el control de tensión del sistema Megger Centrix.

En la medición de descargas parciales, una vez calibrado el equipo y grabado el nivel de ruido, se procede a la inyección de tensión y monitoreo de actividad de DP en el cable bajo prueba, siguiendo el método indicado por la norma IEEE 400.2.

La medición se inicia a un nivel de tensión bajo, $0.3 U_0$, que es visualizada como una señal de tensión senoidal superpuesta al nivel de ruido en el diagrama $Q(t)/U(t)$. Seguidamente, se incrementa el nivel de tensión, ajustando xU_0 por cada 2-3 ciclos (0.5, 0.7 y hasta 1.0 U_0), monitoreando la posible aparición de DP y continuando con el incremento del nivel de tensión hasta que se presenten los primeros indicios de DP en el diagrama $Q(t)/U(t)$. Este nivel de voltaje es sostenido por al menos 3 ciclos, verificando que los impulsos de PD sean repetitivos por cada ciclo. Mientras que, en el mapa DP irán apareciendo y acumulándose puntos de medición DP en la ubicación donde son detectadas. En este momento se detiene la medición y se graba la tensión de inicio de descarga parcial PDIV.

La medición se reanuda y se activa la grabación de todas las medidas DP para niveles de tensión superiores. La tensión se incrementa nuevamente mientras se monitorea el diagrama $Q(t)/U(t)$ y PRPD para identificar el tipo de DP, los valores de carga máxima y sus ubicaciones en el mapa DP. Este proceso se lleva a cabo hasta alcanzar la tensión máxima de 1.7-2.0 U_0 o hasta el nivel que el cable pueda soportar antes presentar una alerta por carga máxima o por interrupción, deteniendo la medición y guardando las mediciones obtenidas.

La medición es iniciada otra vez, no obstante, el nivel de tensión es disminuido gradualmente en pasos de U_0 por cada 2-3 ciclos, monitoreando la actividad de DP, hasta el nivel en donde se observe la desaparición total de DP y sus impulsos en los diagramas $Q(t)/U(t)$ por al menos 3 ciclos. Finalmente, se detiene la medición con la grabación de la tensión de extinción de descarga parcial PDEV. La AT es apagada y el cable es desenergizado para continuar con las otras líneas.

Interfaz de módulo de medición.

La pantalla del módulo de medición dispone de tres secciones donde se presenta la medición en vivo, lo cual permite el monitoreo de actividad de DP durante el transcurso de prueba.

En la ventana superior se encuentra el mapa DP, seguido por la ventana inferior con las cuatro vistas de actividad PD disponibles, y de lado derecho la barra de ajuste del Detector PD y Megger Centrix más la sección de registro de medición.

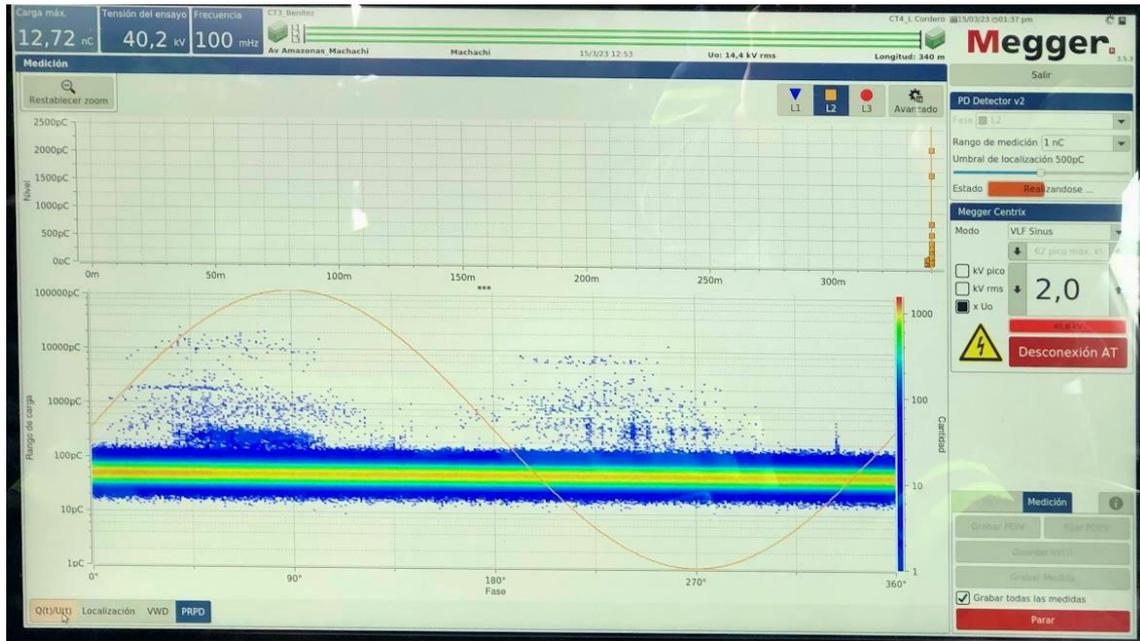


Figura 2.18. Pantalla de módulo de medición DP.

Las vistas de los diagramas de medición más importantes y utilizadas para la interpretación de actividad DP son:

Mapa de DP: Muestra los eventos y magnitud de DP de la medición en curso, en la locación exacta respecto a la longitud del cable y su nivel de carga.

Diagrama Q(t)/U(t): Muestra la evolución en el tiempo de la tensión de excitación (señal seno) y del nivel de carga medido (Patrón DP). En este diagrama se visualiza la aparición de eventos de DP como impulsos de carga sobre el nivel de ruido normal.

Diagrama de PRPD: Muestra la resolución de fase de descargas parciales, en él se representa la distribución de los impulsos de carga DP respecto a la posición de fase de la tensión de excitación [25].

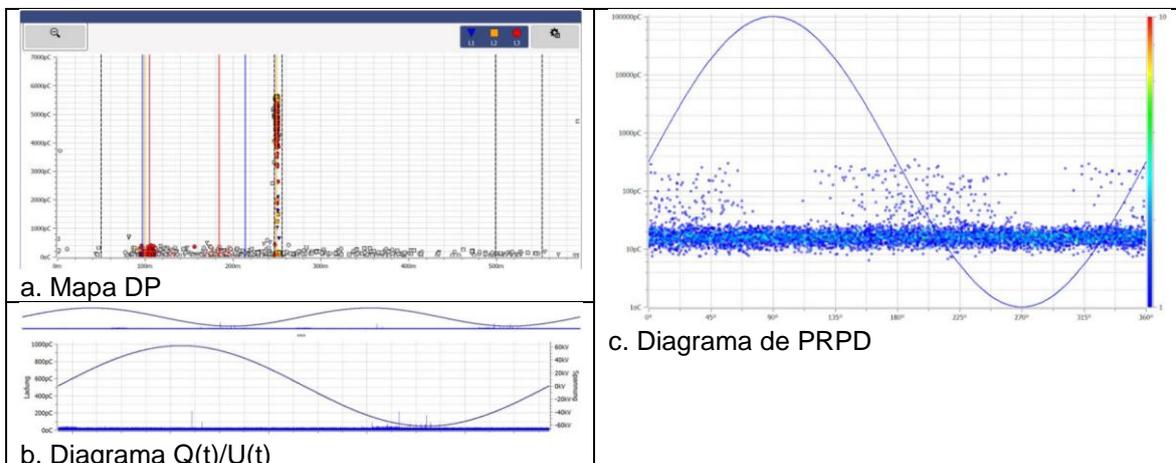


Figura 2.19. Vistas de diagramas de actividad DP [25].

2.3.2.2 Resultados e interpretación de medición de Descargas Parciales.

Debido a que no existen valores umbrales de carga de DP que permitan calificar la afectación y aprobación de los sistemas de cables, las normativas solo guían el procedimiento de prueba de descargas parciales y los parámetros para caracterizarlas.

Los resultados presentados durante la medición y monitoreo de DP requieren de una adecuada interpretación que permita definir el diagnóstico concreto del estado de cables y accesorios bajo prueba. Como es mencionado en la sección 2.3.2.1, el personal de la EEQ analiza los siguientes parámetros para evaluar al sistema de cables y aprobar la puesta en servicio, conociendo su estado y recomendando posteriores pruebas de mantenimiento.

1. Voltajes de inicio y extinción de descargas parciales (PDIV y PDEV).

El voltaje de inicio de DP (PDIV) es registrado en el momento en que se presentan los primeros eventos de descargas parciales, identificados como impulsos repetitivos de carga observados en el diagrama $Q(t)/U(t)$. Idealmente en cables nuevos, estos deben estar libres de DP hasta 1.7 o $2 U_0$.

Mientras que el voltaje de extinción de DP (PDEV) es registrado cuando los eventos de DP desaparecen, es decir, se extinguen los impulsos o se apagan las chispas o arcos de DP. En cables nuevos en la práctica normalmente sus valores son del 10-35% menores a PDIV.

Con la medición de estos dos parámetros se puede determinar que:

- Si el PDIV y PDEV resultantes son a niveles de tensión superiores a U_0 , se puede asegurar que el sistema de cables no presentará DP en la operación normal a la tensión del servicio de la red.
- En el caso de que el PDEV resulta a un nivel de tensión inferior a U_0 , el sistema de cables es susceptible a presentar y mantener DP en sus defectos ante eventos de sobrevoltajes.
- Si el PDIV y PDEV resultantes son a niveles de tensión inferiores a U_0 , el sistema de cables presenta defectos que sostendrán DP durante su operación normal y que con el tiempo estos se convertirán en fallas.

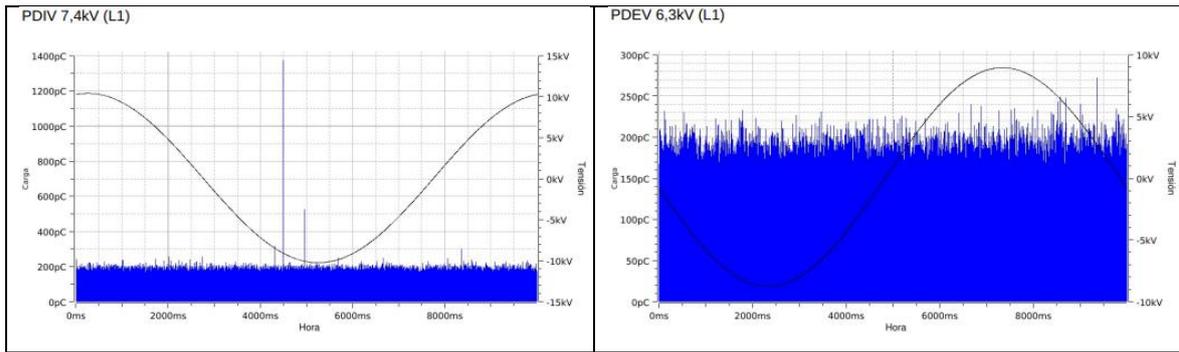


Figura 2.20. Vista de diagramas Q(t)/U(t) [Archivo de pruebas DP].

2. Ubicación de la detección de DP y sus niveles de carga.

Gracias al mapa DP y la calibración del equipo de medición, se puede conocer la ubicación exacta en donde los eventos de DP son detectados con respecto a la longitud del sistema de cables y los niveles de carga según la intensidad de arco o chispa de DP.

Los eventos DP pueden presentarse en las siguientes ubicaciones:

- En los extremos de inicio y final con eventos en los terminales del cable como DP internos o efecto corona.
- En la mitad del cable con eventos en los empalmes o en puntos donde el cable tenga cambios de dirección o contacto con otras superficies que puedan generar defectos, comúnmente los DP son internos o superficiales.

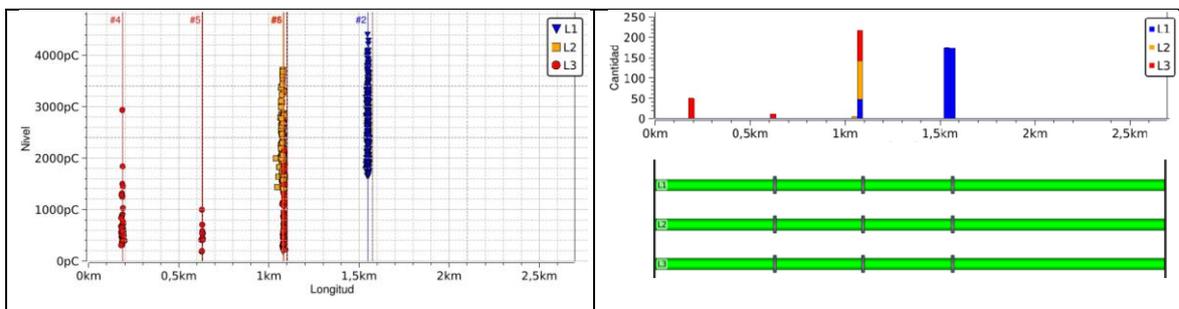


Figura 2.21. Vista de Mapas DP [Archivo de pruebas DP].

3. Patrones resueltos en fase (PRPD).

Del diagrama PRPD resultante de la medición de eventos de DP, se pueden clasificar estos eventos según sus características en los tres tipos de DP: internas, superficiales y de efecto corona, tomando como referencia el patrón resuelto de fase de DPs típico que provee el fabricante Megger, véase ANEXO III.2.

Los eventos de DP se pueden identificar como:

DP internas: Se caracterizan como eventos de alta concentración en cada cruce por cero de la señal de voltaje senoidal de excitación. Estas se presentan como pequeños arcos en defectos en el interior del aislamiento y/o entre el conductor y aislamiento de empalmes o cables, por lo que no requieren mucho voltaje para encenderse.

DP Superficiales: Caracterizados por aparecer y acumularse alrededor de la fase en 90° donde la tensión alcanza sus valores máximos. Estos eventos DP se presentan en defectos en la superficie del aislamiento del cable, terminales y empalmes, por lo que requieren de mayor nivel de tensión para encenderse.

DP de efecto corona: Los eventos provocados por efecto corona en el diagrama resuelto en fase se caracterizan como una nube de acumulación de DP en disposición horizontal en ángulos de fase cercanos a 90 y 150°, generalmente aparecen defectos de cubierta con bordes puntiagudos de cables y terminales.

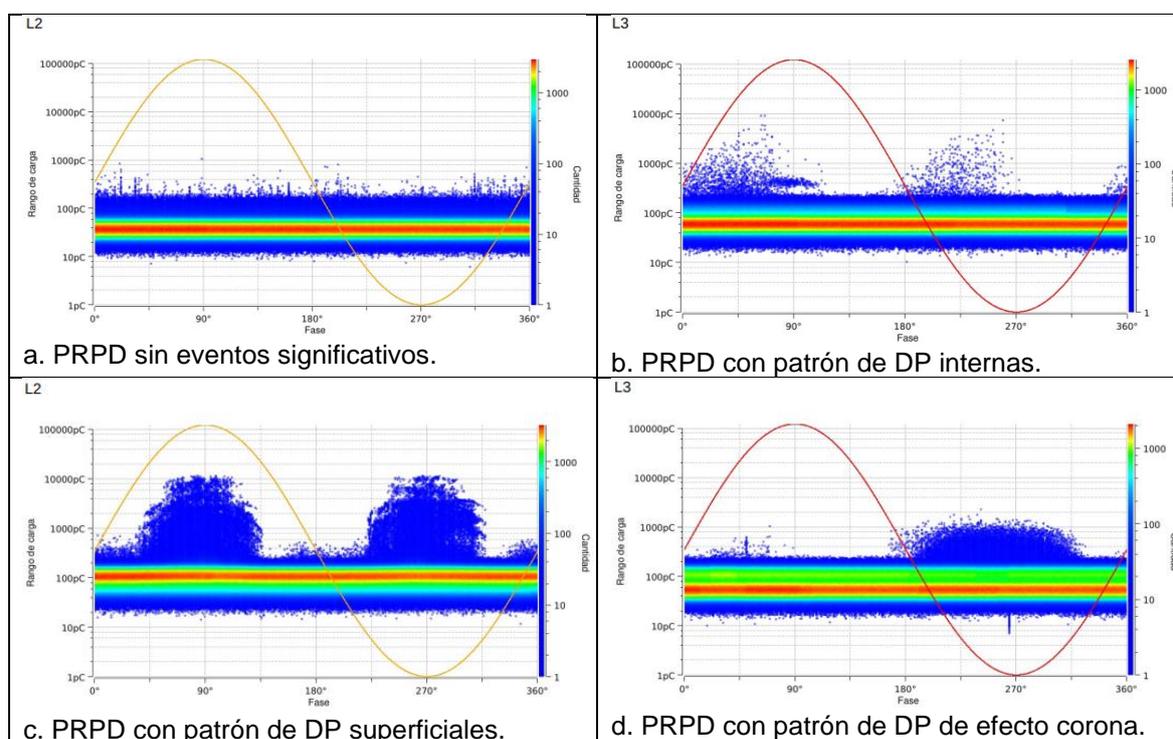


Figura 2.22. Ejemplos de patrones PRPD [Archivo de pruebas DP].

El software PD-Detector, al concluir la medición de DP, permite presentar los resultados mediante informes generados desde el correspondiente módulo, en donde el ingeniero de pruebas y el cliente puede observar los niveles de DP, ubicación y tipos de descargas parciales medidos en la prueba.

Adicionalmente, Megger proporciona valores umbrales empíricos de su experiencia en pruebas DP con los que recomienda mantenimientos posteriores.

Condition of Cable	Component	Limit	Voltage
NEW laid	Cable	PD free	1,7 U ₀
AGED	Insulation	PD free	U ₀
	Joint	< 1.000 pC	
	Termination	< 1.000 pC	

Condition of Cable	Next recommended PD-Measurement
PD free ($\leq 1,7 U_0$)	10 Years (Wind Parks, important Cables: 1 ... 2 Years)
PDIV: 1,3 U ₀ ... 1,7 U ₀	3 ... 5 Years
PDIV: U ₀ ... 1,3 U ₀	2 ... 3 Years
PDIV: < U ₀	Every Year

Figura 2.23. Niveles límites o umbrales empíricos de DP para cables XLPE [29].

2.3.3 PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA MANTENIMIENTO.

La prueba de mantenimiento se realiza en sistemas de cables con varios años de servicio, con el objetivo de diagnosticar el estado de sus componentes y monitorear el envejecimiento del sistema, de tal manera que se prevean fallos potenciales y apliquen procedimientos de mantenimiento adecuados o reemplazos. Esta prueba es sugerida cada cinco años de servicios del sistema de cables.

Generalmente este trabajo es planificado por el cliente y la EEQ o también solicitado en casos emergentes, ya que requiere la suspensión temporal del servicio eléctrico.

Esta prueba de campo consiste en aplicar dos ensayos esencialmente, reflectometría y prueba de Tangente Delta, que, en función de los resultados y decisión del cliente, se puede complementar con una prueba de tensión VLF y Descargas Parciales.

2.3.3.1 Aplicación de reflectometría TDR.

La reflectometría es aplicada para comprobar el metraje real de sistema de cables e identificar la presencia de cambios de impedancia como empalmes.

Método de aplicación:

Para reflectometría se realiza el mismo procedimiento para medición TDR en prueba de instalación, utilizando el correspondiente esquema de conexión y el modo de operación Teleflex AT del sistema Centrix, iniciando la inyección de pulso y registrando las trazas para las dos condiciones previamente mencionadas con el extremo final en circuito abierto y cortocircuitado pantalla y conductor,

Resultados.

Se obtienen los reflectogramas en las dos condiciones, determinando la longitud real del cable en el punto de divergencia de las trazas, siendo registradas para el informe. Véase ejemplo referencial en la Figura 2.10.

2.3.3.2 Aplicación de prueba de Tangente Delta con VLF (VLF-TD).

Esta prueba consiste en aplicar tensión VLF a tres niveles de tensión y realizar mediciones de Tangente Delta ($\tan \delta$) que son utilizadas para determinar el envejecimiento y el deterioro del sistema de cables, como pérdida dieléctrica en aislamiento por arborizaciones y humedad, corrosión en pantalla metálica y degradación en accesorios.

Parámetros normativos

Los parámetros para considerar en esta prueba son los indicados en la norma IEEE 400.2 en su sección 5.4, donde se especifica que la tensión de prueba debe ser AC VLF a 0.1 Hz con el que se mide Tan Delta (TD) a tres niveles de tensión que inicia 0.5 U_0 e incrementa hasta 1.5 U_0 en pasos de 0.5 U_0 del voltaje nominal del cable y por cada nivel de voltaje se deben realizar al menos 6 mediciones TD en intervalos de 10s [12].

Con los valores medidos de TD a 0.5 U_0 , 1.0 U_0 y 1.5 U_0 , se calcula el valor promedio VLF-TD en U_0 , el diferencial de TD (VLF-DTD) entre 0.5 y 1.5 U_0 y la estabilidad temporal VLF-TDTS en U_0 .

Criterios de evaluación:

En base a la norma, los valores absolutos de VLF-TD, el diferencial VLF-DTD y la estabilidad temporal VLF-TDTS son utilizados como cifras de mérito que, en función del tipo de aislamientos, se realiza la evaluación comparativa del envejecimiento del aislamiento con respecto a las tablas 4, 5 o 6 de esta norma [12], véase en el Anexo III (3.4), calificando el estado del aislamiento como:

- *No se requiere ninguna acción:* esta condición significa que, el sistema de cables puede volver a ponerse en servicio, y probarse nuevamente en una fecha posterior para observar la tendencia de tangente delta.
- *Se aconseja un estudio más detallado:* significa que se necesita información adicional para realizar una evaluación definitiva, la información adicional podría proceder del historial de fallos de circuitos anteriores o de una evaluación adicional de otra prueba de diagnóstico.
- *Acción requerida:* significa que el sistema de cable tiene características TD altas como indicativo del mal estado del aislamiento y debe ser considerado para la sustitución o reparación inmediatamente del cable después de la prueba.

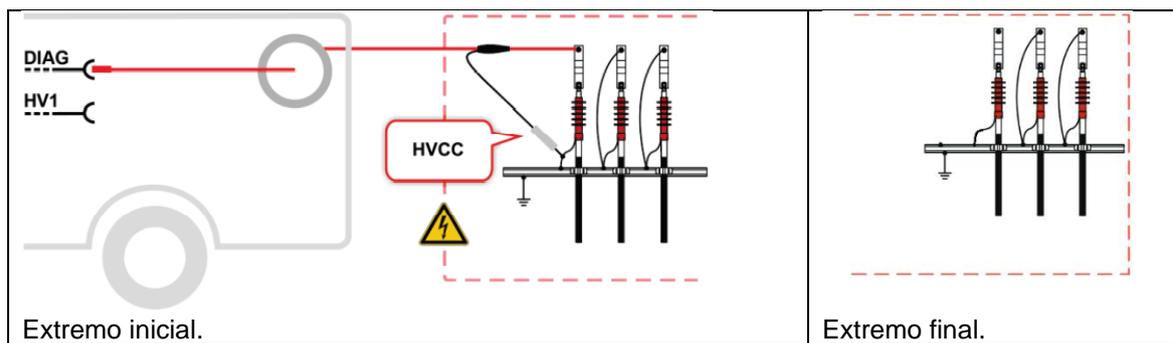


Figura 2.24. Esquema de conexión para Medición Tan Delta [24].

Metodología de aplicación.

Para la aplicación de esta prueba de Tan Delta en mantenimiento, en primera instancia se siguen las pautas de seguridad y se realiza el esquema de conexión correspondiente a esta prueba, véase Figura 2.24.

En el sistema Centrix se accede el modo de operación de diagnóstico Tangente Delta, que permite configurar los parámetros de medición y modificar los criterios de evaluación a la condición disponible IEEE 400.2. En este módulo se ajusta por defecto los tres niveles de tensión a inyectar en base al valor de voltaje nominal (U_0 rms) del cable y se elige la cantidad de muestras de $\tan \delta$ a medir, en este caso, el personal de la EEQ ha determinado 8 mediciones TD por cada paso de tensión. Además, se selecciona el tipo de aislamiento de cable para el ajuste y cálculo automático de los criterios de evaluación correspondientes a ese aislamiento según normativa.

Al acceder a este modo de operación se solicita la selección de fase, seguido por la confirmación del valor del voltaje nominal del cable (U_0 rms), el cual despliega automáticamente los valores de los tres niveles de tensión de prueba en los pasos de $0.5 \times U_0$, presentando el estado listo para inyección de voltaje en AT.

Una vez iniciada la prueba con la habilitación de AT, en pantalla se visualiza la ejecución de la prueba, con la señal de voltaje VLF en sus tres niveles y los puntos de medición TD. El sistema automáticamente determina el valor promedio para cada nivel de tensión y grafica las tendencias de las muestras TD. Al acabar la medición de TD con la primera fase, se procede a la conexión y medición para las siguientes dos fases de manera consecutiva.

Al culminar la prueba, el sistema presenta como resultados la gráfica de pendiente TD, la tabla de evaluación y una tabla de mediciones de TD de la terna con la condición resultante de cada cable evaluado.

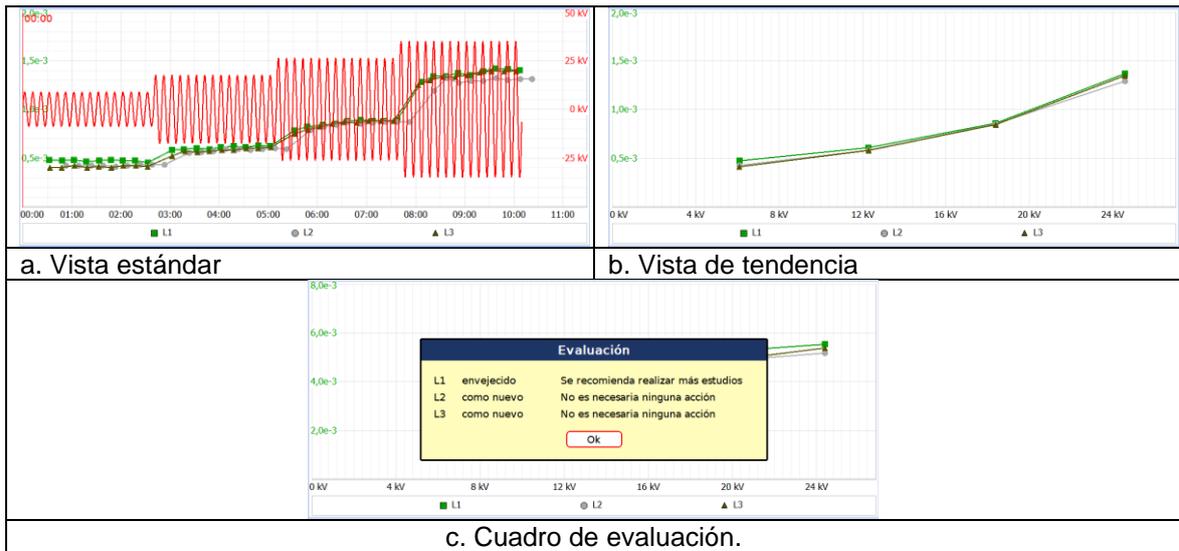


Figura 2.25. Visualización de ejecución durante prueba $\tan\delta$ [24].

Resultados.

El propio sistema con el ajuste de la normativa IEEE 400.2, proporciona automáticamente los valores del diferencial DTD y estabilidad TDTS a partir de las mediciones tomadas de TD, y la compara con la tabla referencial de la norma con respecto al tipo de aislamiento. Véase Tablas de mérito para evaluación de TD en el Anexo III (3.4).

Las condiciones de evaluación que el sistema presenta son:

- Como nuevo: No es necesario ninguna acción.
- Envejecido: Se recomienda realizar más estudio.
- Envejecimiento crítico: es necesaria una acción.

Fase	L1	L2	L3
$\tan\delta @ 0.5 U_0 (10^{-3})$	106.2	103.3	114.1
Desviación $\tan\delta @ 0.5 U_0 (10^{-3})$	0.0	0.0	0.2
Tendencia Tangente Delta	stable	stable	stable
$\tan\delta @ 1 U_0 (10^{-3})$	114.9	112.6	122.4
Desviación $\tan\delta @ 1 U_0 (10^{-3})$	0.2	0.3	0.3
Tendencia Tangente Delta	stable	stable	stable
$\tan\delta @ 1.5 U_0 (10^{-3})$	124.0	124.0	133.0
Desviación $\tan\delta @ 1.5 U_0 (10^{-3})$	0.3	0.5	0.5
Tendencia Tangente Delta	stable	stable	stable
$\Delta \tan\delta = 1.5 U_0 - 0.5 U_0 (10e-3)$	17.8	20.7	18.9
Pasos Tip up $(1.5U_0 - 1U_0) - (1U_0 - 0.5U_0)$	0.4	2.1	2.3
Recomendación	Se recomienda realizar más estudios	Se recomienda realizar más estudios	Se recomienda realizar más estudios
	L1	L2	L3
$\tan\delta @ 0.5 U_0 (10^{-3})$	106.2; 106.2; 106.2; 106.2; 106.3; 106.3; 106.3	103.3; 103.3; 103.3; 103.3; 103.2; 103.2; 103.3	114.3; 114.2; 114.2; 114.1; 114.0; 114.0; 113.9; 113.8
$\tan\delta @ 1 U_0 (10^{-3})$	114.6; 114.7; 114.8; 114.9; 114.9; 114.9; 115.1; 115.0	112.1; 112.3; 112.5; 112.6; 112.7; 112.8; 112.9; 112.9	121.9; 122.1; 122.3; 122.4; 122.6; 122.5; 122.6; 122.6
$\tan\delta @ 1.5 U_0 (10^{-3})$	123.8; 123.6; 123.9; 123.8; 124.1; 124.0; 124.4; 124.6	123.4; 123.4; 123.6; 123.8; 124.1; 124.3; 124.5; 124.7	132.3; 132.5; 132.7; 132.9; 133.2; 133.3; 133.6; 133.7

Figura 2.26. Ejemplo de resultados con Tabla de evaluación y Tabla de mediciones TD.

Las líneas de tendencias también expresan el estado del cable en función de su pendiente y el límite de estabilidad TDTS.

- Cable en buenas condiciones: Presentan bajos valores de TD, DTD y TDTS ($<0.01 \times 10^{-3}$) inferiores a las cifras de mérito de las Tablas, con un comportamiento estable en los tres niveles de tensión.
- Bajo índice de arborescencias acuosas: Presenta valores altos de TD, DTD TDTS, con un comportamiento de pendiente decreciente al nivel más alto de tensión debido a evaporización y secado de arborescencias, además caracteriza el ingreso de agua en empalmes en poca cantidad.
- Alto índice de arborescencias acuosas: Presenta valores muy altos de TD DTD, TDTS, con pendientes de tendencia creciente al nivel más alto de tensión [22].

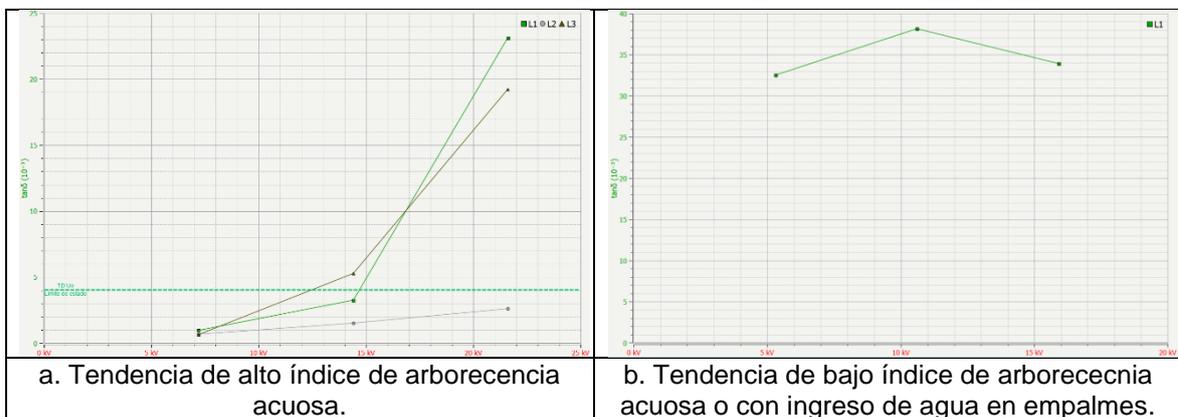


Figura 2.27. Ejemplos de tendencias TD.

2.3.3.3 Aplicación de pruebas adicionales.

En el caso de un resultado de evaluación que recomienda realizar más estudios se puede aplicar prueba de tensión VLF y de Descargas Parciales para obtener un diagnóstico más completo de la integridad de los cables en cuestión. Estas pruebas adicionales se aplican bajo la previa coordinación y autorización del cliente.

En la Tabla 3 de Norma IEEE 400.2 se indican los valores de tensión para prueba VLF en mantenimiento y el tiempo mínimo de prueba (15 minutos), véase Tabla referencial en el ANEXO III (3.2).

2.3.4 DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS DE ALTA IMPEDANCIA.

La localización de fallas se efectúa tras un reporte de incidencia desde el centro de control de la EEQ, que gestiona la orden y la consignación del área de trabajo al Grupo de Cables, de modo que ellos puedan acudir al lugar donde se encuentra el alimentador con avería, identificar y localizar la falla en el menor tiempo posible.

En la localización de fallas, los sistemas de cables que mayormente presentan incidencias son los más antiguos del tipo tripolar PILC (papel impregnado de aceite), mientras que los cables más nuevos de tipo XLPE presentan fallas esporádicas. Sin embargo, muchas de las fallas son de alta impedancia no francas.

Por tanto, para la localización de fallas se sigue el procedimiento y el conjunto de pruebas sugerido por la norma IEEE 1234-2019 que el personal de la EEQ ha adoptado y aplica en estas incidencias. El procedimiento consiste en aplicar de forma ordenada y segura los siguientes pasos para la localización de fallas en cables aislados y apantallados. El cual inicia con la consignación del alimentador y el estricto seguimiento a las reglas y pautas de seguridad.

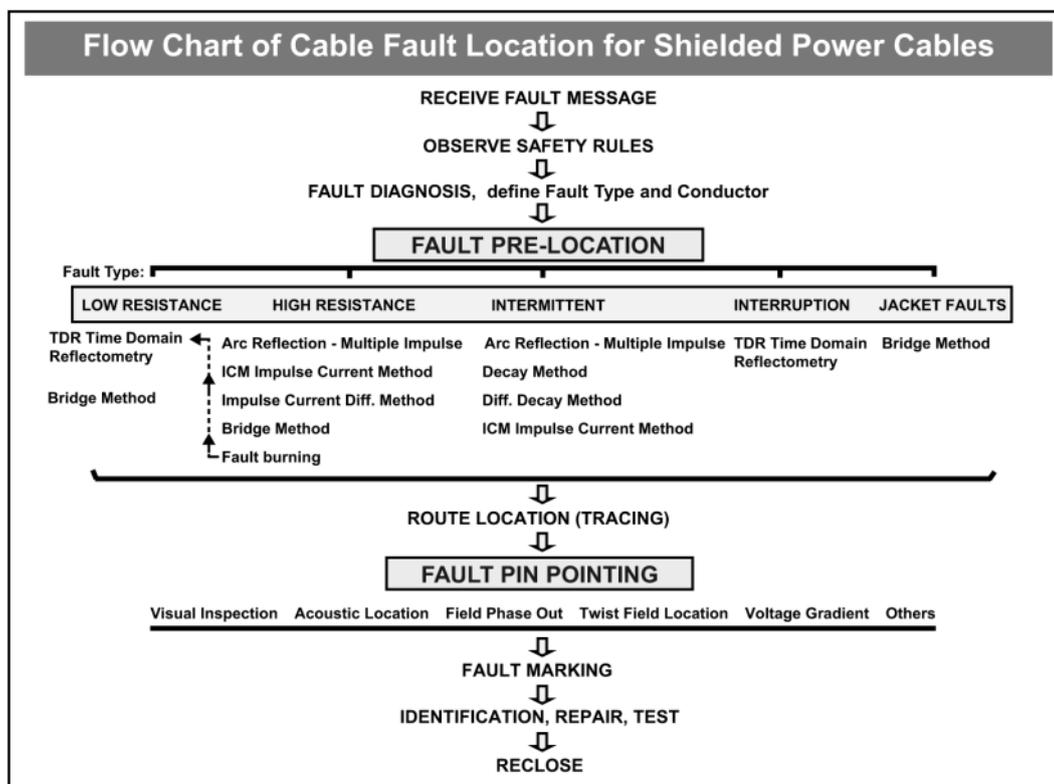


Figura 2.28. Diagrama de flujo para localización de fallas de cables aislados [17].

2.3.4.1 Identificación del tipo de falla.

Como primer paso del procedimiento de localización de falla, se evalúa la terna fase a fase para determinar el tipo de falla y su voltaje de interrupción, aplicando reflectometría y prueba con corriente continua a través de los modos de operación del sistema Centrix.

Aplicación de reflectometría TDR.

En la localización de fallas, la reflectometría además de medir la longitud real del cable también permite identificar el tipo de falla y la fase afectada por fallas francas de muy baja resistencia o con presencia de fallas de alta resistencia.

Metodología de aplicación:

Se realiza el esquema de conexión para reflectometría y se lo aplica a cada línea con el modo de operación Teleflex AT, con el mismo propósito de determinar la longitud real del sistema de cables en cada línea y cambios de impedancia por falla en cualquiera de ellas.

Resultados:

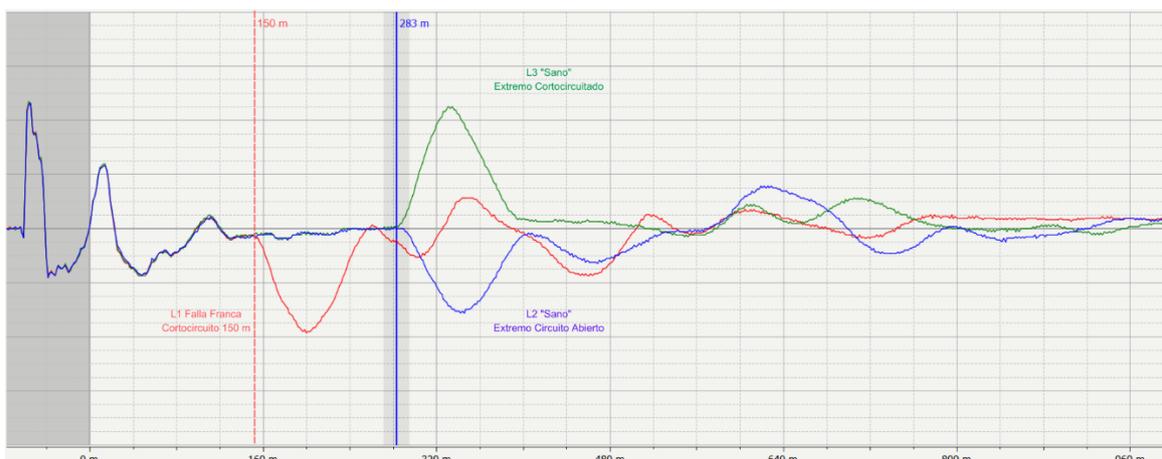


Figura 2.29. Ejemplo de reflectometría con de falla franca en L1 [Archivo de Localización].

En cables con presunción de falla se pueden obtener una de las tres respuestas potenciales en cada fase.

- Reflectograma con la medición de la longitud entera del cable, aparentemente el cable está sano, pero puede presentar falla de alta impedancia.
- Reflectograma con presencia de cambios de impedancia a una distancia inferior a la longitud total del cable, es decir, se presenta un cortocircuito o circuito abierto.

- Indeterminación de la medición, el reflectómetro TDR no logra medir la longitud del cable o detectar la presencia de cambios de impedancia, este es un indicador de falla intermitente de alta impedancia.

Este último caso suele presentarse en cables PILC con pantalla corroída, donde el técnico cambia la conexión del terminal AT por la armadura del cable y reintentará la reflectometría para obtener una medición clara de la longitud del cable para referencia.

Aplicación de prueba con Corriente Continua (CC).

La prueba de corriente continua es aplicada en cada fase para determinar el voltaje de disrupción de la avería, es decir, a que valor de voltaje es encendida la falla en el cable defectuoso.

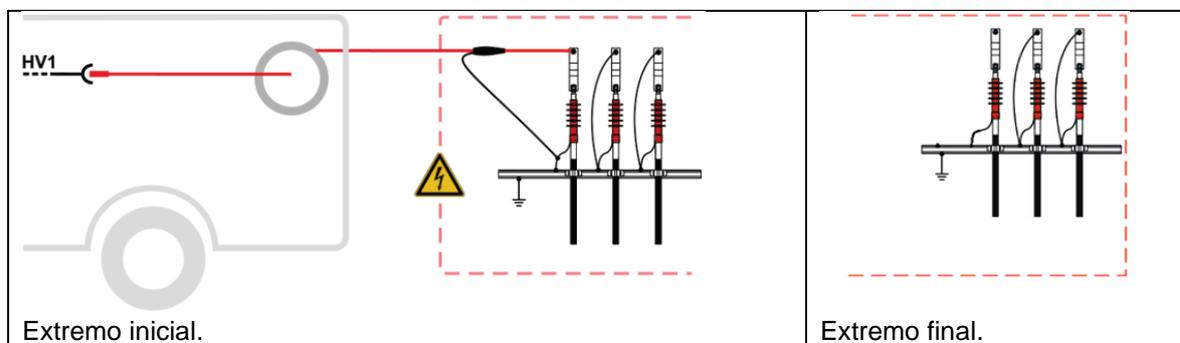


Figura 2.30. Esquema de conexión para Prueba de CC [24].

Metodología de aplicación:

Para la aplicación de esta prueba se realiza su esquema de conexión (Figura 2.30) y se utiliza al modo de operación Prueba con CC del sistema Centrix para ajustar el valor de tensión y tiempo de prueba.

Al acceder al modo de operación se selecciona la fase, ajustando la tensión de prueba al valor de la tensión de servicio, y el tiempo al valor mínimo del equipo, que en este caso es un minuto. Una vez iniciada la prueba, es inyectada tensión CC por el conductor hasta producirse la disrupción, cuyos datos son registrados para el posterior análisis.

Resultados:

Con esta prueba se pueden tener dos respuestas con la información del tiempo y la tensión de ruptura, proporcionada por el propio sistema al detectar la disrupción:

- Disrupción posterior a un cierto tiempo y a valores cercanos a la tensión de prueba. Este es un indicativo de existencia de falla no franca de alta resistencia ya que requiere superar cierta tensión (kA) para producir la ruptura.

- Disrupción en los primeros instantes de inyección de tensión. El cable presenta una falla franca de cortocircuito, no es capaz de soportar tensión y produce caída de tensión instantánea a tierra.

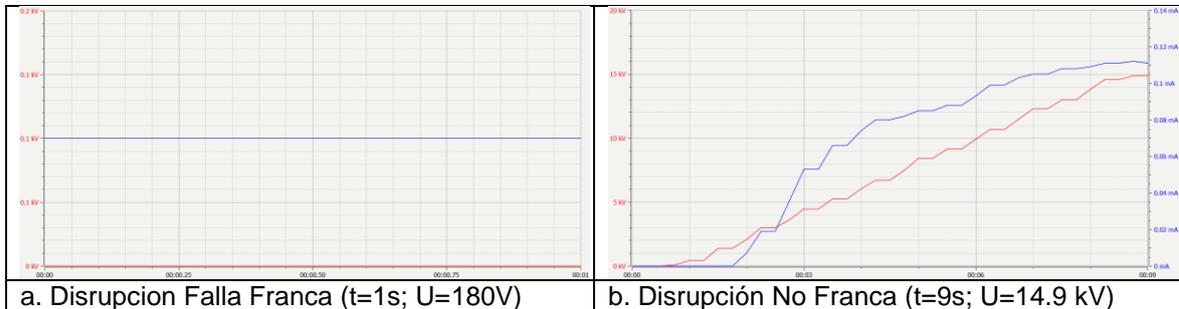


Figura 2.31. Traza resultante voltaje y corriente en Prueba DC.

Con la aplicación de reflectometría y prueba con CC, en función de las respuestas se puede definir el tipo de falla y la fase o fases afectadas, facilitando la elección del método de Pre-localización más efectivo, véase Figura 2.28.

Resumiendo, se tienen las características para clasificar las fallas como:

- **Falla Franca:** Falla del tipo circuito abierto o de cortocircuito, donde el cable es incapaz de soportar tensión, descargándolo directamente a tierra. Este cable no es cargable, pero si es fácilmente detectado y localizado por reflectometría TDR.
- **Falla no Franca:** Fallas de alta impedancia o intermitentes, la falla no es detectada por reflectometría TDR, pero si por prueba CC. El aislamiento tiene la capacidad de soportar tensión antes de romperse en la falla, por tanto, el cable es cargable y requiere de métodos de prelocalización especializados.

2.3.4.2 Pre-localización de falla.

En base a las características del tipo de falla, en este paso se selecciona y se aplica uno de los tres métodos de prelocalización disponibles del sistema Centrix, según la dificultad de la detección de falla de alta resistencia.

El método elegido debe determinar manera rápida y precisa la locación de la falla, con la distancia más aproximada de su posición, medida desde el extremo en donde se aplica dicho método.

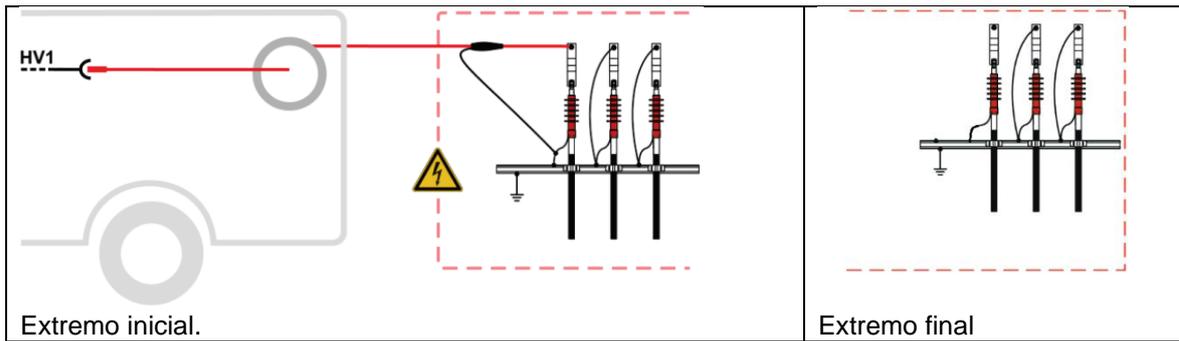


Figura 2.32. Esquema de conexión para Prelocalización y Localización de Averías [24].

Aplicación del método de reflexión de arco (ARM)

El método ARM es el primer método en ser aplicado, ya que es el más adecuado para prelocalizar fallas de alta resistencia en cables de hasta 10 km de longitud y con voltajes de encendido no muy altos (menores a 32 kV).

Metodología de aplicación.

Para aplicar el método de ARM se realiza el esquema de conexión correspondiente a la prelocalización, véase Figura 2.32, y se emplea el modo de operación prelocalización ARM  del sistema Centrix, en una de las líneas cargables y presuntamente fallada.

Al acceder al modo de operación, se selecciona la fase para aplicar ARM. Esta función realiza una medición TDR y genera automáticamente un reflectograma de referencia en su primer disparo. Para el segundo disparo, se activa el condensador de choque a la tensión de disrupción de la falla, lo cual descarga instantáneamente el pulso de choque en el cable. En una operación combinada con el TDR, son registradas 15 mediciones de reflexión de arco por encendido de la avería.

De las 15 trazas ARM obtenidas, el operario selecciona la traza que mejor permita la identificación de la falla con respecto al reflectograma de referencia inicial.

Resultados:

Con este método se visualiza la falla como una traza que presenta una reflexión negativa en la ubicación de la falla, producto de la reflexión del arco en ese punto. Este resultado facilita la comparación de la traza de falla con la de referencia, identificando claramente la locación de la falla y su distancia respecto al extremo inicial del cable.



Figura 2.33. Ejemplo de trazas resultantes de aplicación ARM.

Aplicación del Método DECAY.

El método DECAY se emplea para prelocalizar fallas de alta resistencia con elevadas tensiones de encendido de fallas en cables cargables.

Para ello se carga el cable con un voltaje CC hasta sobrepasar la tensión de ruptura de la falla. La energía acumulada en la capacitancia del cable se descarga a través de la falla y produce una onda progresiva. El sistema registra y representa esta onda como una oscilación atenuada [24]. A partir del periodo de esta oscilación se calcula la distancia a la que realmente encuentra la falla con la siguiente ecuación:

$$\text{Distancia de falla} = \frac{\text{Longitud de un periodo}}{2} - \text{longitud del carrete de medición.} \quad (2.1)$$

Donde la longitud del carrete de medición es aproximadamente 65 metros.

Aplicación del Método ICE.

El método ICE es útil para fallas de alta resistencia en cables de largas longitudes (mayores a 10km), en los que a menudo el método ARM se ve limitado en la obtención de resultados.

De manera semejante al ARM, se provoca una descarga disruptiva en la falla mediante la descarga repentina del condensador de choque. Como respuesta se tiene una onda transitoria atenuada que se desplaza una y otra vez entre la posición de la falla y el sistema de medición [24]. El desacoplamiento inductivo de la corriente permite representar una oscilación cuyo periodo corresponde a la distancia en la que se encuentra la falla. El valor calculado con la Ec. 2.2, equivale aproximadamente a la distancia entre el punto de conexión en el extremo inicial del cable y la falla, con un margen de error del 5-10%.

$$\text{Distancia de falla} = \text{Longitud de un periodo} - \text{longitud del carrete de medición} \quad (2.2)$$

La longitud de la bobina del cable de medición es aproximadamente 65 metros.

2.3.4.3 Trazado de ruta del cable.

Posterior a la prelocalización de la falla se procede al trazado de ruta del cable en superficie. Este paso consiste en emplear un receptor de audiofrecuencia para seguir la dirección del cable, mismo que es sintonizado al generador de audiofrecuencia de la Van. Este procedimiento se basa en el método de seguimiento de audiofrecuencia de la norma IEEE 1234.

Activación de generador de audiofrecuencia.

El generador de audiofrecuencia es un componente integrado al sistema Centrix y es controlado por su correspondiente modo de operación. Este componente tiene la función de transmitir una señal de acústica sinusoidal a una determinada frecuencia por el cable, de manera que, el receptor Ferrolux sea capaz de detectar dicha señal inducida en el cable y seguir su trayectoria.

Metodología de aplicación:

Para este procedimiento se aplica el correspondiente esquema de conexión indicado en la Figura 2.34, y se accede a su modo de operación Generador de Audiofrecuencia 🎧. Tras la selección de la fase por donde será enviada la señal, se ajusta de frecuencia de la señal (8440 Hz) y se activa la forma de onda senoidal. Seguido por la habilitación de AT para iniciar la emisión de señal acústica y el ajuste de potencia de emisión ($P_{NOM} 1 W$).

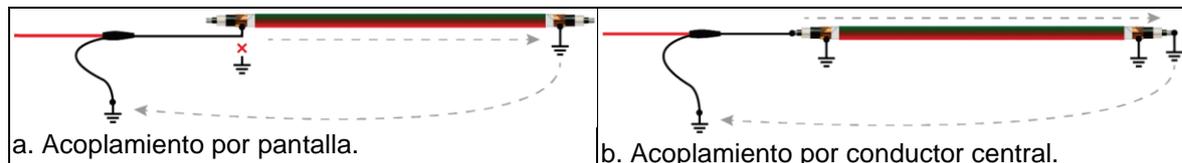


Figura 2.34. Esquemas de conexión para trazado por Generador de audiofrecuencia.

Seguimiento con receptor Ferrolux.

El receptor Ferrolux es un componente del equipo complementario Digiphone+2 NTRX cuya función es receptar la señal de audiofrecuencia emitida por el generador e interpretarla en su unidad de visualización. Este dispositivo permite observar al cable en una brújula dinámica en pantalla, guiar al operario en el seguimiento del cable y conocer la profundidad del cable, véase interfaz del modo Ferrolux en la Figura 2.35.a.

Por tanto, el receptor de audiofrecuencia debe ser preparado y conectado a su unidad de visualización para activar en su respectivo modo de operación. Es importante sintonizar este equipo a la misma frecuencia en la que el generador emite la señal (8440 Hz) y ubicarlo sobre el cable en superficie desde un punto de partida.

Para determinar la dirección del cable y el sentido de transmisión de la señal, el modo Ferrolux cuenta con una función especial denominada *signal select* . Esta función debe ser activada tanto en el modo de operación de la Van como en la unidad de visualización, con el propósito de orientar al receptor y confirmar su alineación con el cable bajo tierra.

De esta forma, se procede al inicio del trazado utilizando el receptor como antena de la señal y caminando en superficie sobre el cable hasta llegar a la posición aproximada de la falla o hasta el otro extremo del cable. Durante este recorrido, el operario corrige la alineación del equipo y el cable, guiado de la brújula virtual en pantalla, asegurando así el correcto seguimiento de la trayectoria del cable.

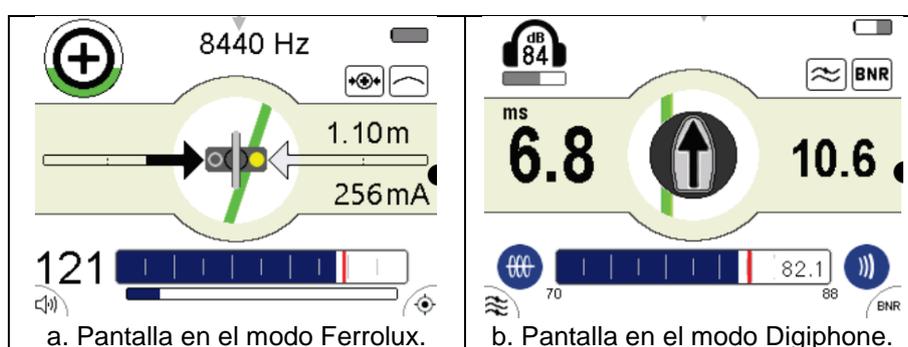


Figura 2.35. Vista de los modos de operación de la Unidad de visualización [27].

La disposición de los elementos en pantalla de la unidad de visualización es detallada en el ANEXO IV para cada modo de operación según el receptor conectado.

2.3.4.4 Localización puntual de falla.

Una vez trazada la ruta real del cable, se continua a la localización exacta de falla desde la superficie, en este paso se utiliza el sensor de ruido Digiphone para identificar el origen del estallido en la avería, provocado por la aplicación de ondas de choque en el conductor defectuoso. Este procedimiento se basa en el método de localización por coincidencia de la norma IEEE 1234.

Gracias a la prelocalización de falla y el trazado, el equipo Digiphone se traslada a la distancia aproximada de la falla para realizar el seguimiento del cable hasta ubicar la posición real de ella y su profundidad.

Aplicación de Ondas de Choque

La localización exacta por ondas de choque consiste en descargar impulsos de tensión de choque por el conductor del cable con falla, activando el condensador de choque integrado internamente en el sistema Centrix. Este se descarga consecutivamente para provocar

descargas eléctricas capaces de romper en la avería y exponer su ubicación por las ondas sonoras causadas del estallido en la falla.

Metodología de aplicación:

Para aplicar ondas de choque se trabaja con el modo de operación  correspondiente a Ondas de choque en el sistema Centrix y se realiza el respectivo esquema de conexión para localización de fallas en cables, véase Figura 2.32.

Al acceder al modo de operación se selecciona la fase a la que corresponde el cable, seguido del ajuste de tensión al valor mínimo de encendido de la falla y del tiempo de entre pulsos, de 6 u 8 segundos, para iniciar la descarga de ondas de choque.

El valor de tensión ajustado configura al condensador de choque (Thumper) con la energía mínima necesaria para provocar la ruptura y el estallido audible en la avería.

Localización con sensor Digiphone+.

Tras el inicio de las ondas de choque, el sensor de ruido Digiphone es preparado y ubicado sobre el cable en la posición determinada por el método de prelocalización.

En la preparación del sensor Digiphone se ensambla en su base una sonda específica para superficies de concreto, superficie típica por donde se realiza la localización de fallas en cables enterrados en entornos urbanos.

La unidad de visualización al conectar el sensor Digiphone cambia su modo de operación y por ende su pantalla, mostrando nuevos indicadores de medición y cambiando la brújula a un indicador de dirección de falla. Véase Fig. 2.35.b.

El equipo Digiphone funciona como sensor de campo magnético y micrófono que recibe la onda de choque y el ruido del estallido en la falla, cuya diferencia de recepción es medida por el equipo para mostrar el tiempo de tránsito (ms) en cada acercamiento a la falla.

Cuando el técnico u operador al seguir el cable, se acerca a la falla, en el Digiphone se presentan tres eventos de coincidencia, que son escuchados por los auriculares y vistos en pantalla:

- El volumen e intensidad del ruido del golpe aumenta a medida que se acerca a la falla.
- La diferencia del tiempo de tránsito (ms) disminuye, mostrando el valor mínimo cuando se encuentra próximo o encima de la falla.

- El indicador de dirección de falla cambia su forma de flecha a un punto, justo cuando se llega a la ubicación puntual de la falla en superficie.

La medición de diferencia de tiempo puede ser transformada a unidades de longitud para conocer la profundidad del cable y la falla desde la superficie.

Una vez localizada la falla en el punto exacto en superficie, esta posición se marca con espray amarillo el símbolo ☒ en el pavimento, destacando dicha ubicación.

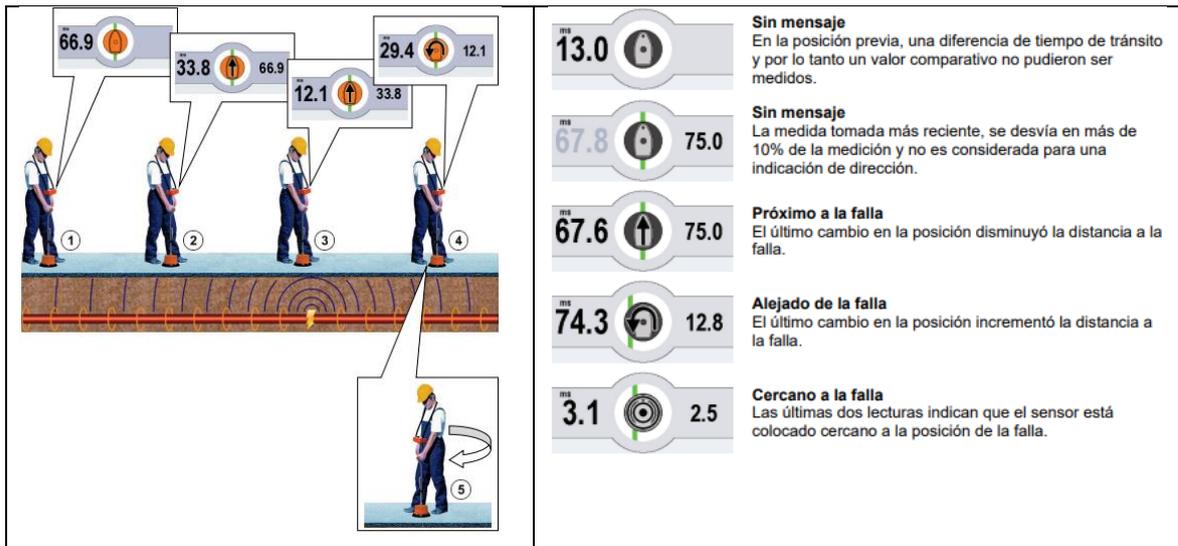


Figura 2.36. Indicadores del equipo Digiphone al aproximarse a la falla [27].

2.3.4.5 Identificación de fase fallada y reparación.

Posterior a la localización puntal de la falla desde la superficie, el grupo de cables procede a convocar al personal de operación y mantenimiento o grupo de construcción de redes subterráneas para intervenir en la reparación de la falla.

En este punto se realiza la excavación hasta encontrar el cable o terna de cables, a los que se inspecciona visualmente para identificar la avería, o se utiliza también la bobina de lectura IFA para identificar la fase que se encuentra averiada y repararla.

Antes de realizar el empalme en el cable, se realiza nuevamente la reflectometría a ambos tramos del cable abierto, para detectar fallas adicionales y comprobar su continuidad.

Posterior al empalme del cable o de la terna es recomendado aplicar pruebas de diagnóstico para comprobar la correcta ejecución del empalme y el estado de los cables.

2.4 ESTRUCTURACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA GUÍA TÉCNICA DE PRUEBAS DE CABLES EN CAMPO.

Para la elaboración de la guía técnica, se considera la metodología de ejecución de cada prueba de campo descritas en la sección anterior, detallando los procedimientos de aplicación de cada prueba con sus respectivos modos de operación del sistema Centrix.

Por tanto, la estructura de la guía técnica ha sido definida en función de los componentes que ésta debe tener para la interpretación y aplicación de cualquier técnico profesional de la EEQ, así como los procedimientos que involucran la utilización del Laboratorio Móvil de Cables. Ver guía técnica detallada en el ANEXO I.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES A CONSIDERAR EN LA GUÍA TÉCNICA.

Los componentes que son considerados en la guía técnica para cada procedimiento se definen y presentan a continuación:

2.4.1.1 Objetivos.

Definen el propósito y razón para a la aplicación de cada prueba de campo y procedimiento con relación a la utilización del Laboratorio Móvil de Cables.

2.4.1.2 Equipamientos.

Describe cada elemento, equipamiento y herramientas que serán utilizadas para la aplicación de cada prueba de campo o procedimiento con relación al Laboratorio Móvil de Cables.

2.4.1.3 Referencias Normativas o Normativas.

Indica el recurso normativo con el que se guía cada prueba, es decir, indica la norma internacional con la sección donde se detalla los parámetros y método a considerar en la aplicación de cada prueba.

2.4.1.4 Procedimiento para ejecución de pruebas.

Corresponde la descripción del paso a paso de cada procedimiento, sea para seguridad, puesta en servicio del Laboratorio móvil y consideraciones previas a aplicación de pruebas.

Detallando el paso a paso y de cada selección de funciones en cada modo de operación del sistema Centrix para la aplicación de pruebas de diagnóstico y localización de fallas.

También se agrega una sección de trabajos en MeggerBook Cable, donde se describe los pasos para la creación de cables al que se vincularán las pruebas a ejecutar y la creación de informes con base en el registro de pruebas realizadas.

2.4.1.5 Criterio de aceptación y/o evaluación.

Referencia a la condición resultante de la aplicación de cada prueba sobre el objeto de ensayo que, en función de la normativa, determina el estado de aprobación del cable en sí para la puesta o continuidad del servicio, o directamente su rechazo para el cambio inmediato por los defectos detectados.

2.4.2 ESTRUCTURA DE LA GUÍA TÉCNICA PARA PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

El material resultante de este proyecto se encontrará anexada y nombrada como **“Guía Técnica de Pruebas de Diagnóstico y Localización de Fallas en cables de potencia subterráneos utilizando el Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito S.A”**, que estará conformada por la siguiente estructura:

1. Seguridad para ejecución de pruebas.
2. Puesta en servicio del laboratorio móvil de cables.
3. Preparación de cables para pruebas de campo.
4. Prueba de diagnóstico para instalación.
5. Prueba de diagnóstico para aceptación.
6. Prueba de diagnóstico para mantenimiento.
7. Pruebas para localización de fallas.
8. Trabajos con Meggerbook Cable.

También se consideran parte de la guía técnica los anexos siguientes II, III y VI, donde se indican los esquemas de conexiones para cada prueba, los parámetros referenciales de las normas y detalles del equipamiento complementario.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 RESULTADOS.

En este capítulo, se expone la aplicación de pruebas, diagnóstico y localización de fallas de cables subterráneos en trabajos reales en campo. Se presentan los datos y resultados de cada prueba, con su respectiva interpretación y conclusión de la condición del sistema de cables probados, siguiendo los procedimientos detallados en la Guía Técnica del ANEXO I, descritos en el capítulo anterior.

3.1.1 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO PARA INSTALACIÓN.

3.1.1.1 Prueba de Instalación en el nuevo edificio Quicentro Norte.

Tabla 3.1. Datos de entorno de prueba.

Proyecto:	AMPLIACIÓN NUEVO EDIFICIO QUICENTRO NORTE		
Ubicación:	Iñaquito, Calle el Vengador y el Comercio.		
Fecha de Ejecución:	2023-01-05	Voltaje de Servicio*:	22.8 kV
Conexión o tendido:	Tramo desde el pozo de revisión en la derivación aérea subterránea hasta la celda de seccionamiento, con longitud estimada de 50 metros.		
Extremo inicial:	Pozo de revisión.	Extremo final:	Celda de seccionamiento.




*Voltaje de servicio al cual ingresará el sistema de cables.

Tabla 3.2. Datos y característica del objeto de prueba.

Tipo de cable:	Monopolar con aislamiento extruido.	Voltaje de diseño.	25 kV
Tipo de terna:	Trifásica de cable monopolar x3	Tipo de terminación:	Punta desnuda
Descripción:	Conductor de Cobre, aislamiento XLPE 90°C 133%, Calibre 1/0 AWG, cubierta PVC color rojo.		
Fabricante/Marca:	CENTELSA	Año de instalación:	2023



Resultados de Aplicación de Reflectometría TDR.

Para la medición de longitud real del sistema de cables a probar fue aplicado reflectometría TDR con el modo de operación Teleflex AT del sistema Centrix, usando los siguientes ajustes y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.3. Datos eléctricos y ajustes aplicados en Teleflex AT.

Señal de voltaje.	Pulsos de voltaje	Velocidad (V/2)	80 m/μs
Amplitud de pulso	50 V	Anchura de impulso	200 ns
Ajustes de Visualización			
Rango X (X_R)	1 km	Ganancia (Y_G)	-22 dB

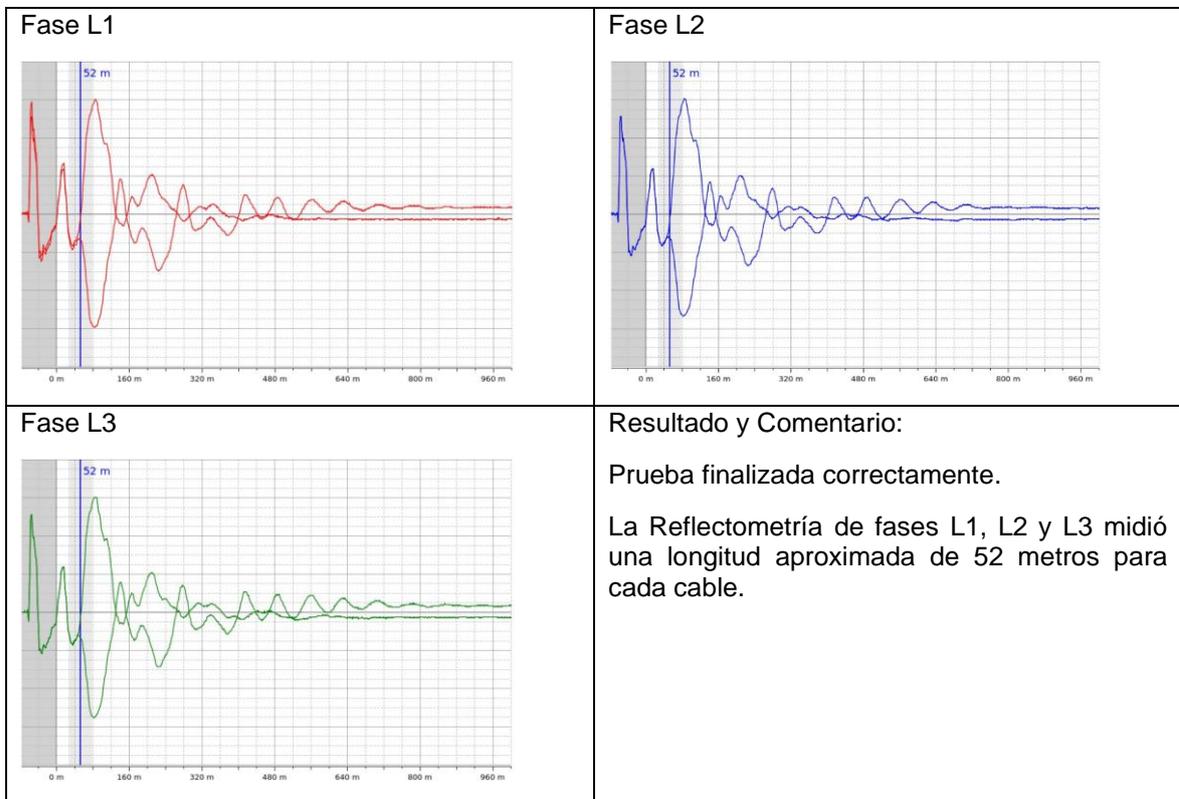


Figura 3.1. Resultados de reflectometría con Teleflex AT.

Resultados De Aplicación De Prueba De Cubierta.

Para el diagnóstico del estado de la cubierta del sistema de cables posterior a su instalación, se aplicó la prueba de cubierta con el correspondiente modo de operación en el sistema Centrix usando los siguientes ajustes y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.4. Datos eléctricos y ajustes aplicados en Prueba de Cubierta.

Señal de voltaje.	Voltaje CC.	Espesor de cubierta	2 mm
Voltaje aplicado.	8 kV	Duración de Prueba	1 min
Parámetro de ensayo (Norma)		IEC 60229 edición 3.0 del 2007, sección Nro. 5	

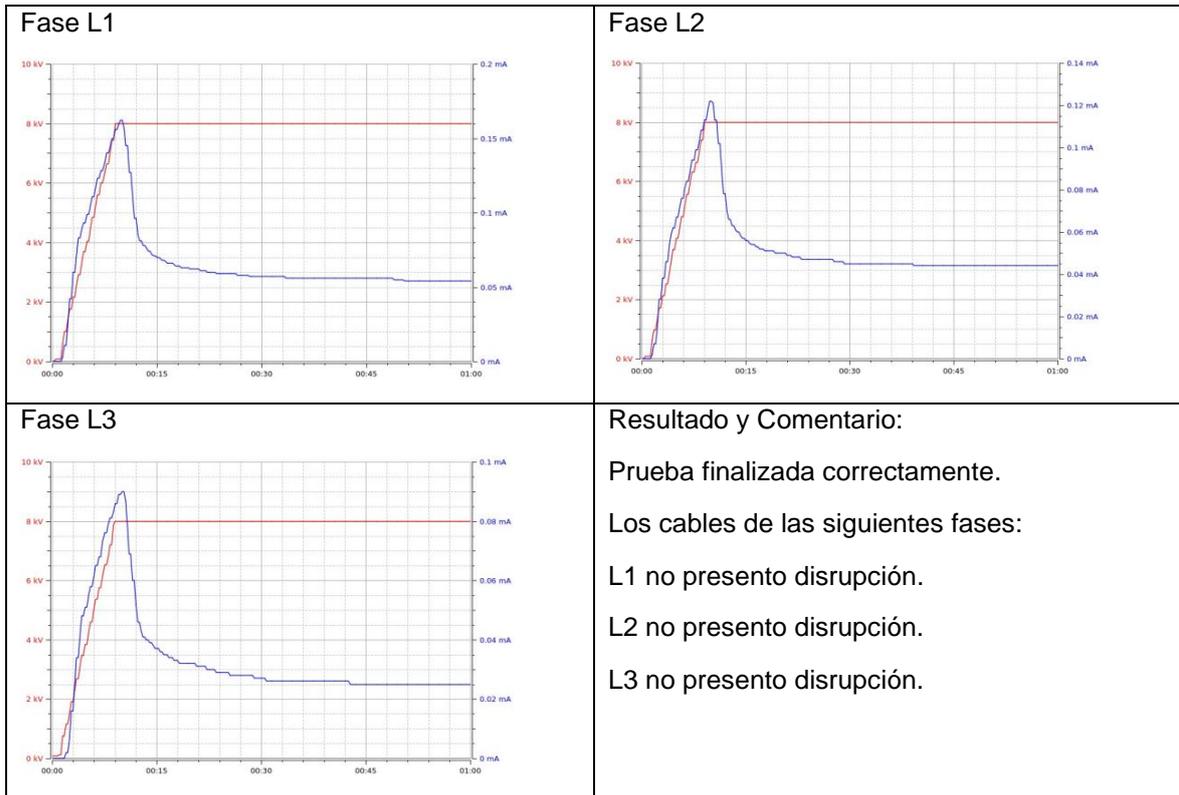


Figura 3.2. Trazas de voltaje y corriente resultantes de Prueba de Chaqueta.

Los cables subterráneos con cubierta PVC en las fases L1, L2 y L3, no presentan disrupción y soportan la tensión aplicada durante el minuto, por lo que el sistema **PASA** la prueba de chaqueta.

Resultados de Aplicación De Prueba VLF.

Para el diagnóstico del estado de aislamiento posterior a la instalación del sistema de cables, fue aplicado prueba de tensión VLF con el correspondiente modo de operación del sistema Centrix usando los siguientes ajustes y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.5. Datos eléctricos y ajustes aplicados en Prueba VLF.

Señal de voltaje:	AC VLF seno.	Frecuencia	0.1 Hz
Voltaje aplicado	32 kV _{rms} (45 kV _{pico})	Duración de Prueba	60 min
Capacitancia*	14 nF	Resistencia*	>100 MΩ
Parámetro de ensayo (Norma)		IEEE std 400.2-2013, Tabla 3 (Aceptación).	

*Características eléctricas de aislamiento medido automáticamente por el sistema Centrix.

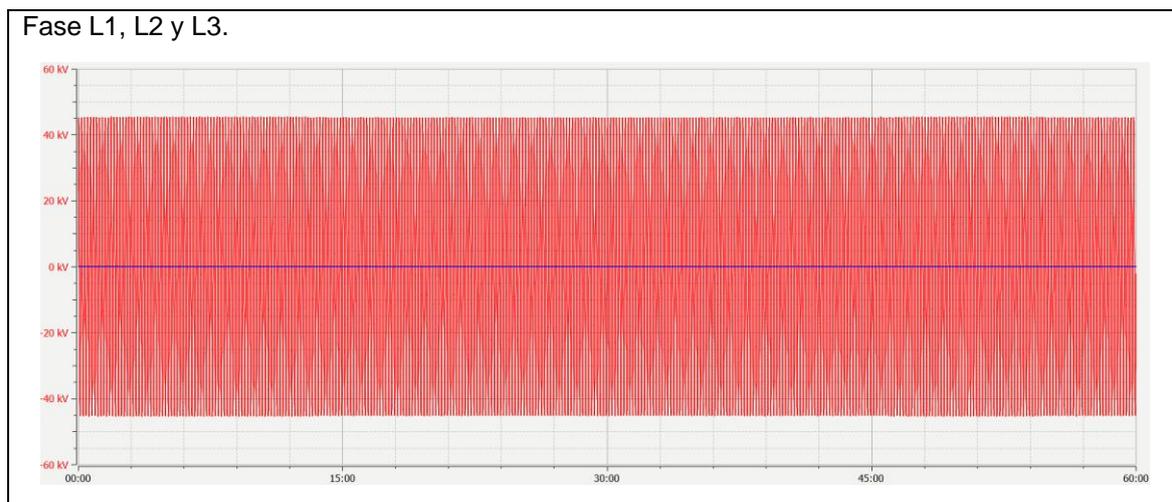


Figura 3.3. Gráfica VLF Test Sinus resultante.

Prueba finalizada correctamente.

Los cables subterráneos con aislamiento XLPE de las fases L1, L2 y L3, concluyen la prueba exitosamente presentando el mismo diagrama de voltaje VLF. Estos soportaron el voltaje de prueba aplicado durante los 60 minutos sin interrumpirse por disrupción, por lo tanto, el sistema de cables **PASA** la prueba de VLF.

Conclusión de prueba.

Tabla 3.6. Resumen de resultados de prueba de instalación.

Ítem	DESCRIPCIÓN	Fases	RESULTADOS DE PRUEBAS		
			Reflectometría	Prueba VLF	Prueba de cubierta
1	TRAMO - POZO DE DERIVACIÓN A CELDA DE SECCIONAMIENTO.	L1	52 metros	PASA	PASA
		L2	52 metros	PASA	PASA
		L3	52 metros	PASA	PASA

La prueba de instalación en el proyecto de ampliación del nuevo edificio Quicentro Norte, con la información detallada en la tabla 3.1 y 3.2, se ejecutó correctamente aplicando Reflectometría, Prueba de Cubierta y Prueba VLF, obteniendo resultados favorables en la instalación del sistema de cables, como se muestra en la Tabla 3.6. La instalación cumple con los criterios de aceptación en cada prueba según las normas IEC 60229 e IEEE 400.2, sin presentar daños o defectos en sus componentes, por lo que es aprobada para proceder a la elaboración de terminales y su posterior prueba de aceptación previo a la puesta en servicio del sistema de cables.

En esta prueba se aplicaron por primera vez los procedimientos de la guía técnica para prueba de instalación, siguiendo las pautas de seguridad durante la prueba. Se efectuaron correctamente los esquemas de conexión correspondientes y la operación del sistema Centrix, brindando una adecuada retroalimentación para corrección y mejora de la Guía.

3.1.2 APLICACIÓN DE PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA ACEPTACIÓN.

3.1.2.1 Prueba de Aceptación en proyecto soterramiento de redes Machachi.

Tabla 3.7. Datos de entorno de prueba.

Proyecto:	SOTERRAMIENTO DE REDES AV. AMAZONAS, MACHACHI		
Ubicación:	Machachi, Avenida Amazonas y Calle Gonzáles Suárez.		
Fecha de Ejecución:	2023-03-23	Voltaje de Servicio*:	22.8 kV
Conexión o tendido:	Tramo desde la celda de seccionamiento CT4 hasta la derivación aérea subterránea en el poste cercano Pe46, con longitud estimada de 70 metros.		
Extremo inicial:	CT4. G. Suarez	Extremo final:	Pe 46 G. Suarez.
			

*Voltaje de servicio al cual ingresará el sistema de cables.

Tabla 3.8. Datos y característica del objeto de prueba.

Tipo de cable:	Monopolar con aislamiento extruido.	Voltaje de diseño Uo.	25 kV
Tipo de terna:	Tres conductores de un hilo.		
Descripción:	Conductor de Aluminio, aislamiento XLPE 90°C 133%, Calibre 2/0 AWG (350 MCM), cubierta PVC color rojo.		
Fabricante/Marca:	CONELSA	Año de instalación:	2022
Tipo de Terminación.			
Terminal inicial:	Conector separable tipo T premoldeado	Terminal final:	Contraible en frío.

Resultados de Aplicación de Descargas parciales.

Para la medición de DP en el sistema de cables a probar fue utilizado el modo de operación Diagnóstico DP del sistema Centrix con los siguientes ajustes y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.9. Datos eléctricos y ajustes aplicados.

Señal Emitida	Voltaje VLF (seno)	Frecuencia	0.1 Hz
Voltaje nominal U_0	14.4 kV _{rms}	Duración de Prueba	Por Monitoreo
Pasos de voltaje xU_0	Incremento de 0.3 0.5, 1.0, 1.7 U_0 y decremento 1.0, 0.9, 0.8 y 0.7 U_0		
Parámetro de ensayo (Norma)	IEEE std 400.2-2013, sección 5.5.		

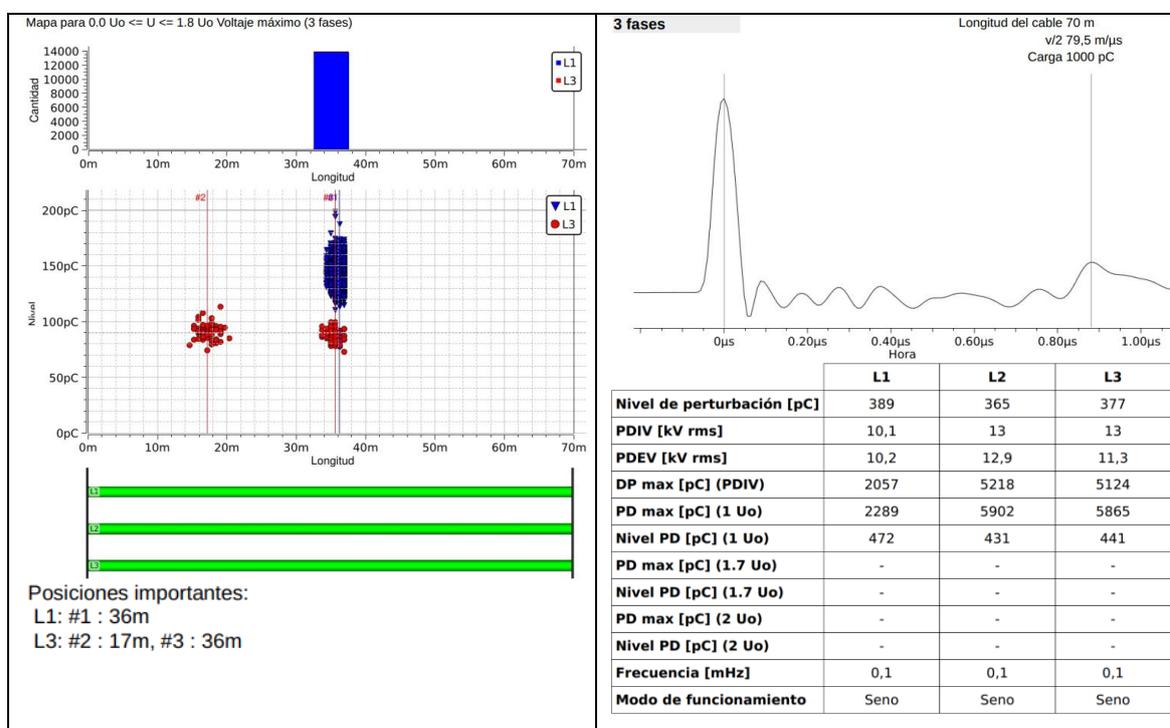


Figura 3.4. Mapa de DP, TDR y cuadro resumen de medición PD.

En el Mapa DP se indica la presencia de eventos DP sostenidos a las distancias de 36m en L1 y L2, y a 17 en L3; de mayor cantidad en L1, con niveles de 300pC de carga, mientras que en L3 se presenta una leve cantidad de DP con niveles de carga máxima de 120 pC.

En el diagrama PRPD se observan patrones de DP de tipo corona en las tres fases debido a su característica de nube horizontal por eventos DP, más una acumulación adicional de DP en L1 a 90° de fase a la señal de tensión, caracterizando DP de tipo superficial.

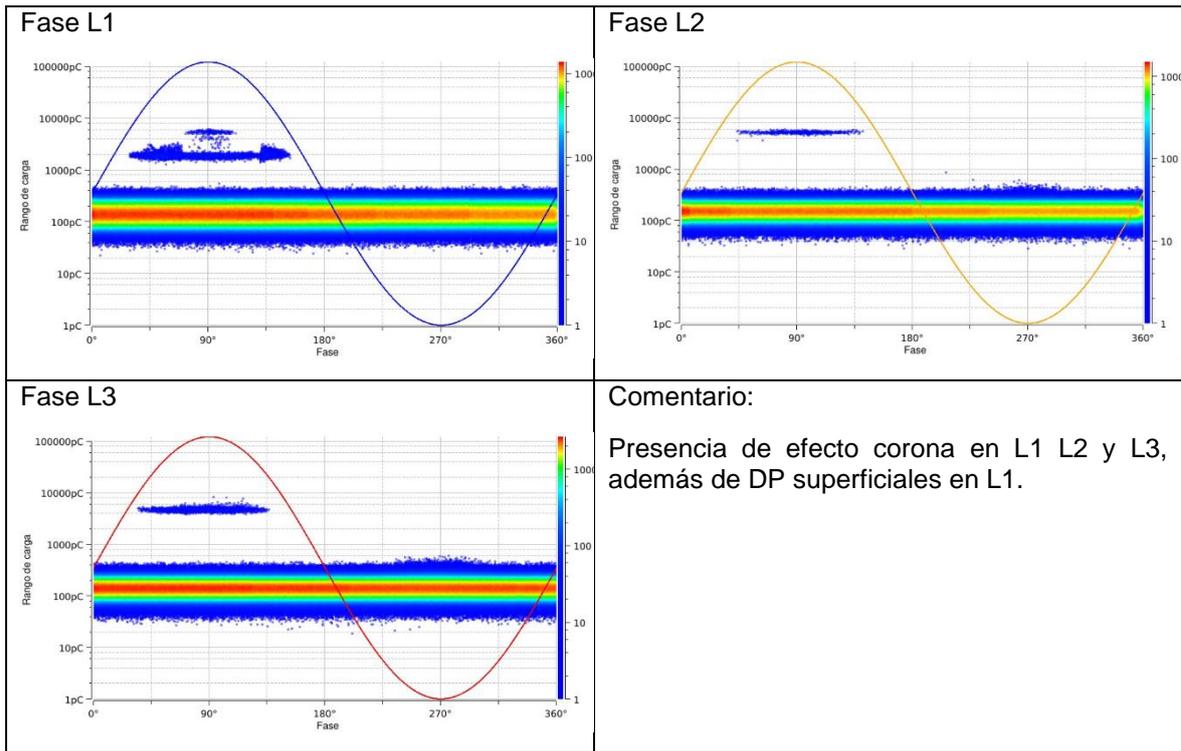
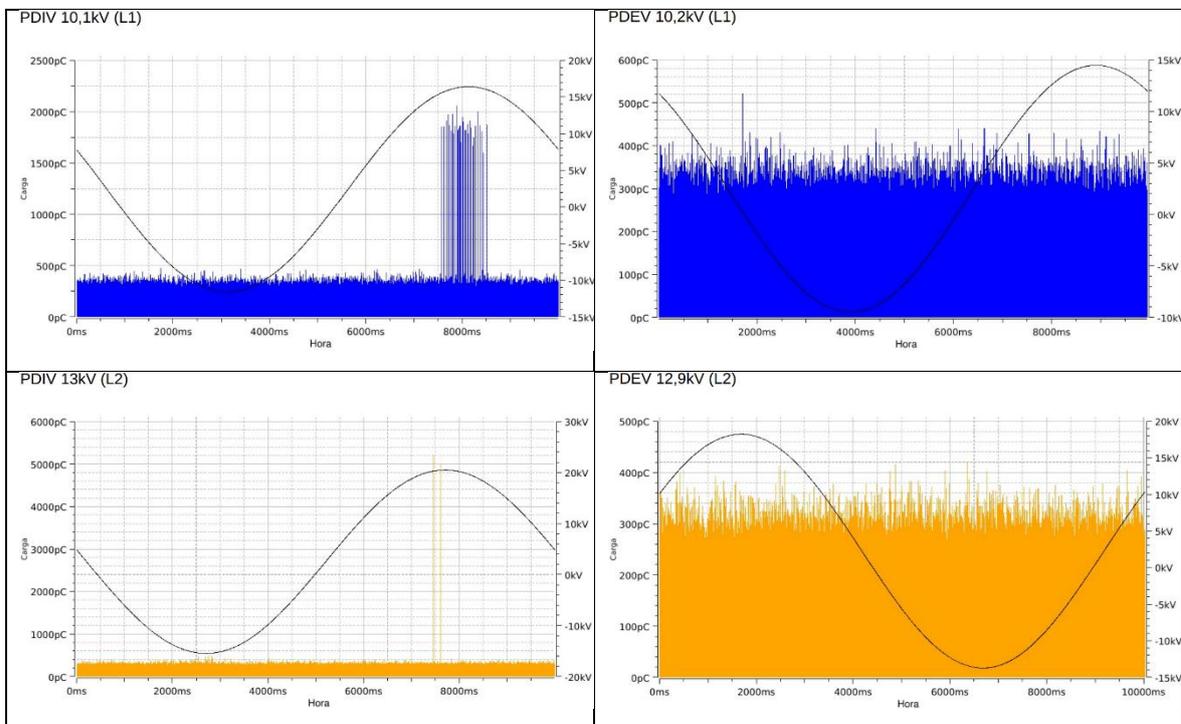


Figura 3.5. Tipos de DP resultantes en diagrama PRPD.

En el diagrama Q(t)/U(t) se registran los niveles de tensión de inicio y extinción de DP, identificando los impulsos de carga de DP en los instantes indicados en la siguiente figura, como impulsos periódicos en PDIV y la desaparición de dichos impulsos en PDEV.



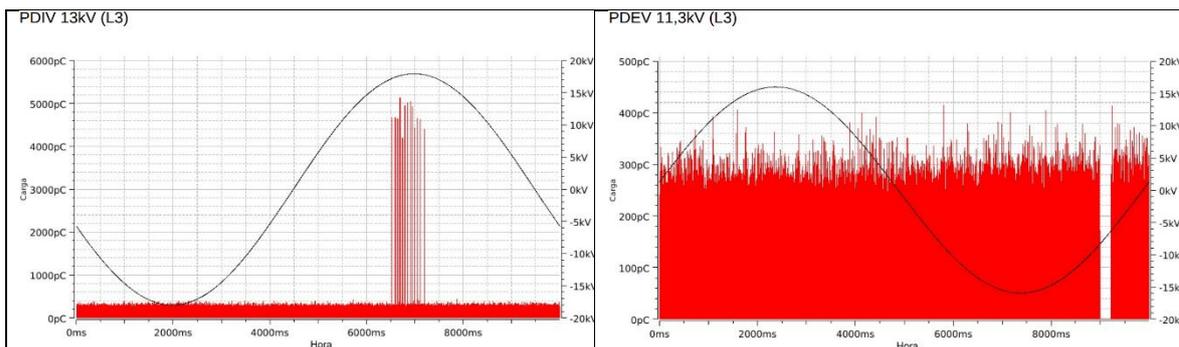


Figura 3.6. PDIV y PDEV resultantes en diagrama Q(t)/U(t).

Conclusión de prueba:

Tabla 3.10. Resumen de resultados obtenidos de esta prueba.

Ítem	DESCRIPCIÓN	Fases	RESULTADOS DE PRUEBAS			
			Longitud	Actividad de DP	Ubicación de DP.	Tipo de DP.
1	TRAMO - CELDA DE SECCIONAMIENTO CT4 AL POZO DE REVISIÓN POSTE Pe46	L1	70 m	Moderadas	36 m	Superficiales y de efecto corona
		L2	70 m	Insignificantes	-	Efecto corona
		L3	70 m	Leves	17 y 36 m	Efecto corona

Tabla 3.11. Resultados de Medición de tensiones de DP.

Fases	PDIV		PDEV		Mayor a Voltaje de servicio. >Us (22.8 kV / 13.2 kVrms)	Estado de DP
	(Uo)	(kV _{rms})	(Uo)	(kV _{rms})		
L1	0.7	10.1	0.7	10.2	No	Aprueba con observaciones.
L2	0.9	13	0.8	12.9	No	Aprueba con observaciones.
L3	0.9	13	0.8	11.3	No	Aprueba con observaciones.

La prueba de aceptación realizada en el proyecto de soterramiento de redes Av. Amazonas, Machachi, se ejecutó exitosamente con la aplicación de diagnóstico DP en el tramo de cables nuevos, conexión de celda CT4 al poste Pe46, incorporados puntas terminales y detallados en la Tabla 3.9. Los resultados son resumidos en la tabla 3.10 y 3.11, mostrando la detección de descargas parciales en las líneas L1 y L3, de tipo efecto corona y superficiales en L1, en ubicaciones donde no existen empalmes. Esto indica la presencia de defectos en cubierta debido al contacto con otras superficies en los cambios de dirección en cables y, por ende, estrés mecánico en el aislamiento.

Los voltajes de inicio y extinción DP fueron medidos a niveles de tensión inferiores al valor nominal U_0 14.4 kV_{rms} del cable, pero cercanos a la tensión de servicio U_s 13.2 kV_{rms}. Esto indica la permanencia de DP débiles en defectos superficiales del cable, los cuales no representan un riesgo inmediato a la operación normal del cable. Por tanto, los cables fueron **APROBADOS con observaciones**, y recomendados con la aplicación de diagnóstico preventivo de PD y TD en pruebas de mantenimiento a 1 o 2 años posterior a su energización.

3.1.3 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO PARA MANTENIMIENTO.

3.1.3.1 Prueba de Mantenimiento en alimentador de planta industrial ENI del Ecuador.

Tabla 3.12. Datos de entorno de prueba.

Proyecto:	MANTENIMIENTO EN PLANTA INDUSTRIAL ENI DEL ECUADOR.		
Ubicación:	ENI del Ecuador - Planta Pifo		
Fecha de Ejecución:	2023-04-30	Voltaje de Servicio:	22.8 kV
Conexión o tendido:	Tramo desde el poste de derivación área subterránea hasta cámara de transformación ENI del Ecuador 400 kVA, con longitud estimada de 25 metros		
Extremo inicial:	CT 400 kVA	Extremo final:	Poste de transición aérea-subterránea.
			

Tabla 3.13. Datos y característica del objeto de prueba.

Tipo de cable:	Monopolar con aislamiento extruido.	Voltaje de diseño.	25 kV
Tipo de terna:	Tres conductores de un hilo.	Tipo de terminación.	Punta desnuda / Termocontráctil
Descripción:	Conductor de cobre, aislamiento XLPE 90°C 100%, Calibre 2 AWG, cubierta PVC color rojo y negro.		
Fabricante/Marca:	FADALTE	Año de instalación:	2014
			

Resultados de Aplicación de Reflectometría TDR.

Para la medición de longitud real del sistema de cables fue aplicado reflectometría TDR con los siguientes ajustes en Teleflex y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.14. Datos eléctricos y ajustes aplicados en Teleflex AT.

Señal Emitida	Pulsos de voltaje	Velocidad (V/2)	80 m/μs
Amplitud de pulso	50 V	Anchura de impulso	200 ns
Ajustes de Visualización			
Rango X (X_R)	100 m	Ganancia (Y_G)	-15 dB

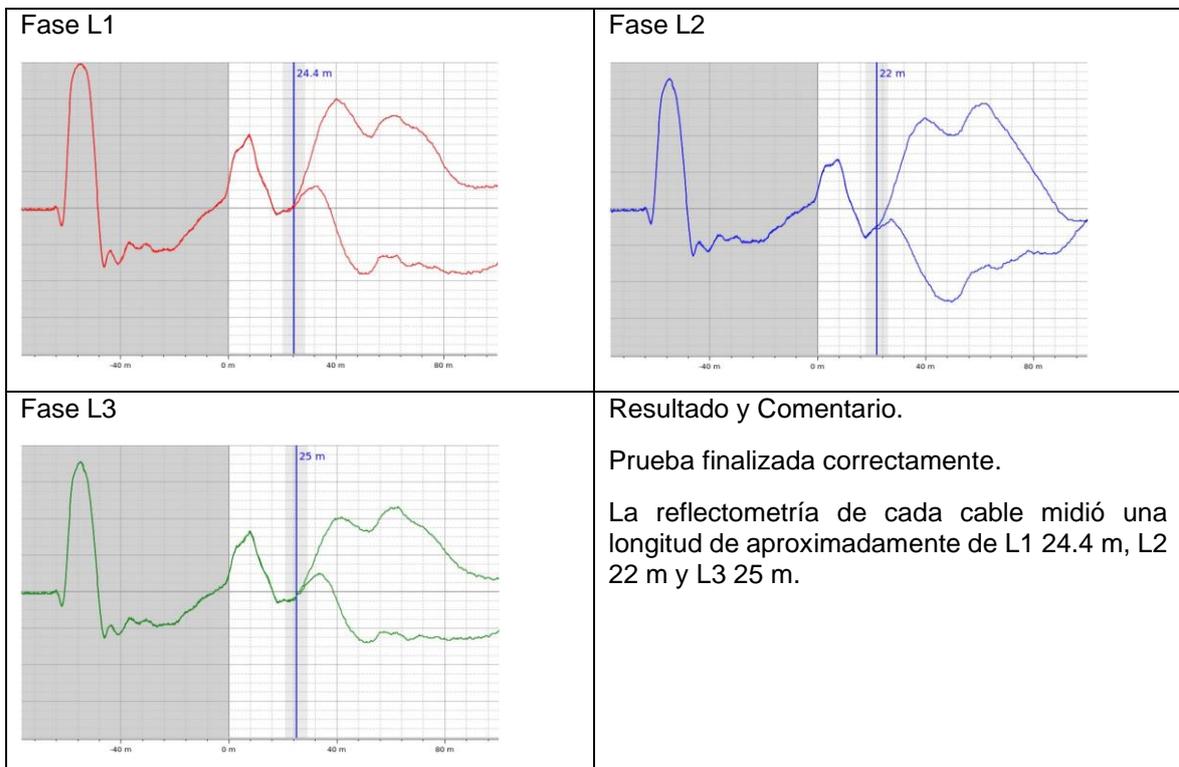


Figura 3.7. Reflectogramas resultantes de Teleflex HV.

Resultados De Aplicación de Prueba Tan Delta.

Para el diagnóstico de envejecimiento en el sistema de cables, se aplicó prueba de Tangente Delta con tensión VLF, utilizando el correspondiente modo de operación del sistema Centrix y los siguientes ajustes.

Tabla 3.15. Datos eléctricos y ajustes aplicados en Tangente Delta.

Señal Emitida.	Voltaje AC VLF seno.	Frecuencia.	0.1 Hz
Voltaje aplicado U_0.	14.4 kV _{rms}	Material Aislante.	XLPE
Escalones de tensión.	3x (0.5, 1.0 y 1.5 U_0)	Mediciones TD por paso.	8
Parámetro de ensayo (Norma).		IEEE std 400.2-2013, Tabla 4.	

El diagrama de tendencia TD resultante muestra pendientes crecientes con valores de DTD muy altos para L1 y L2, con valores de TD a U_0 superiores a la norma, lo que caracteriza a estos cables con alto nivel de arborescencia acuosa. Por otra parte, L3 presenta un valor promedio TD bajo para U_0 , indicativo que no tiene afectaciones a voltaje normal de operación. Sin embargo, a mayores voltajes, la línea presenta alto valor de DTD, indicando existencia de humedad (agua) que, con el tiempo o en sobrevoltajes, esta será afectado.

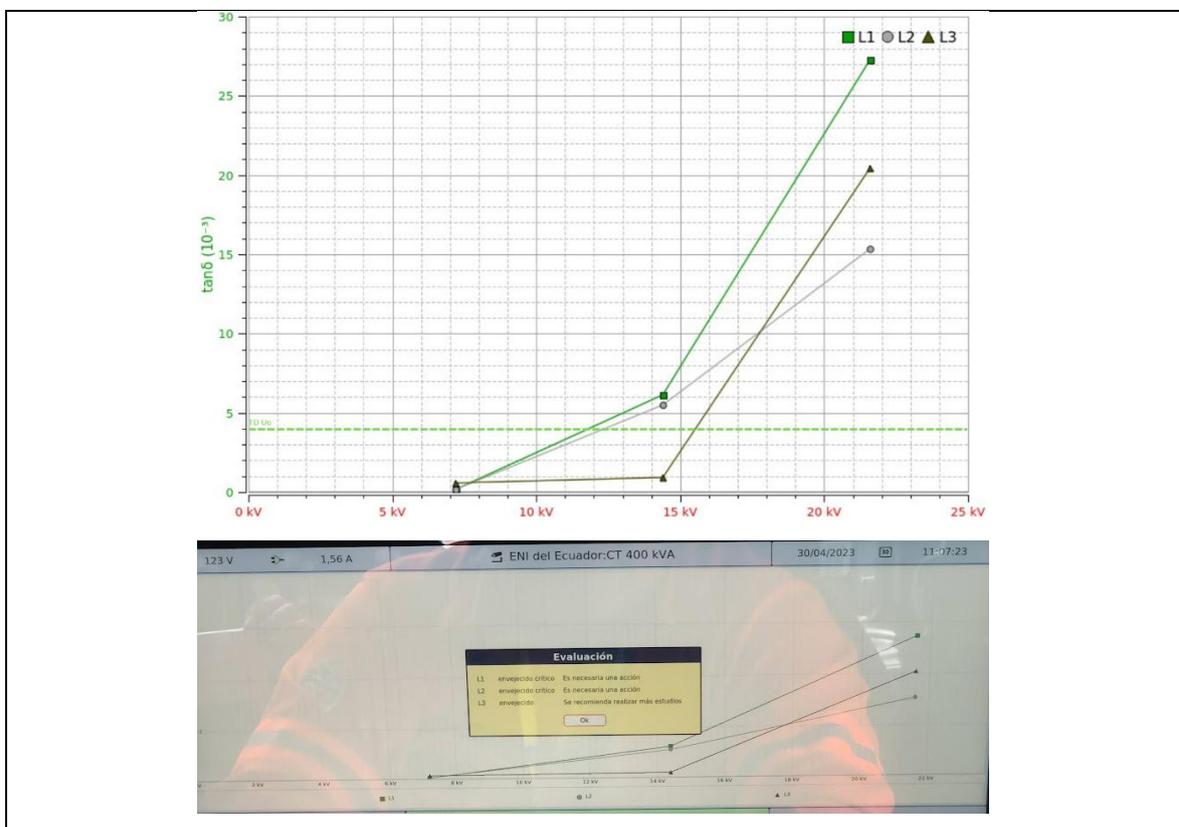


Figura 3.8. Diagrama de tendencia y cuadro de evaluación de Tan Delta.

En función de las mediciones de TD, el sistema determinó los valores de TD promedio de cada nivel, el diferencial DT (DTD) y de estabilidad TD (TDTS), y los comparó con los valores de mérito de la Tabla 4 de la Norma IEEE 400.4. Estos cumplen con la condición de envejecimiento y envejecimiento crítico, justificados con la tabla de resultados y cuadro de evaluación del sistema Centrix.

Tabla 3.16. Resultados de evaluación y datos Tan Delta.

	L1	L2	L3
tanδ @ 0.5 U ₀ (10 ⁻³)	0.1; 0.1; 0.5; 0.1; 0.1; 0.1; 0.1;	0.2; 0.2; 0.2; 0.2; 0.2; 0.2; 0.2;	0.6; 0.6; 0.6; 0.6; 0.6; 0.6; 0.6;
tanδ @ 1 U ₀ (10 ⁻³)	12.7; 7.6; 5.5; 3.9; 3.4; 3.9; 6.0;	3.6; 4.4; 4.3; 6.0; 3.5; 10.4; 6.8;	0.9; 0.9; 0.9; 0.9; 0.9; 0.9; 0.9;
tanδ @ 1.5 U ₀ (10 ⁻³)	28.3; 26.7; 24.3; 26.8; 27.8;	16.0; 15.8; 14.5; 15.0; 15.5;	21.3; 20.6; 19.6; 19.9; 19.6;
	28.9; 27.9; 27.5	15.8; 15.1; 15.0	20.8; 20.7; 20.9
Fase	L1	L2	L3
tanδ @ 0.5 U ₀ (10 ⁻³)	0.2	0.2	0.6
Desviación tanδ @ 0.5 U ₀ (10 ⁻³)	0.1	0.0	0.0
Tendencia Tangente Delta	stable	stable	stable
tanδ @ 1 U ₀ (10 ⁻³)	6.1	5.5	0.9
Desviación tanδ @ 1 U ₀ (10 ⁻³)	3.0	2.3	0.1
Tendencia Tangente Delta	decreasing	rising	rising
tanδ @ 1.5 U ₀ (10 ⁻³)	27.3	15.3	20.5
Desviación tanδ @ 1.5 U ₀ (10 ⁻³)	1.4	0.5	0.6
Tendencia Tangente Delta	stable	stable	stable
Δtanδ = 1.5 U ₀ - 0.5 U ₀ (10e-3)	27.1	15.1	19.9
Pasos Tip up (1.5U ₀ - 1U ₀) - (1U ₀ - 0.5U ₀)	15.3	4.5	19.3
Recomendación	Es necesaria una acción	Es necesaria una acción	Se recomienda realizar más estudios

Conclusión de Prueba.

Tabla 3.17. Resumen de resultados obtenidos de este ensayo.

Ítem	DESCRIPCIÓN	Fases	RESULTADOS DE PRUEBAS		
			TDR	TanDelta Estado	Evaluación
1	TRAMO DE DERIVACIÓN ÁREA SUBTERRÁNEA DESDE POSTE HASTA CT 400 KVA ENI.	L1	24.4 m	Envejecido crítico	Es necesaria una acción
		L2	22 m	Envejecido crítico	Es necesaria una acción
		L3	25 m	Envejecido	Se recomienda realizar más estudios.

La prueba de mantenimiento realizada en la planta industrial ENI del Ecuador, se ejecutó correctamente aplicando Reflectometría y Prueba de Tangente Delta, teniendo como resultados la longitud real de la terna y el diagnostico de cables resumidos en la Tabla 3.17. Siguiendo el procedimiento de medición de TD y los criterios de evaluación de la norma IEEE 400.2 (Tabla 4), las líneas L1 y L2 fueron clasificados con envejecimiento crítico por el alto índice de arborescencias acuosas según la tendencia TD, recomendando al cliente, la acción inmediata de sustitución. Mientras que la línea L3, presenta envejecimiento moderado, pudiendo continuar en operación, pero siendo vulnerable a sobretensión, por lo que se recomendó la aplicación posterior de prueba de descargas parciales para ubicar los puntos de degradación y sugerir el rejuvenecimiento o sustitución del cable.

En esta prueba se aplicaron los procedimientos de la guía técnica para prueba de mantenimiento, siguiendo las pautas de seguridad durante la prueba. Se efectuaron correctamente los esquemas de conexión y la operación del sistema Centrix en el correspondiente modo de operación, permitiendo concretar y detallar este procedimiento.

3.1.4 APLICACIÓN DE PRUEBAS PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

3.1.4.1 Localización de Falla en alimentador 13A Iñaquito.

Tabla 3.18. Datos de entorno de prueba.

Alimentador:	Primario 13A Granda Centeno (Iñaquito)		
Ubicación:	Iñaquito, Av. Antonio Granda Centeno y Av. Brasil. (Sector Canal 4)		
Fecha de Ejecución:	2023-02-03	Voltaje de Servicio	6.3 kV
Conexión o tendido:	Cable soterrado conexión desde la Cámara de Transformación del Edificio IACA hasta la Cámara de Transformación del Edificio DIBUJA, con longitud estimada de 150 metros.		
Extremo inicial:	CT. Edif. Dibuja	Extremo final:	CT. Edif. IACA



Tabla 3.19. Datos y característica del objeto de prueba.

Tipo de cable:	Papel impregnado en aceite (PILC) tripolar.	Voltaje de diseño.	15 kV
Fabricante/Marca:	-	Año de instalación:	-
Descripción de cable:	Conductor de Cobre, aislamiento de papel impregnado de aceite, Calibre 1/0 AWG, cubierta PVC color negro.		
Descripción de terminación:	Botella terminal tripolar metálico para cables PILC en aplicación de interior.		
			

Conclusión de localización de falla.

Tabla 3.20. Resumen de resultados obtenidos de localización de falla.

Ítem	Primario	Resultado	Tipo de Falla	Descripción
1	13A Granda Centeno	Falla localizada	Falla intermitente de alta impedancia	Localizada a 129 m desde la CT del edificio Dibujo en la Av. Granda Centeno hacia la CT del Edificio IACA en la Av. Brasil. Fases con falla: L1, L2, L3 Voltajes de disrupción: 11.9 kV, 14.9 kV, 14.9 kV

La falla en el sistema de cables subterráneos del alimentador 13A Iñaquito previamente reportada como averiada, fue localizada exitosamente a 129 m aproximadamente en el tramo desde la CT de la Av. Granda Centeno hacia la CT del Edificio IACA en la Av. Brasil, utilizando el Laboratorio Móvil de Cables y su kit de localización Digiphone+2.

Para esta localización se realizaron los esquemas de conexión y pruebas correspondientes, siguiendo las pautas de seguridad. En un inicio, se encontró un impedimento para la medición de reflectometría, la medición TDR no fue clara, por lo que, se procedió el intento de medición por la armadura de plomo del cable PILC sin resultado.

Sin el reflectograma definido del cable, no se lograron identificar los cambios de impedancia, por lo que clasificó a la falla como no franca e intermitente en las tres fases del cable, deduciendo una potencial corrosión en su armadura o pantallas.

Por tanto, se continuó con la aplicación de prueba DC para determinar el voltaje de disrupción de falla en los tres conductores, alcanzando una tensión cercana al voltaje de prueba antes de la ruptura. Por ende, se confirmó el tipo de falla como de alta impedancia.

De los resultados obtenidos de prueba DC se conoció que las tres líneas son cargables, facilitando la selección y aplicación del método de prelocalización ARM.

Los resultados de aplicación de prueba de DC y método de prelocalización, son detallados a continuación.

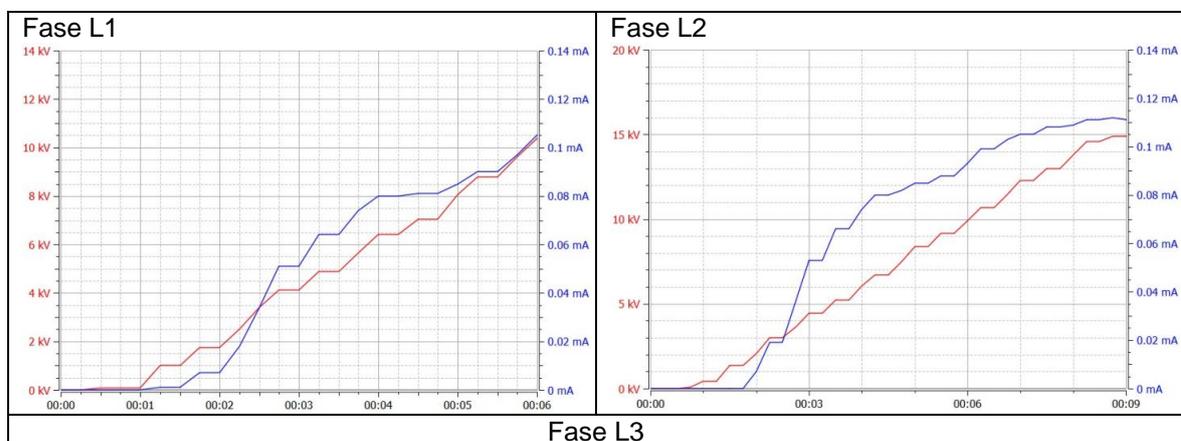
Resultados de Aplicación de Prueba DC.

Tabla 3.21. Datos eléctricos y ajustes aplicados.

Señal Emitida	Voltaje CC	Parámetro de ensayo (Norma)	IEEE std 1234-2019
Voltaje aplicado	15 kV	Duración de Prueba	01:00 min

Tabla 3.22. Resumen de resultados de aplicación de prueba CC.

Fase	Resultado	Tiempo de ensayo	Voltaje de disrupción.	Cargabilidad del cable.
L1	Interrupción por un defecto	00:06 min	11.9 kV	Cable cargable.
L2	Interrupción por un defecto	00:09 min	14.9 kV	Cable cargable.
L3	Interrupción por un defecto	00:17 min	14.9 kV	Cable cargable.



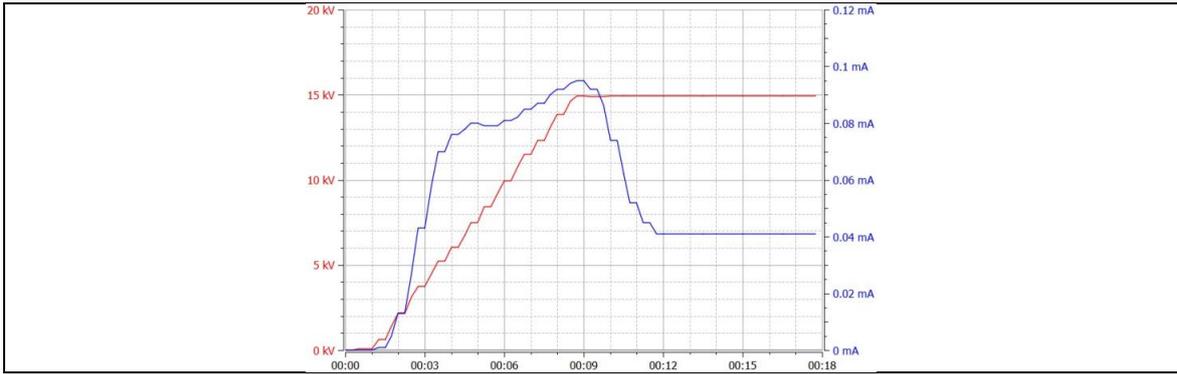


Figura 3.9. Trazas de voltaje y corriente resultantes de DC Test.

Comentario:

- La fase L1 tiene disrupción a 11.9 kV, el cable es capaz de soportar tensión, por tanto, presenta una falla de alta impedancia.
- Las fases L2 y L3 tienen disrupción a 14.9 kV, los cables son capaces de soportar tensión, por tanto, presentan falla de alta impedancia.

Resultados de Pre-localización de avería.

Tabla 3.23. Datos eléctricos y ajustes aplicados.

Método de Pre-localización	ARM	Guía de ensayo (Norma)	IEEE std 1234-2019
Señal Emitida	Pulsos de voltaje	Velocidad (V/2)	80 m/μs
Amplitud de pulso	50 V	Anchura de impulso	200 ns
Ajustes de Visualización			
Rango X (X_R)	400 km	Ganancia (Y_G)	-13 dB

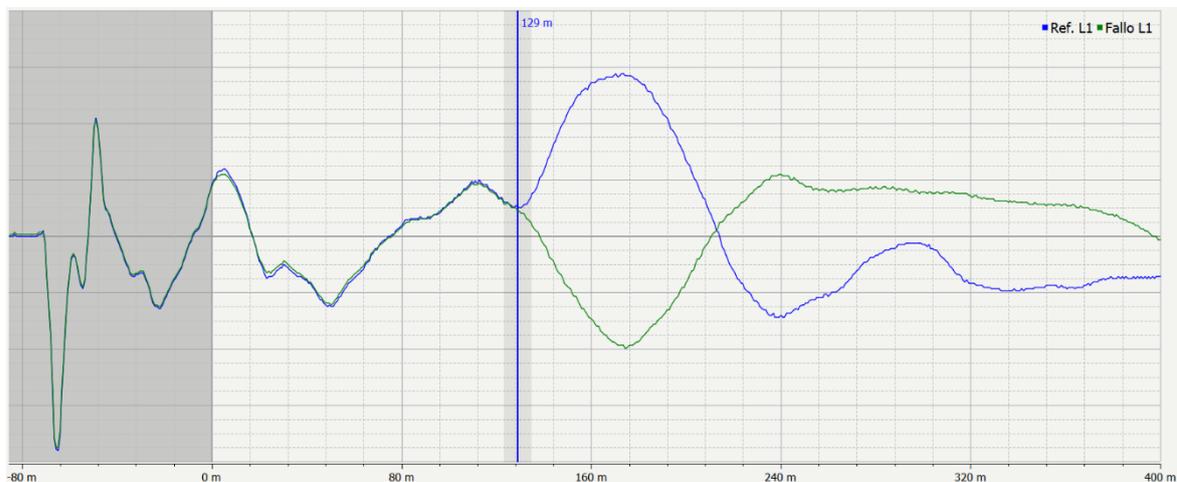


Figura 3.10. Traza Resultante por ARM.

Comentario:

El método de prelocalización ARM, indica que la falla se encuentra a 129 m a partir de la cámara de transformación del Edificio Dibuja ubicada en la Av. Granda Centeno hasta la cámara de transformación del Edificio IACA en la calle Brasil.

Resultados de trazado y localización de punto exacto.

Tabla 3.24. Datos de ajuste en el sistema Centrix.

Para trazado y seguimiento de cable.			
Modo de operación Centrix.	Generador de audiofrecuencia	Forma de onda	Seno
Frecuencia de sintonización.	8440 Hz	Potencia de emisión.	1 W.
Para Localización puntual.			
Modo de operación Centrix.	Ondas de Choque	Intervalos de pulso	6 segundos
Voltaje de ajuste.	6 kV	Energía de choque.	1.125 J

Tabla 3.25. Resultados de localización puntual con equipo Digiphone+2.

Modo de operación Seguimiento	Ferrolux	Modo de operación Localización	Digiphone
Distancia a la ubicación de falla.	129 metros	Profundidad de falla desde superficie.	0.8 metros

Antes de iniciar, se tomó como referencia la información del alimentador 13A disponible en la base de datos ArcGIS de la EEQ para conocer la trayectoria aproximada del cable.

En la localización de la falla, primero se utilizó el equipo Ferrolux y la función de generador de audiofrecuencia para trazar la ruta del cable desde la ubicación del Laboratorio Móvil de Cables, conectado en el extremo inicial del alimentador (CT Edificio Dibuja). El seguimiento del cable en superficie empezó orientando el equipo Ferrolux en el sentido del cable y continuó con los cambios de dirección vistos en la unidad de visualización hasta llegar a la distancia aproximada de falla, 129m, utilizando el odómetro. En este punto, se cambió al equipo Digiphone y se activó la función de onda choque para rastrear y llegar al punto donde se produce la ruptura y estallido en la falla, ubicándose sobre falla en superficie, guiado con el cambio del icono de dirección en la pantalla de la unidad de visualización.

Finalmente, se marcó dicho punto con la simbología establecida por la EEQ  y se notificó la localización de falla, para que el personal de operación y mantenimiento de redes subterráneos excave y repare la falla.

Como recomendación dada por el ingeniero de pruebas, es necesario aplicar una medición TDR antes de realizar el empalme para verificar que no existan más fallas en los dos tramos abiertos. Posterior a la elaboración del empalme, también es sugerido pruebas de diagnóstico para confirmar el adecuado estado del cable antes de restituir el servicio.

<p>Ubicación puntal usando Digiphone.</p> 	<p>Marcación de falla en superficie.</p> 												
<p>Alimentador desde ArcGIS.</p>  <table border="1" data-bbox="316 1361 726 1433"> <thead> <tr> <th colspan="4">eq - Tramo MT Subterráneo (Entidades: 21573, Seleccionado: 1)</th> </tr> <tr> <th>Alimentador</th> <th>SUBTIPO</th> <th>Fase Conexion</th> <th>VOLTAJE Codigo Conductor Fase</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Granda Centeno 13A</td> <td>Tramo MTS Trifasico</td> <td>ABC</td> <td>6.3 kV 15kV.Cu.4</td> </tr> </tbody> </table>	eq - Tramo MT Subterráneo (Entidades: 21573, Seleccionado: 1)				Alimentador	SUBTIPO	Fase Conexion	VOLTAJE Codigo Conductor Fase	Granda Centeno 13A	Tramo MTS Trifasico	ABC	6.3 kV 15kV.Cu.4	<p>Indicador de falla localizada.</p> 
eq - Tramo MT Subterráneo (Entidades: 21573, Seleccionado: 1)													
Alimentador	SUBTIPO	Fase Conexion	VOLTAJE Codigo Conductor Fase										
Granda Centeno 13A	Tramo MTS Trifasico	ABC	6.3 kV 15kV.Cu.4										

Figura 3.11. Localización e identificación puntal de falla.

3.2 CONCLUSIONES.

- Gracias al acompañamiento, puesta en práctica y registro de todas las acciones que involucran la ejecución de pruebas de campo en cables de media tensión, se logró elaborar la Guía Técnica de pruebas de diagnóstico y localización de fallas en cables subterráneos utilizando el Laboratorio Móvil de Cables Centrix 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito S.A.
- Esta Guía Técnica recopila todos los procedimientos que implican la correcta aplicación de pruebas de diagnóstico para instalación, aceptación y mantenimiento, así como la localización de fallas de alta impedancia. Considera la seguridad al trabajar con AT, las normativas internacionales que dictan los métodos de aplicación y criterios de aceptación o evaluación de pruebas en cables aislados, así como también la utilización de los equipos complementarios y el manejo de los modos de operación del sistema Centrix del Laboratorio Móvil de Cables.
- En la descripción del Laboratorio Móvil, sus funcionalidades y equipos complementarios, se conocieron las características, capacidades y manejo del sistema Centrix a través de sus interfaces de usuario y modos de operación. Además, en la descripción de las pruebas de diagnósticos y localización de fallas en cables, se exponen los parámetros normativos que sustentan los procedimientos aplicados por el personal de la EEQ, los criterios de aceptación y evaluación en función de todos los posibles resultados e interpretación de estos.
- Para la elaboración de la Guía técnica se planteó una estructura con los componentes y procedimientos necesarios para la aplicación de pruebas en campo de cables subterráneos. De tal manera que, el personal actual y futuro de la EEQ pueda operar el Laboratorio Móvil de Cables y ejecutar correctamente las pruebas descritas, disponiendo fácilmente de los esquemas de conexión y parámetros normativos referentes a cada prueba.
- Al desarrollar el presente proyecto se comprendió el propósito de la adquisición del Laboratorio Móvil de Cables por parte de la EEQ. Este implemento permite la aplicación segura de pruebas en campo a sistemas de cables subterráneos en diferentes instancias. Además, de una atención eficaz a sus usuarios en trabajos dentro su área de concesión como afuera de esta, con clientes externos o en apoyo a las demás empresas de distribución en situaciones emergentes.

- La aplicación de pruebas de diagnóstico para instalación y aceptación brinda a la EEQ la certeza de que los sistemas de cables instalados en nuevos proyectos de soterramiento están en adecuado estado para su aprobación previa a la puesta en servicio en la red de distribución. Además, estas pruebas permiten identificar oportunamente defectos que pueden presentarse en la instalación y adición de accesorios.
- La aplicación de la prueba de diagnóstico de tangente delta en mantenimiento, permite a la EEQ evaluar el envejecimiento de los sistemas de cables subterráneos presentes en sus redes eléctricas. Los resultados de esta prueba proporcionan una alerta temprana para la toma de medidas de mantenimiento preventivo, como acciones correctivas o la necesidad de sustituir el sistema de cables por uno nuevo, evitando de esta manera eventos de fallas que afecten a la continuidad de su servicio eléctrico.
- La EEQ, al disponer del Laboratorio Móvil del Cables, ha incrementado su eficacia en la atención de eventos de fallas, desplazando a su personal y localizando fallas de manera rápida y oportuna. Cuentan con el equipamiento más preciso de la región y cumplen por la norma IEEE 1234 para identificar las fases afectadas y clasificar fallas según su tipo. De modo que, implementan el método de prelocalización que mejor se adecúa a la dificultad y utilizan del Kit de localización Digiphone+2 para ubicar el punto exacto de la falla y su profundidad desde la superficie.
- Finalmente, la aplicación de los procedimientos de la guía técnica en pruebas de campo reales proporcionó la oportuna retroalimentación y aprendizaje sobre ellas. Siendo ejecutadas correcta y exitosamente, concluyendo con la interpretación correspondiente de resultados y evaluando el estado del sistema de cables.

3.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda explorar otros métodos y tecnologías alternativas para la medición de descargas parciales, que puedan adaptarse mejor a cables de alta tensión y sistemas aislados en GIS. Entre las alternativas se pueden encontrar la medición de DP con ondas DAC y coseno rectangular, así como métodos no convencionales en sistemas en línea con detección de DP mediante ultrasonido.
- Para la localización de fallas, se recomienda ampliar el estudio de métodos adicionales de pre-localización y acondicionamiento de fallas, ya que el sistema Centrix cuenta con modos de operación que actualmente no son utilizados y pueden ser aprovechados para condiciones especiales. Algunas de esas funcionalidades son el quemado, IFL AT, preparación ARM, localización de falla en cubierta y localización exacta ICE.
- Para mejorar la identificación del tipo de falla, es necesario conocer que la configuración del sistema Centrix adquirido carece de la medición de resistencia de aislamiento. Por lo que, se sugiere complementar esta función mediante la incorporación de un equipo adicional, un Megóhmetro, para facilitar la clasificación de la falla en los cables definiendo su valor en ohmios.
- Para pruebas de descargas parciales se recomienda revisar la última versión de la norma IEEE 400.3-2023 para conocer los parámetros de prueba e interpretación de mediciones de DP actualizados.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] EEQ S.A., “NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - PARTE A - GUÍA PARA DISEÑO DE REDES PARA DISTRIBUCIÓN,” DI-EP-P001-D001, 2021.
- [2] MEER, “SECCIÓN 1 - MARCO TEÓRICO PARA LA HOMOLOGACIÓN DE LAS UNIDADES DE PROPIEDAD Y UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS,” 1, 2018.
- [3] MEER, “SECCIÓN 2: MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS.,” 2, 2022.
- [4] M. G. Chacon Campoverde, “Análisis de los aspectos técnicos de aplicación y ensayos previos a la puesta en servicio de instalaciones eléctricas subterráneas de la Empresa Eléctrica Azogues C.A.,” Universidad de Cuenca, 2022.
- [5] E. S. Thomas and B. Dorsett, *Underground Distribution System Design Guide*. Virginia: CRN - National Rural Electric Cooperative Association, 2008.
- [6] EEQ S.A., “NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN – PARTE B UNIDADES DE PROPIEDAD Y DE CONSTRUCCIÓN,” DI-EP-P001-D002, 2015.
- [7] IEEE, “IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above,” *IEEE Std 400-2012 (Revision IEEE Std 400-2001)*, pp. 1–54, 2012, doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6213052.
- [8] TopCable, “Aplicaciones y usos de los cables de potencia,” *Formación técnica Latam*, Nov. 05, 2019. <https://www.topcable.com/sites/es-lat/cables-de-potencia-aplicaciones/> (accessed Jan. 17, 2023).
- [9] M. Rendón and G. López, “Manual para diagnóstico de fallas en redes de media tensión según equipo CENTRIX SEBAKMT,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2008.
- [10] J. Trashorras Montecelos, *UF 0995 Montaje de redes subterráneas de alta tensión*. Pamploma: MARCOMBO, 2016.
- [11] CENTELSA, “Boletín Técnico - Cables de Media Tensión.,” *Cables y Tecnología*, Apr. 2018. <https://centelsa.com/boletines/colombia/boletin-cables-para-media-tension.pdf> (accessed Jan. 17, 2023).
- [12] IEEE, “IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very

- Low Frequency (VLF)(less than 1 Hz),” *IEEE Std 400.2TM-2013*, no. May, pp. 1–111, 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6517854.
- [13] J. Ramírez Vásquez, *Manual autodidáctico de líneas subterráneas*,. Barcelona: CEAC, 1986.
- [14] A. Herculano Martínez and C. Maza Sánchez, “Manual para la instalación de cables de energía de media tensión.,” Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, Mexico, 2012.
- [15] MeggerLATAM, “Pruebas, Diagnósticos y Localización de Fallas en Cables de Media Tensión.,” *Capacitación Megger para la Empresa Eléctrica Quito S.A.* Quito, Jun. 13, 2022.
- [16] INDUCOR, “SESION 4 - Teoria y Practicas Deteccion de Fallas en Cables Subterraneos,” Oct. 2010, Accessed: Apr. 24, 2023. [Online]. Available: https://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/localizacion_de_fallas_parte1.pdf.
- [17] IEEE, “IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems,” *IEEE Std 1234TM-2019*, 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8748246.
- [18] S. Peñafiel, “MANUAL DE USUARIO: EQUIPOS EMPLEADOS EN LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES SOTERRADOS.” Quito, 2020.
- [19] J. Trashorras Montecelos, *UF 0996 Mantenimiento de redes eléctricas subterráneas de alta tensión*. Pamplona: MARCOMBO, 2017.
- [20] IEEE, “IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment.,” *IEEE Std 400.3TM-2006*, 2006, doi: 10.1109/IEEESTD.2007.305045.
- [21] IEC, “Electric cables – Tests on extruded oversheaths with a special protective function.,” *IEC 60229-2007*, p. 13, 2007.
- [22] FECIME-AC, “Pruebas VLF y Descargas Parciales a Cables de Potencia. Fonkel mexicana. Circulo de Estudios CIMEQ,” Jun. 26, 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=NnIGTZI9JHI&t=1802s> (accessed May 25, 2023).
- [23] EEQ, “Más de USD 700 mil invierte la EEQ en Laboratorios Móviles para mayor confiabilidad del Sistema de Distribución Eléctrica,” *Noticias*, Oct. 02, 2020. [http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-](http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/)

/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/mas-de-usd-700-mil-invierte-la-eeq-en-laboratorios-moviles-para-mayor-confiabilidad-del-sistema-de-distribucion-electrica/pop_up;jsessionid=D2133E06A08F83157CE (accessed Jan. 03, 2023).

- [24] Megger, *MANUAL DE USUARIO Centrix 1: Sistema para furgón de pruebas con control centralizado.*, C 05/2020. Dallas: MEGGER CSA, 2020.
- [25] Megger, *MANUAL DE USUARIO PDS 62-SIN: Sistema de Localización por Descargas Parciales.*, D 09/2022. Dallas: MEGGER CSA, 2022.
- [26] Megger, *Calibrator CAL1*, C 04/2020. Dall: MEGGER CSA, 2020.
- [27] Megger, *MANUAL DE USUARIO. digiPHONE + 2 NTRX.*, C 12/2021. Dallas: MEGGER CSA, 2021.
- [28] EEQ S.A., “INSTRUCTIVO FUNDAMENTAL PARA EVITAR ACCIDENTES CAUSADOS POR LA ELECTRICIDAD: REGLAS DE ORO DEL ELECTRICISTA PROFESIONAL.” *GEC-SI-P001-I002*, Quito, 2021.
- [29] MeggerLATAM, “Experiencias en las pruebas de cables con Descargas Parciales,” *WEBINARS en español*, Apr. 28, 2017.
https://www.youtube.com/watch?v=T6_yAMIsUNY&t=1279s (accessed Jun. 12, 2023).

5 ANEXOS

ANEXO I: GUÍA TÉCNICA DE PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES DE POTENCIA SUBTERRÁNEOS UTILIZANDO EL LABORATORIO MÓVIL DE CABLES CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.

ANEXO II: ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE CABLES PARA PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

ANEXO III: GRÁFICOS, TABLAS Y PARÁMETROS REFERENCIALES.

ANEXO IV: EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS Y OBJETOS DE MENÚS DE FUNCIONES BÁSICAS.

ANEXO I

GUÍA TÉCNICA DE PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CABLES DE POTENCIA SUBTERRÁNEOS UTILIZANDO EL LABORATORIO MÓVIL DE CABLES CENTRIX 2.0 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.

1. SEGURIDAD PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS.

1.1 OBJETIVO.

Resguardar la integridad del personal operador, de peatones y del equipamiento a usar, antes, durante y posterior a la ejecución de pruebas en campo con alto voltaje.

1.2 EQUIPAMIENTO.

1. Equipo de Protección Personal: uniforme de trabajo con cintas reflectantes, casco, gafas, botas y guantes dieléctricos.
2. Radios de comunicación.
3. Equipo para desenergización: pértiga a tierra y guantes aislantes de 40 kV.
4. Cortocircuitos para conexión de puesta a tierra.

1.3 PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS.

1. Contar con la Orden de Trabajo y la consignación del área de trabajo.
2. Seguir las siete reglas de oro del electricista profesional de la EEQ y las cinco reglas de seguridad del fabricante Megger para el Laboratorio Móvil de Cables.
3. Usar el equipo de protección personal (EPP), así como los radios de comunicación cargados.
4. Obedecer las reglas y procedimientos de seguridad establecidos por la compañía donde se ejecutar pruebas de ser el caso.

5. Delimitar el área de trabajo, despejando ambos extremos del cable y protegiéndolos con conos y cintas de peligro.
6. Conectar los elementos del equipo de pruebas y pantallas de los cables de ensayo al sistema de puesta tierra del lugar, teniendo el mismo potencial entre estos.
7. Contar con el equipo para desenergización conectado a tierra del lugar.
8. Disponer los cables sobre un pedestal a una distancia segura entre conductores.
9. Realizar las conexiones correspondientes a cada prueba y la desenergización de puntas de cables posterior a cada prueba.
10. Mantener la comunicación en todo momento entre los compañeros que efectúa las pruebas en el extremo inicial y los compañeros que realiza las conexiones en el extremo final de la terna.
11. Toda maniobra necesaria será coordinada por el ingeniero eléctrico a cargo, supervisor, tecnólogo eléctrico y el personal autorizado.
12. No proceder a la inyección de voltaje de prueba sin previa confirmación de conexión y distanciamiento del personal en ambos extremos.

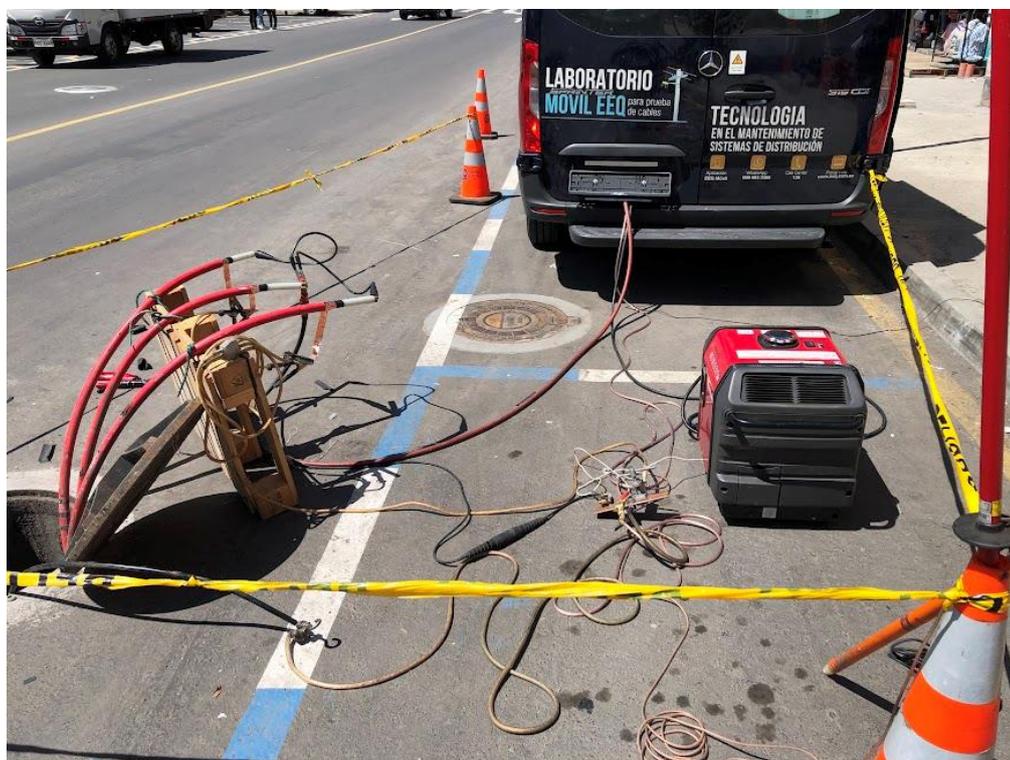


Figura 1. Delimitación del área de trabajo con implementos de seguridad.

2. PUESTA EN SERVICIO DEL LABORATORIO MÓVIL DE CABLES.

2.1 OBJETIVO

Realizar la correcta conexión de los componentes de prueba del Laboratorio Móvil de Cables, su correcto encendido y selección de modos de operación del sistema Centrix.

2.2 EQUIPAMIENTO

1. Componentes de conexión del laboratorio móvil de cables.
2. Cortocircuitos para conexión de puesta a tierra.
3. Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

2.3 PROCEDIMIENTO DE CONEXIONADO DE LA VAN DE PRUEBAS.

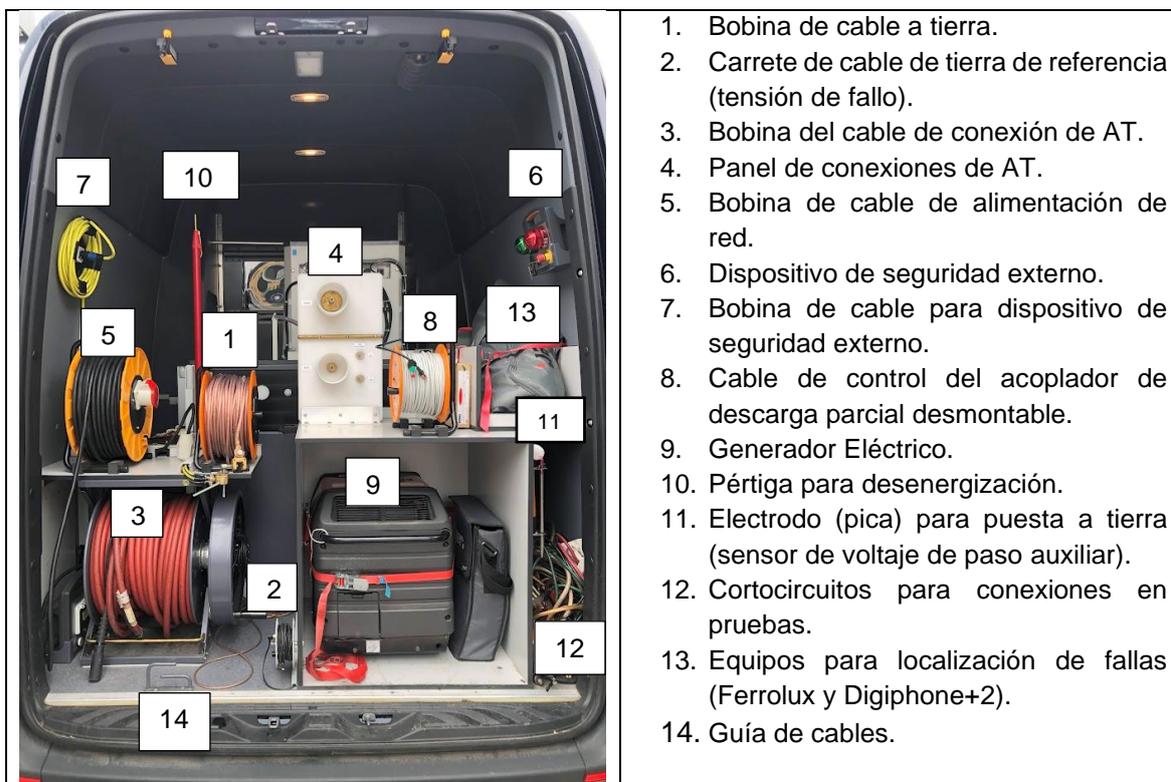


Figura 2. Componentes del sistema de conexión del Laboratorio Móvil de cables.

En función de la disposición de los componentes del sistema, la conexión de estos consiste en soltar los seguros de cada bobina, extender cada cable a la distancia

necesaria y aplicar el freno de cada bobina, el orden se indica en la siguiente figura. Mientras que, la desconexión de la Van se realiza en el orden inverso.

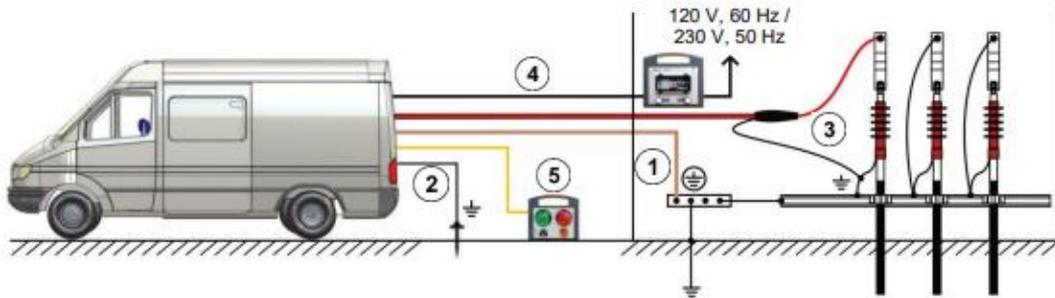


Figura 3. Diagrama y orden de conexión de la Van de Cables.

1. Conexión del cable de tierra.
 - 1.1. Extender el cable de tierra de la Van y conectarlo a la malla de tierra de la instalación donde se ejecutará la prueba.
 - 1.2. Sujetar el contacto del cable de tierra con la mordaza de conexión que está junto a la bobina. El contacto del cable se encuentra cada cinco metros.
2. Conexión del cable de tierra de referencia o tensión de fallo.
 - 2.1. Clavar la pica en una superficie de tierra cercana a la Van de pruebas.
 - 2.2. Conectar el cable de tensión de fallo a la pica.
3. Conexión al objeto de ensayo.
 - 3.1. Conectar el cable de AT al objeto de ensayo utilizando las pinzas de conexión.
 - 3.2. Conectar el extremo del lado del sistema al panel de conexiones de AT según la prueba a ejecutar y sus modos de operación.

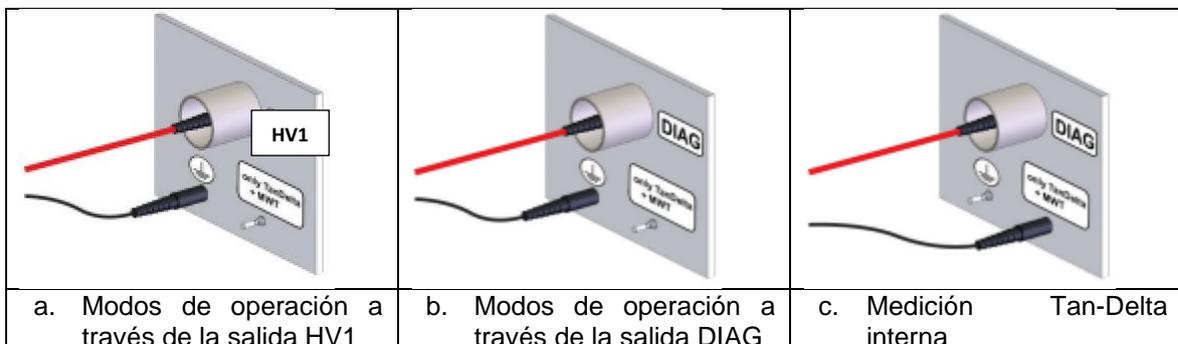


Figura 4. Esquemas de conexión en el panel de AT.

4. Conexión a la alimentación de red eléctrica o al generador eléctrico.

- 4.1. Conectar el cable de alimentación a una toma de conexión de red con el terminal de 120V.
- 4.2. Conectar el otro extremo del lado del sistema al conector hembra de la bobina.

En el caso de trabajar en un lugar sin conexión a red disponible, se procede a desmontar y encender el generador eléctrico.

- 4.3. Conectar el terminal de tierra del generador al contacto más cercano del cable de la conexión a tierra (1)
 - 4.4. Conectar el cable de alimentación a la toma de 120V del generador eléctrico.
5. Conexión del dispositivo de seguridad externo (Opcional).

NOTA 1: La conexión a la alimentación de red eléctrica (4) es la última en realizarse. La desconexión se realiza en orden inverso.

NOTA 2: Todos los conductores de las fases que NO están siendo probadas deberán estar sólidamente conectadas a tierra durante la prueba.

DATO: El Laboratorio Móvil de Cables posee un sistema de seguridad por voltaje de paso, al detectar una diferencia de potencial de paso mayor a 25 V, el sistema desconecta todos los equipos y suspende la prueba.

Una vez realizadas las conexiones de la Van y el objeto de ensayo, los cables de conexión deben estar colocadas hacia afuera a través de la guía de cables (Fig. 2 elemento 14) para cerrar las puertas traseras de la Van y dejarla en el estado listo para el encendido.

2.4 ENCENDIDO DE SISTEMA DE PRUEBAS CENTRIX.

Tras el estado listo para el encendido de la Van, se procede a la cabina de control en donde se siguen los siguientes pasos para encender del sistema Centrix.

1. Insertar la llave de seguridad y girar el interruptor de enclavamiento de AT.
2. Pulsar el botón de encendido/apagado

A partir de este momento se enciende el sistema Centrix 2.0 mostrando su pantalla de inicio en el monitor industrial.



Figura 5. Panel de elementos de control e indicadores.

3. En caso de emergencia se debe pulsar el interruptor de parada de emergencia.

La alta tensión se desactiva inmediatamente y se descarga el objeto de ensayo.

NOTA: Se puede extraer la llave en la posición de bloqueo para proteger el sistema contra el uso no autorizado con alta tensión.

2.4.1 ENCENDIDO DEL GENERADOR ELÉCTRICO.

1. Tirar la perilla de choque del generador, para cerrar la válvula carburador.

2. Girar la llave de interruptor en sentido de arranque (START) del generador.

La llave retorna a la posición ON una vez que el generador haya arrancado.

3. Presionar la perilla de choque del generador, para abrir la válvula carburador.

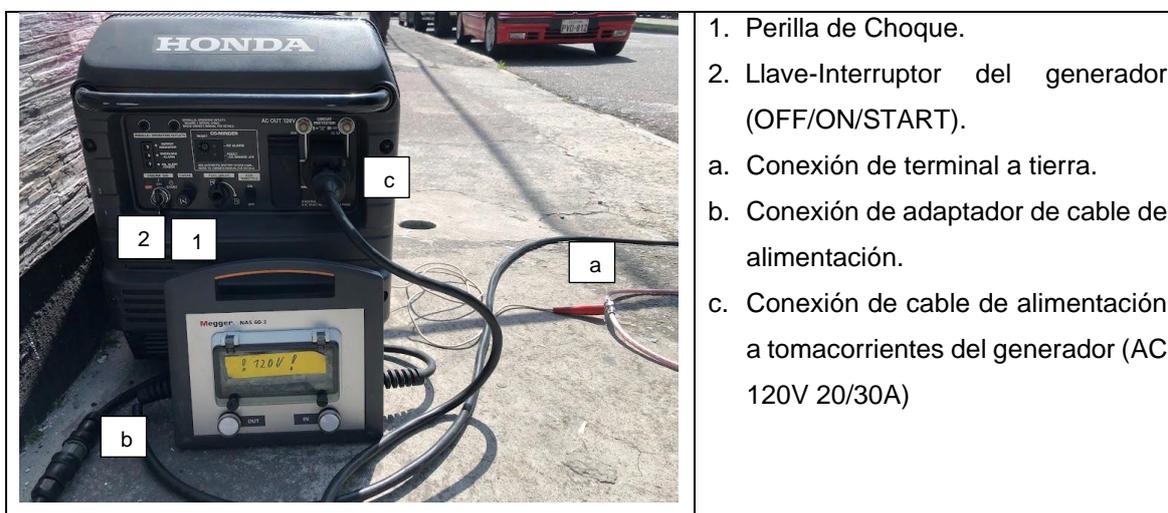


Figura 6. Generador Eléctrico, elementos de encendido y conexión.

4. Para el apagado, girar la llave en sentido contrario (OFF) del interruptor.

2.5 SELECCIÓN DE MODOS DE OPERACIÓN CENTRIX.

2.5.1 INTERFAZ DE USUARIO Y NAVEGACIÓN POR EL MENÚ DE SELECCIÓN.

La navegación por el menú selección y las subsecciones del sistema Centrix se realiza utilizando el botón giratorio principalmente, adicionalmente se puede interactuar de forma táctil en pantalla o mediante un ratón.

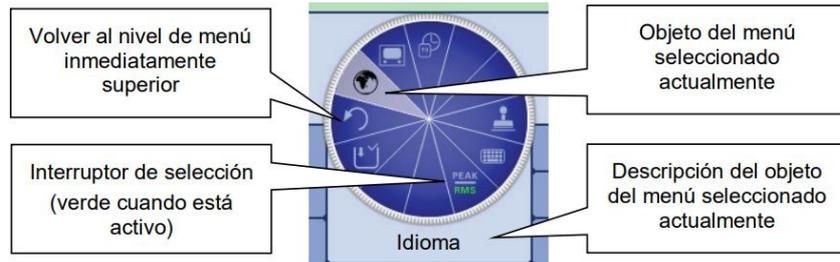
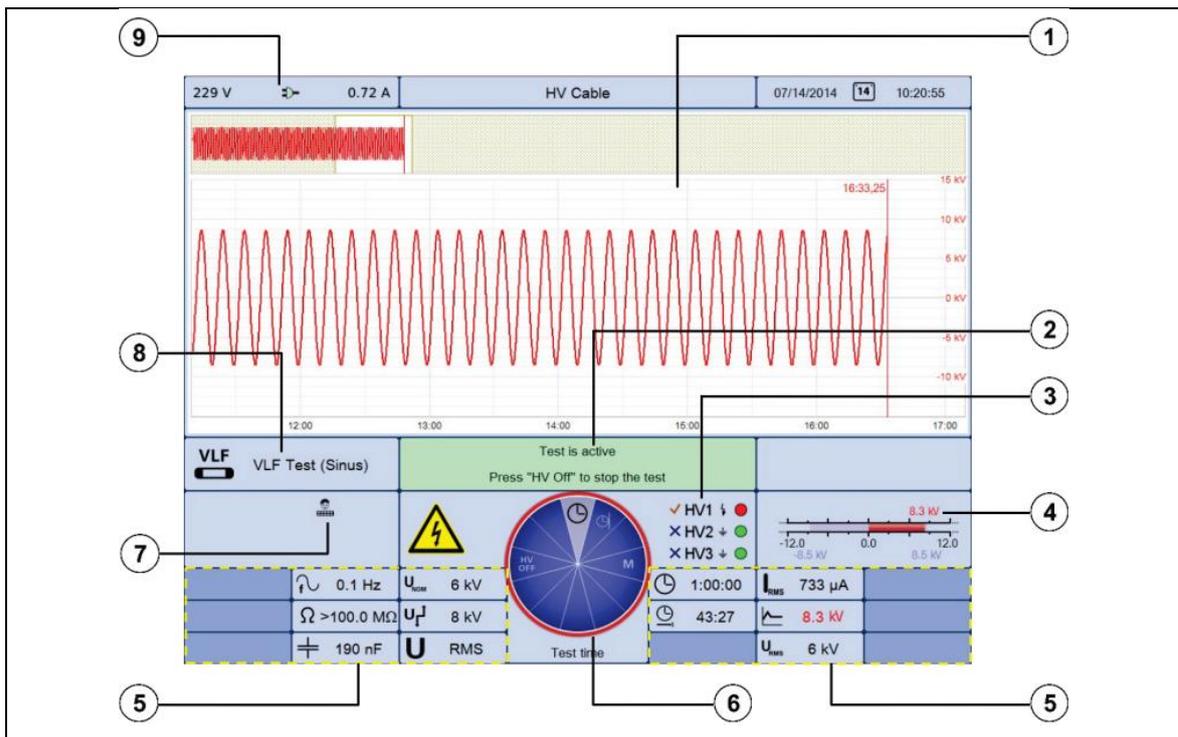


Figura 7. Menú de selección circular.



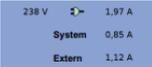
Segmento	Descripción	Segmento	Descripción
①	Trazas de la medición actual o de mediciones cargadas. La pantalla se divide en un área de visualización general (arriba) y una sección de ampliación (abajo).	⑤	Los elementos de visualización del área inferior de la pantalla pueden incluir la información siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de medición ajustados • Valores de medición actuales que se actualizan continuamente conforme avanza la medición • Leyenda de las trazas que se muestran actualmente en la pantalla (vea página 56). <p>Información (como, por ejemplo, valores de medición) relativa únicamente a una traza en particular, con el color correspondiente.</p>
②	Mensajes de estado actuales e información sobre el paso siguiente necesario para la secuencia de prueba.	⑥	Menú de selección (vea página 47)
③	Información sobre el estado de las salidas de alta tensión. Los símbolos muestran los siguientes estados: <ul style="list-style-type: none"> ✘ La salida de AT no se ha activado para la medición inminente / en curso. ✔ La salida de AT se ha activado para la medición inminente / en curso. ● La generación de alta tensión está desactivada y la salida de AT está descargada. ● Se ha cancelado la descarga de la resistencia. ¡La alta tensión está activa! 	⑦	Estado actual del sistema <ul style="list-style-type: none"> — El sistema se encuentra en el modo de espera. ⤴ Se está realizando una medición de reflexión. ⊗ La medición se ha detenido y las trazas se han inmovilizado. ⊗ El sistema está listo para la medición y espera un evento de disparo. 📶 Se ha generado una conexión de datos móviles a través del router 4G / GPS opcional. 📶 A través del router opcional 4G / GPS podría establecerse una conexión a una red móvil, pero no una de datos móviles. Esto podría deberse a que el punto de acceso (APN) aún no es o no se ha configurado correctamente (vea página 60). 📶 A través del router 4G / GPS no se ha establecido hasta ahora ninguna conexión a una red móvil. Si ese fuera el caso también algunos minutos después del inicio del sistema, entonces o bien la fuerza del campo GSM en la posición actual no es suficiente, no se ha instalado una tarjeta SIM en el router (vea página 152) o la conexión de datos móviles está desactivada (vea página 60). 📶 El punto de acceso de WiFi del router 4G / GPS opcional está activo (vea página 60). 📶 El punto de acceso de WiFi del router 4G / GPS opcional no está activo (vea página 60). 👤 El modo de control remoto está activo (vea página 63). 👤 El usuario del sistema ha iniciado correctamente una sesión en el menú de administración (vea página 69) y se ha identificado como administrador.
④	Barras indicadoras del voltaje Barra azul: Valor nominal Barra roja: Valor real	⑧	Modo de operación actual
Segmento	Descripción		
⑨	Tipo y parámetro del suministro de corriente <ul style="list-style-type: none"> 🔌 Operación con red 🔌 Operación con generador <p>Al pulsar/hacer clic en el segmento del interfaz se abre el indicador de corriente. En él se desglosa la necesidad de corriente actual en función del consumo interno del sistema y de los consumidores externos (p. ej. aire acondicionado, calefacción, enchufes):</p>  <p>En caso de sobrecarga aparece el indicador de forma autónoma y se presentan los valores de la corriente en rojo. En este caso deberían desconectarse en primer lugar los consumidores externos.</p>		

Figura 8. Interfaz de usuario Centrix en PC industrial.

2.5.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LOS CONTROLES.

El control del sistema Centrix se realiza a través de la unidad central del vehículo, el cual consta de una PC industrial y el panel de mando como se indica en la figura 9 mediante las acciones de las tablas 1 y 2.

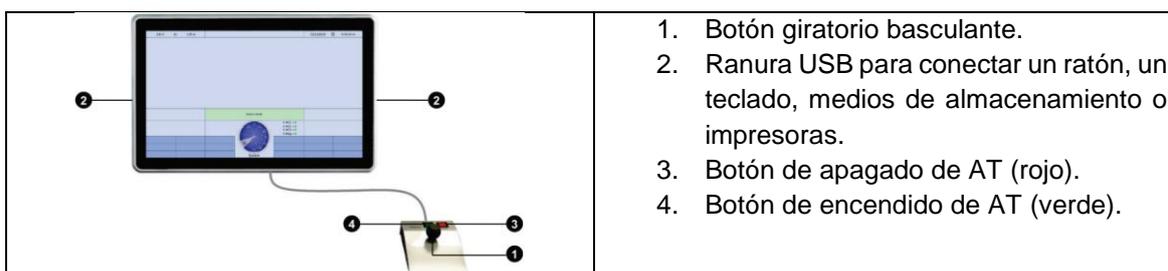
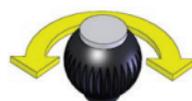


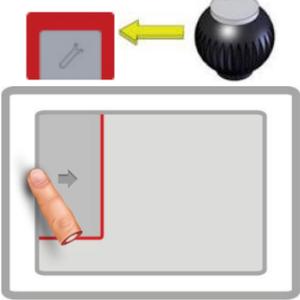
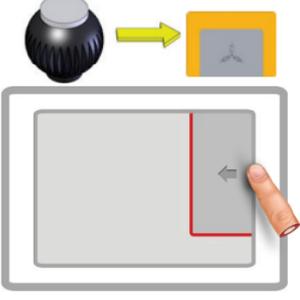
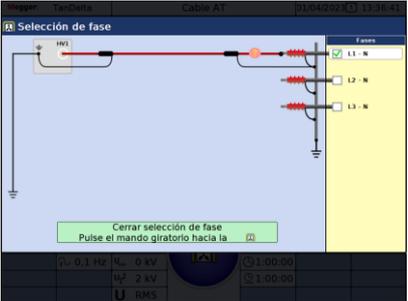
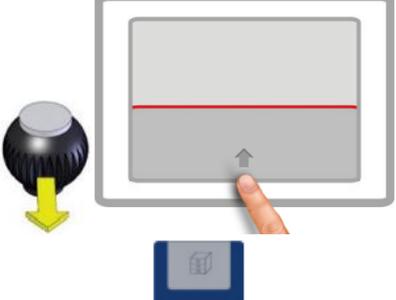
Figura 9. Unidad central de control.

Tabla 1. Acciones del botón giratorio para navegación en el menú de selección:

Acción.	Representación.	Función.
Giro de botón.		<ul style="list-style-type: none"> • Selección del objeto deseado del menú. • Aumento o reducción del valor de un parámetro variable. • Selección de una opción de una lista de opciones.

Pulsación del botón.		<ul style="list-style-type: none"> • Activación del objeto seleccionado del menú. • Confirmación de la opción o configuración realizada.
----------------------	---	--

Tabla 2. Acciones para acceder a los cuatro de menús laterales.

Acción.	Representación botón y táctil.	Función.
Inclinación izquierda.		<p>Selección rápida de modos de operación.</p> 
Inclinación derecha.		<p>Selección de fase.</p> 
Inclinación arriba.		<p>Ventana informativa.</p> 
Inclinación abajo.		<p>Historico de registros</p> 

2.5.3 MODOS DE OPERACIÓN DISPONIBLES.

MENÚ DE SELECCIÓN	MODO DE OPERACIÓN	APLICACIÓN
MeggerBook Cable. 	Software de registro MeggerBook Cable	Creación, visualización y exportación de mediciones e informes.
Sistema 	Menú de datos Configuración básica Menú de administración Menú de información y servicios	Configuraciones e información del sistema.
Prueba (Test) 	Prueba con CC  Prueba con CC (seno) Prueba VLF  Prueba de cubierta  Prueba con AUX.	Pruebas de diagnóstico para instalación, aceptación y mantenimiento.
Modos TDR. 	Teleflex AT.  IFL AT. 	Pruebas de Diagnóstico. Pruebas para localización de fallas.
Pre-localización 	ARM.  Decay.  ICE.  Preparación ARM 	Pruebas de localización de fallas.
Localización punto exacto. 	Onda de choque.  Generador de audiofrecuencia.  Localización de falla en cubierta.  Localización Exacta ICE 	Pruebas de localización de fallas.
Diagnóstico. 	Tangente delta  MWT Tangente Delta  Descargas Parciales 	Pruebas de Diagnóstico para aceptación y mantenimiento.
Quemado 	Quemado 	Pruebas de localización de fallas.

Los objetos de menú básicas y estándar se pueden observar en el ANEXO IV.

3. PREPARACIÓN DE CABLES PARA PRUEBAS DE CAMPO.

3.1 OBJETIVO.

Preparar las puntas de los cables de potencia para la adecuada ejecución de pruebas, diagnóstico y localización de fallas, como también identificar sus características.

3.2 EQUIPAMIENTO.

1. Herramientas de corte y alicates.
2. Cintas aislantes.
3. Guantes y paños para limpieza.
4. Borneras acopladoras para conectores de barra (en pruebas de aceptación).

3.3 IDENTIFICACIÓN DE CABLES Y FASES A PROBAR.

Identificar y registrar las características de los cables de potencia que se encuentran marcadas por cada metro de cable:

1. Nombre del fabricante o nombre comercial.
2. Calibre del conductor.
3. Material del aislante y conductor.
4. Nivel de aislamiento.
5. Voltaje nominal de diseño.
6. Año de fabricación.

Sus fases son identificadas por marcas de cinta envueltas según la fase o netamente marcadas con nomenclatura L1 (I), L2 (II) y L3 (III)



Figura 10. Cables de potencia de 25 kV con indicadores de fase.

3.4 PREPARACIÓN DE PUNTAS DE CABLES AL AIRE.

Las puntas de los cables normalmente son preparadas por el personal del cliente antes de realizar las pruebas, en caso de no estar preparadas, se siguen los siguientes pasos:

1. Limpiar las cubiertas de los cables en una longitud ($L \approx 300 \text{ mm}$).
2. Usando herramientas de corte, retirar la cubierta externa.
3. Retirar la envoltura de la pantalla metálica en el caso de existir.
4. Doblar hacia atrás la pantalla de hilos o cinta de cobre.
5. Retirar la capa semiconductor externa (38 mm) y exponer el aislamiento (vela).
6. Retirar el aislamiento en la punta y descubrir el conductor (40 mm).
7. Disponer los cables sobre un soporte pedestal a distancia de seguridad entre ellos.

NOTA: Todos los cortes se realizan a las medidas especificadas según el voltaje de diseño del cable, evitando daños en aislamiento y conductor.

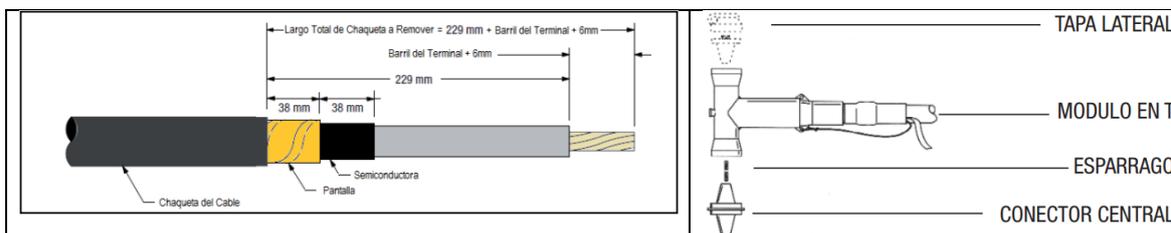


Figura 11. a. Cortes de puntas de cables al aire y b. conexión de bornera en conectores.

3.5 PREPARACIÓN DE PUNTAS EN CABLES TERMINADOS.

En cables con terminaciones listas, se considera la accesibilidad del extremo inicial y final de la terna a probar, sea que se encuentren puntas terminales para una transición área subterráneo como conectores tipo codo o T para conexión de barra en celdas de seccionamiento. Su preparación consiste en:

1. Separar las puntas terminales entre ellas a una distancia de seguridad, conectar sus pantallas a tierra y aislar el área de conexión.
2. En el caso de conectores tipo T, se debe acoplar las borneras de unión para contar con un contacto seguro para conexión de pruebas, mientras que, del otro extremo, usar un tapón de cierre para evitar efecto corona o descargas con elementos cercanos. Véase Figura 11. b.

4. PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA INSTALACIÓN.

4.1 OBJETIVO.

Realizar las pruebas de diagnóstico VLF y de chaqueta a los cables soterrados nuevos de medio voltaje para identificar potenciales daños en aislamiento durante la instalación, de manera que se garantice la continuidad de servicio y confiabilidad del sistema previo a la recepción de obra.

4.2 EQUIPAMIENTO.

Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

Cables Test System Megger - Modos de operación: Teleflex AT, Prueba de cubierta, Prueba VLF y MeggerBook Cable.

Cortocircuitos para esquemas de conexión.

Pértiga para des-energización.

4.3 NORMATIVA REFERENTE.

Norma IEEE std 400.2-2013, sección 5.1 y Tabla 3.

Norma IEC.60229 edición 3.0 del 2007, sección 5.

4.4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA PARA INSTALACIÓN.

4.4.1 PREPARACIÓN DE CABLES PARA PRUEBAS.

1. Preparar las puntas desnudas de los cables a probar.
2. Identificar las fases y registrar las características de los cables a probar.
3. Crear el archivo de cable nuevo en MeggerBook Cable.

4.4.2 APLICACIÓN DE REFLECTOMETRÍA.

1. Realizar las conexiones de puntas en el extremo inicial y final en función del esquema de conexión para reflectometría condición 1, extremo final en circuito abierto. Véase ANEXO II.1.
2. Conectar el terminal de la conexión HV al panel en su salida HV1 y su terminal neutro a tierra como en la Fig. 4.a.

3. Seleccionar el modo de operación TDR **TDR** , selección Teleflex AT **HVC** .
4. Seleccionar la fase correspondiente a la fase del cable a probar (Ej: L1-N).

Res (Respuesta/resultado): Se abre la venta de selección de fase con la conexión sugerida en pantalla.

5. En el menú de Teleflex AT, en caso de ser necesario, realizar los ajustes de parámetros con los objetos de este menú para mejorar la visualización y grabación de trazas, véase tabla de ajustes del ANEXO II.7.

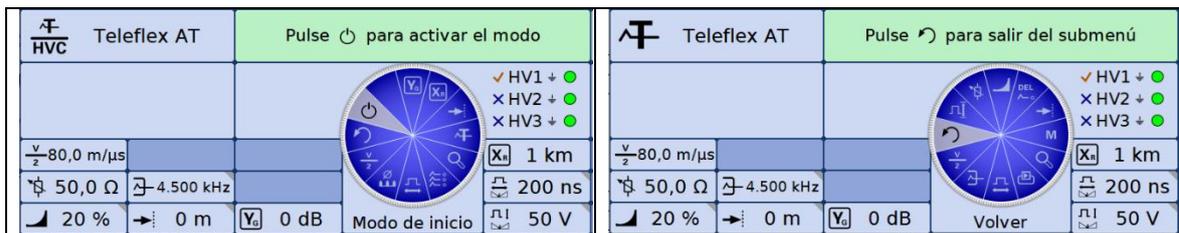


Figura 12. Menú de selección para modo de operación Teleflex AT y submenú Teleflex.

6. Activar el modo de inicio con el objeto de menú .
7. Habilitar la preparación de alta tensión mediante el botón de encendido  (**HV ON**).

Res: En este momento se presentará en pantalla el reflectograma como una traza del cable, pudiéndose ajustar el rango X en **X_R** (Ej: 1km).

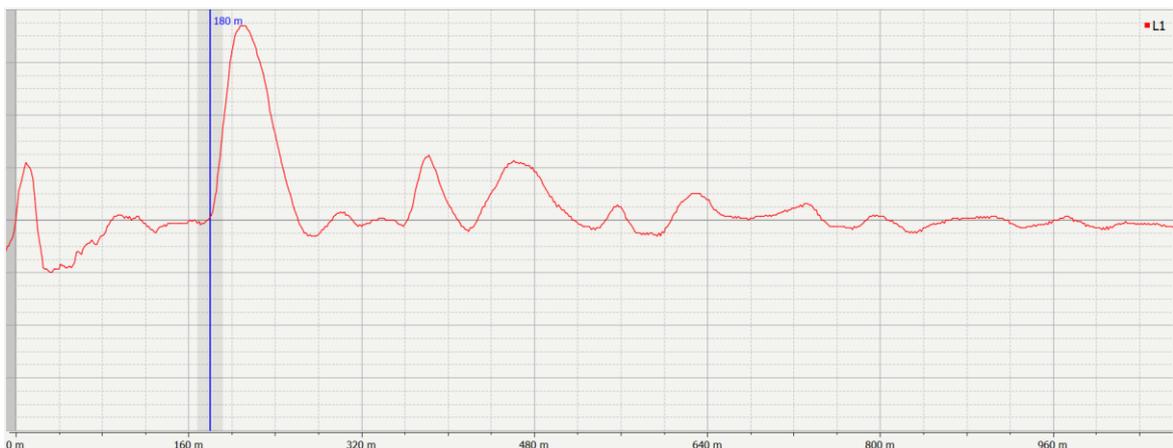


Figura 13. Reflectograma de cable con extremo final en circuito abierto.

8. Observar la traza en búsqueda de cambios de impedancia en el reflectograma como se indica en el ANEXO III.1 y ubicar el cursor con  en el punto donde se presente un cambio importante de la señal como una reflexión positiva o negativa.

Res: En este caso al ser cables nuevos para instalación se presentan como en el primer reflectograma del ANEXO III como cable con extremo en circuito abierto.

9. Detener la medición con el objeto de menú  en caso de ser necesario.

Res: La medición se interrumpe y la traza actual se inmoviliza. La medición se puede reanudar con el objeto de menú .

10. Guardar la medición actual con el objeto **M** en el menú Teleflex .

Res: La medición se guardará en el histórico de registros para este modo de operación.

11. Apagar la alta tensión con el objeto de menú ^{HV}_{Off}, el sistema se descarga automáticamente.

12. Cortocircuitar el extremo final, entre el conductor y la pantalla como se indica en la condición 2 de este esquema en el ANEXO II.1

13. Activar el modo inicio con  y habilitar el alto voltaje nuevamente con  (**HV ON**).

Res: Se presenta la segunda traza en pantalla como el tercer reflectograma del ANEXO III como cable con extremo en cortocircuito.

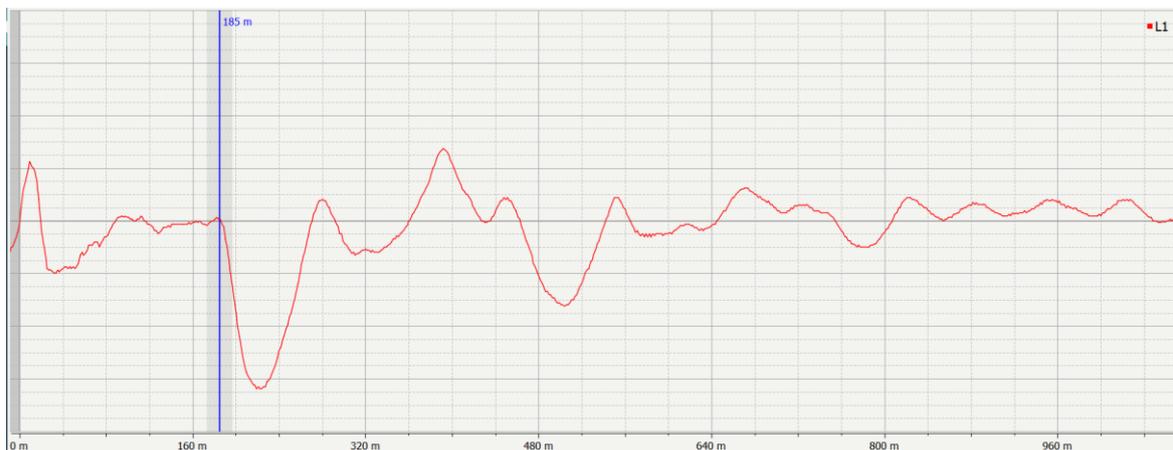


Figura 14. Reflectograma de cable con extremo final en cortocircuito pantalla y conductor.

14. A continuación, con el objeto **M** de memoria se abre la ventana de registro para seleccionar la medición anterior del paso 10 y sobreponer la traza anterior.

Res: Automáticamente se sobrepone la traza de la línea en circuito abierto inicial y la traza en cortocircuito actual con colores diferentes.

15. Observar el punto de divergencia de las trazas en el primer cambio pronunciado o pico positivo y negativo.
16. Ubicar el cursor en el punto de divergencia de las trazas con objeto de menú  y desplazarlo hasta determinar la longitud total del cable en metros.

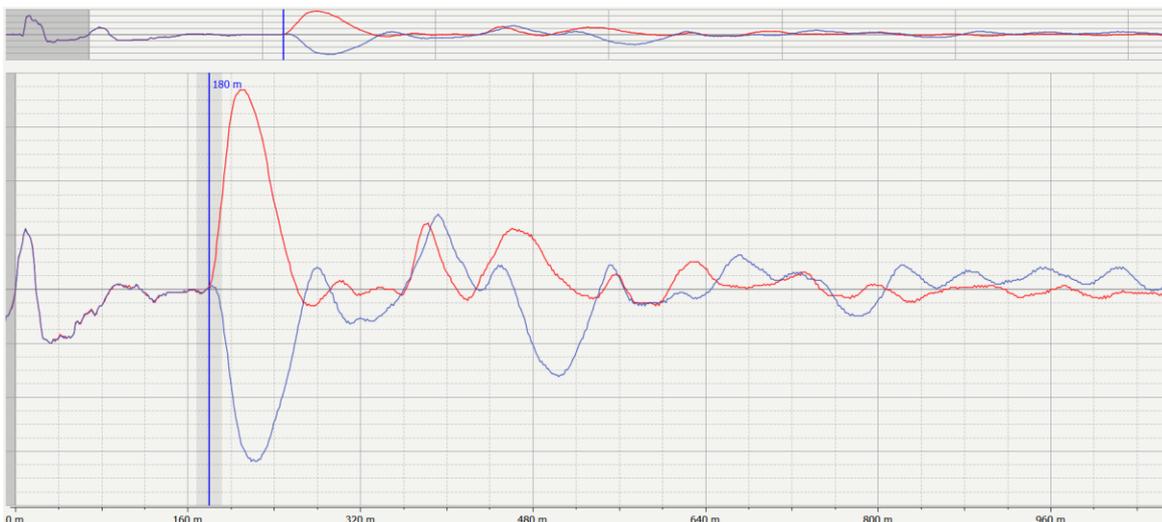


Figura 15. Sobreposición de Reflectogramas de cable en el punto de longitud exacta.

17. Nuevamente guardar el reflectograma en pantalla en **M** para el posterior análisis.
18. Detener la medición y apagar la alta tensión con HV_{off} o con el botón  (**HV OFF**).
19. Proceder con la aplicación de reflectometría para las líneas 2 y 3 faltantes a partir del paso 4 con las conexiones correspondientes.
20. Concluir la aplicación de reflectometría para medición de longitud de línea, desenergizando los cables después de cada prueba.

4.4.3 APLICACIÓN DE PRUEBA DE CUBIERTA.

1. Realizar las conexiones de puntas en el extremo inicial y final en función del esquema de conexión para aplicación de prueba de cubierta. Véase ANEXO II.2.
2. Conectar el terminal de la conexión HV al panel en HV1 y su otro extremo a la pantalla del cable, su terminal neutro a la tierra como en la Fig. 4.a.
3. Seleccionar el modo de operación TEST , selección prueba de cubierta .
4. Seleccionar la fase correspondiente al cable a probar (Ej: L1-N).

Res: Se abre la venta de selección de fase con la conexión sugerida en pantalla.

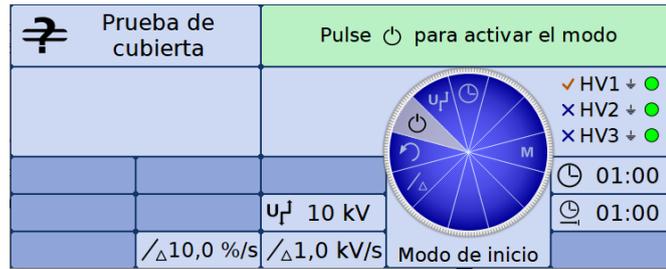


Figura 16. Menú de selección para modo de operación Prueba de cubierta.

5. Confirmar el rango de tensión U_T con el botón giratorio hasta los 10kV sugeribles a inyectar en alto voltaje.
6. Ajustar tiempo de prueba en  a 1 minuto según norma IEC 60229, en caso de presentar otros valores.
7. Activar el modo de inicio con el objeto de menú .
8. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT  (HV ON)
9. Ajustar el voltaje de prueba U_{nom} al valor nominal estipulado por la norma IEC 60229 según el espesor de la cubierta del cable, véase ANEXO III.3.

Res: A continuación, se inicia la prueba y se muestra en pantalla la curva de voltaje y la corriente de fuga sobrepuestos con diferentes colores.

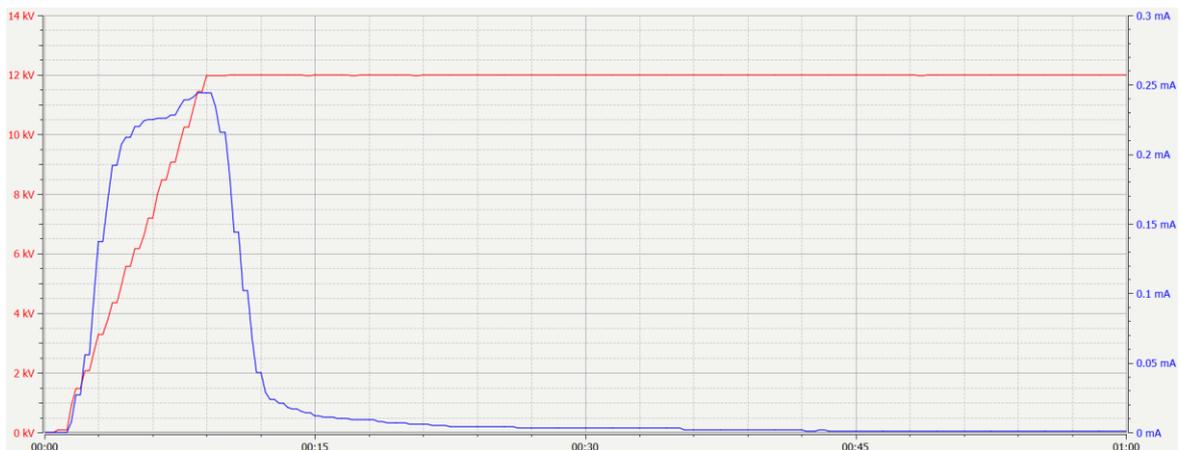


Figura 17. Trazas de voltaje aplicado y corriente de fuga en prueba de cubierta.

Al culminar el tiempo de prueba, la alta tensión se desconecta automáticamente y el sistema se descarga. En caso de presentarse corrientes de fuga, la prueba se detiene con la correspondiente alerta.

10. Guardar la medición actual con el objeto **M** en el histórico de registros.

11. Proceder a seleccionar el objeto ^{HV} **Off** o a presionar el botón de apagado de AT ■ (**HV OFF**) para la desconexión manual.
12. Des-energizar la punta del cable probado, antes de realizar el siguiente cambio de conexión a las líneas faltantes.
13. Para la siguiente línea se realizan nuevamente los pasos previos, partiendo del paso 4 de selección de la nueva fase con las conexiones correspondientes.

4.4.3.1 Criterio de Aceptación:

- **PASA:** Si la cubierta de cable soporta el nivel de tensión aplicada durante la prueba, el cable PASA la prueba.
- **NO PASA:** Si la cubierta del cable no logra soportar la tensión aplicada y presenta disrupción, el cable NO PASA, se requiere retirar el cable para la identificación del daño, repararla si es posible o sustituir el cable.

4.4.4 APLICACIÓN DE PRUEBA VLF.

1. Realizar las conexiones de puntas en el extremo local y remoto en función del esquema de conexión para aplicación de prueba VLF. Véase ANEXO II.4.
2. Conectar el terminal de conexión HV al panel en la salida DIAG y su otro extremo al conductor, su terminal neutro a tierra como en la Fig. 4.b.
3. Seleccionar el modo de operación TEST , selección prueba de VLF .

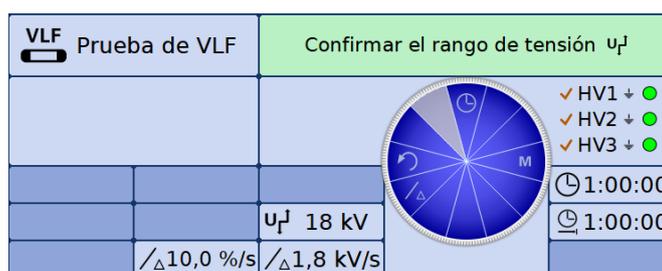


Figura 18. Menú de selección para modo de operación Prueba de VLF.

4. Seleccionar la fase correspondiente al cable a probar (Ej: L1-N).

Res: Se abre la venta de selección de fase con la conexión sugerida en pantalla.

5. Confirmar el rango de tensión U_T con el botón giratorio en valores RMS.

El voltaje RMS se ajusta al valor dictado por la norma IEEE 400.2 Tabla 3 para aceptación, con respecto al voltaje de diseño de cable, ver tabla en el ANEXO III.3.

6. Ajustar tiempo de prueba  a 60 minutos y frecuencia a 0.1 Hz según norma IEEE 400.2 para instalación/aceptación, en caso de presentar otros valores.
7. Activar el modo de inicio con el objeto de menú , una vez que la fuente de AT haya detectado la carga
8. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT  (HV ON).
9. Ajustar el voltaje de prueba U_{nom} (en RMS) al valor nominal estipulado por la norma IEEE 400.2 Tabla 3 columna Aceptación en el ANEXO III.3.2.

Res: A continuación, se inicia la prueba y se muestra en pantalla el progreso de la señal senoidal de voltaje en función del tiempo.

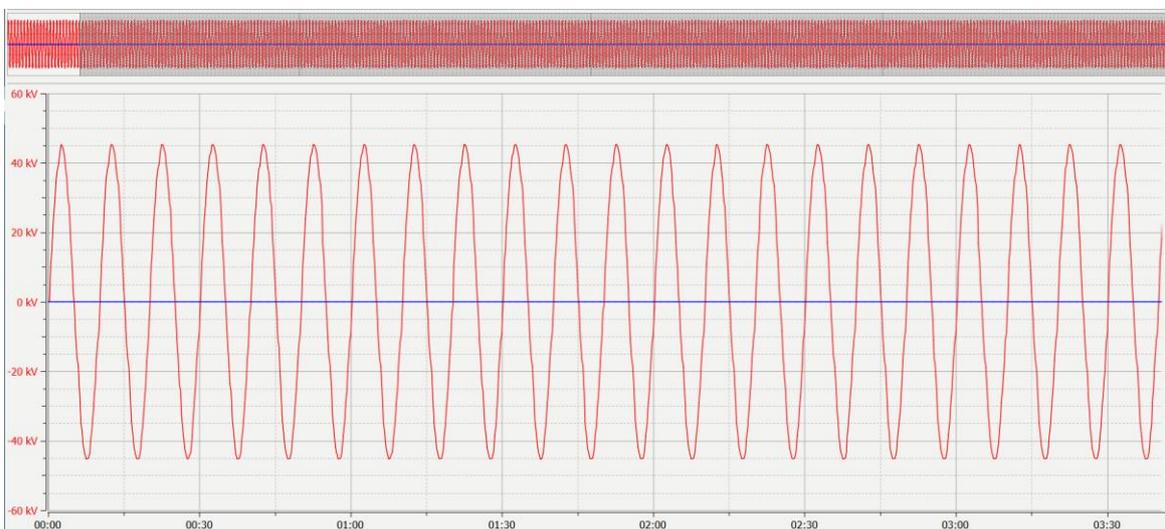


Figura 19. Señal sinusoidal del voltaje aplicado durante el tiempo de prueba VLF.

Al culminar el tiempo de prueba, la alta tensión se desconecta automáticamente y el sistema se descarga, caso contrario, si se presenta una disrupción la prueba se suspende automáticamente.

10. Guardar la medición actual con el objeto **M** en el histórico de registros.
11. Proceder a seleccionar el objeto ^{HV}off o a presionar el botón de apagado de AT  (HV OFF) para la desconexión manual.
12. Des-energizar la punta del cable probado, antes de realizar el siguiente cambio de conexión a las líneas faltantes.
13. Para la siguiente línea se realizan nuevamente los pasos previos partiendo de la selección de la nueva fase (paso 4) con las conexiones correspondientes.

NOTA 1: Para ternas de distancias cortas, inferiores a 200 m, la prueba VLF se puede ejecutar en los 3 cables al mismo tiempo, realizando la conexión en paralelo de conductores y pantallas como se muestra en el ANEXO II.4, y se sigue el mismo procedimiento. En caso de producirse una disrupción, se deberá realizar la prueba a cada línea individualmente.

NOTA 2: Se puede presentar una disrupción de falso positivo, por lo que se recomienda requiere examinar la conexión del cable y acondicionar las conexiones de prueba.

4.4.4.1 Criterio de Aceptación:

- **PASA:** Si el aislamiento del cable soporta la tensión aplicada durante el tiempo de prueba, el cable pasa la prueba.
- **NO PASA:** Si el aislamiento del cable no soporta la tensión aplicada y presenta disrupción, el cable no pasa, se requiere retirar el cable y sustituirlo por otro nuevo.

Recomendación: Determinar la capacitancia del cable antes de iniciar una prueba VLF, especialmente para cables de clase mayor a 25 kV y tramos de considerable longitud, ya que es necesario verificar que la capacidad de carga del equipo de pruebas sea mayor a la capacitancia del cable a probar.

5. PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA ACEPTACIÓN.

5.1 OBJETIVO

Efectuar la prueba de diagnóstico por descargas parciales a cables de potencia instalados para verificar el estado y elaboración de sus empalmes y puntas terminales, aplicando voltaje senoidal a diferentes niveles de voltaje nominal e identificar la presencia de DP superficiales, internas y de efecto corona.

5.2 EQUIPAMIENTO.

Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

Cables Test System - Modos de operación: Diagnóstico DP y MeggerBook Cable.

Acoplador externo PDS 62-SIN

Calibrador de frecuencia Megger CAL1

Cortocircuitos para esquemas de conexión y pértiga para des-energización.

Borneros acopladores para conectores terminal.

5.3 NORMATIVA REFERENTE.

Norma IEEE std 400.2-2013, sección 5.5.

Norma IEEE std 400.3-2006.

5.4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA ACEPTACIÓN.

5.4.1 PREPARACIÓN DE CABLES PARA DIAGNÓSTICO.

1. Preparar las puntas terminales de los cables para pruebas de aceptación.
2. Identificar las fases y registrar de características de los cables a probar.
3. La creación de datos se realiza directamente en el módulo de Gestor de Cables.

5.4.2 APLICACIÓN DE PRUEBA POR DESCARGAS PARCIALES.

1. Realizar las conexiones de puntas del objeto de prueba en el extremo local y remoto en función del esquema de conexión para aplicación de prueba por descargas parciales. Véase ANEXO II.6. Observar los elementos de conexión del PDS 62-SIN.
2. Conectar el cable de conexión HV al panel de conexión como en la Fig. 4.b, salida DIAG al Filtro AF (entrada de AT) de la unidad de acoplamiento PDS 62-SIN y salida tierra a la de conexión de tierra de la unidad de acoplamiento.
3. Conectar el cable de red de la Van de Pruebas al puerto de red del acoplador de descarga parcial desmontable PDS 62-SIN.
4. En el ordenador industrial, seleccionar el modo de operación DIAG ; selección Diagnóstico DP . A continuación, se habilitará el nuevo menú de selección con los módulos del software PD Detector.

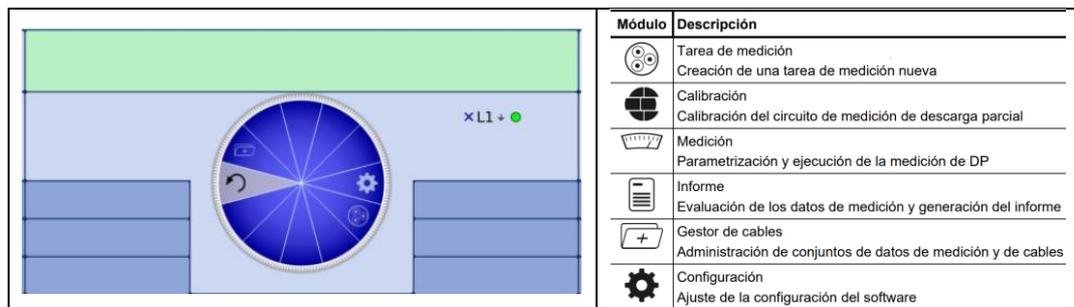


Figura 20. Menú de selección en Diagnóstico DP.

Nota: Para este modo de operación, Diagnóstico DP, se requiere de un ratón para navegar por la interfaz del software y teclado para edición de parámetros.

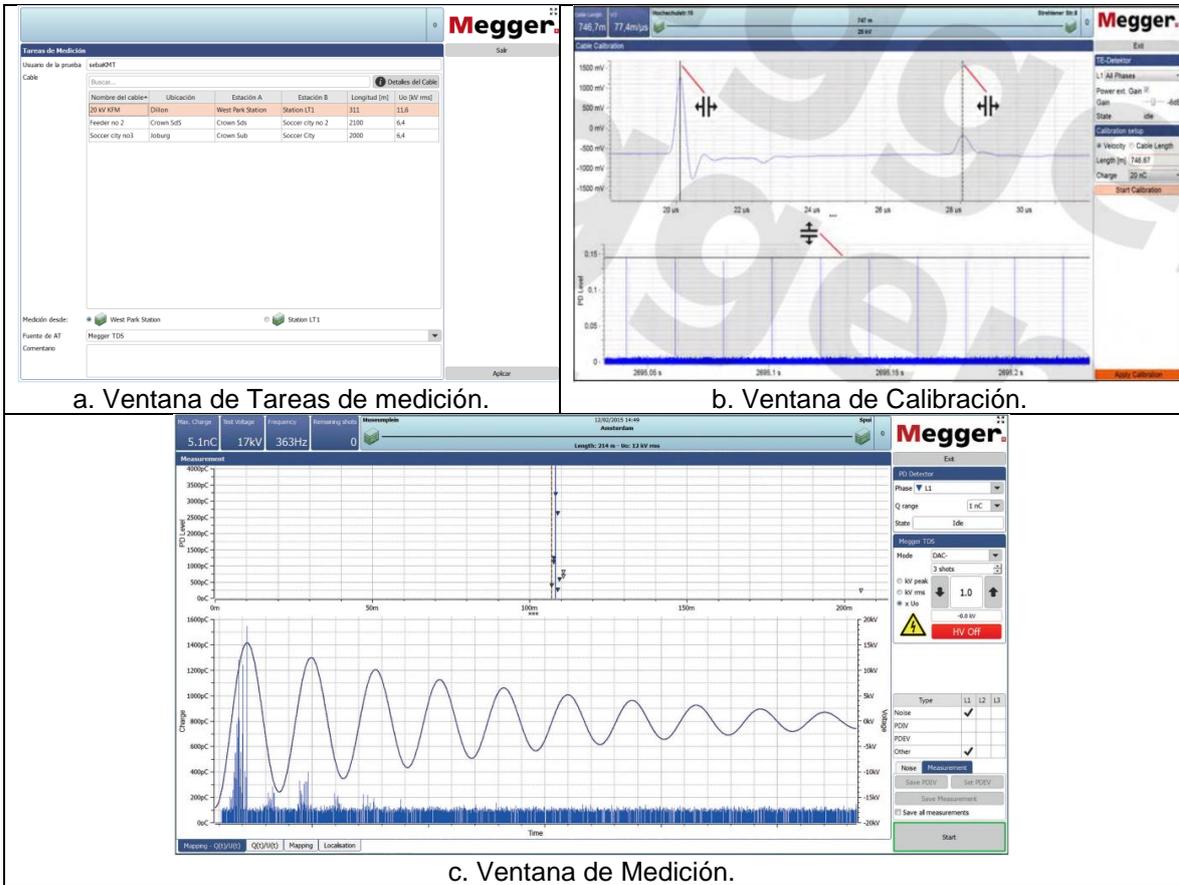


Figura 21. Ventanas del interfaz en modo de operación Diagnóstico PD.

MÓDULO GESTOR DE CABLES.

5. Crear cable nuevo, para añadir un cable nuevo, del menú de selección se abre el Gestor de Cables , en la sección de modificar se selecciona **Nuevo**.

Res: Inmediatamente se abre una ventana de nuevo cable donde se debe llenar los parámetros con las características de la terna al cual se ejecutará la prueba.



Sección Modificar en Gestor de Cables

Pestaña General en ventana Nuevo Cable

Datos por llenar en pestaña general:

- Nombre del cable: "Nombre que llevará el archivo del cable"
- Uo: Voltaje Fase-neutro de la clase del cable "voltaje de diseño/operación máxima".

- Tipo de cable: por lo general tres conductores de un hilo al ser cables monopolares.
- Comentario: información adicional de la terna a probar.
- Estación A: Datos propios de la ubicación del extremo inicial, nombre de la cámara o poste, selección de tipo de aislamiento y tipo de terminación.
- Estación B: Datos propios de la ubicación del extremo final, nombre de la cámara o poste, selección de tipo de aislamiento y tipo de terminación.

Datos por llenar en pestaña Tramos:

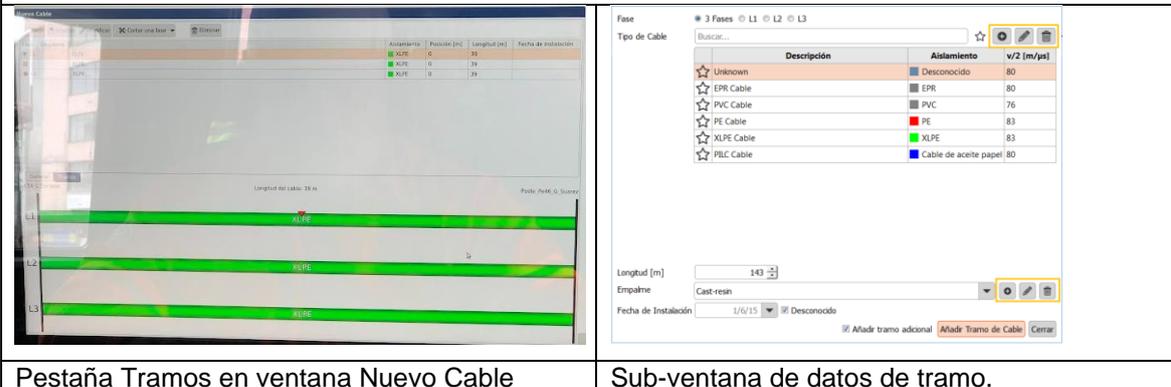
- Tipo de Aislamiento: XLPE, aceite en papel, EPR.
- Longitud: longitud total del tramo de cable en metros.
- Empalme: Por defecto en caso de ser un cable entero solo con terminaciones, de existir empalme se selecciona el tipo de empalme y su posición respecto al extremo final en metros.

Insertar empalme en tramo del cable:

Para generar un empalme en una línea se debe seleccionar la línea y pulsar el botón superior denominando **Insertar** para desplegar la sub-ventana de datos del tramo.

- En Longitud [m]: insertar la distancia en metros en el que se encuentra el empalme respecto al extremo final.
- Activar la casilla **Acotar el segmento seleccionado**
- En Empalme: seleccionar el tipo de aislamiento del cable.
- Guardar el empalme con el botón inferior **insertar** de esta ventana.

Para eliminar un empalme o tramo, se lo selecciona y se pulsa el botón superior **Eliminar**.



Pestaña Tramos en ventana Nuevo Cable

Sub-ventana de datos de tramo.

6. Aplicar cambios y Salir. Con el cable creado pulsar el botón **Aplicar** para guardar cambios y **Salir** para volver al menú de selección.

Res: Automáticamente se habilita el módulo Calibración.

MÓDULO TAREAS DE MEDICIÓN.

7. Asignar tarea de medición al cable nuevo. Para ello, acceder al módulo de tareas , buscar y seleccionar el cable previamente creado. Ver ventana en Figura 21.a.

- Indicar el extremo desde donde se realizará la medición, escoger el tipo de detector DP al PDS-62 y confirmar la asignación pulsando botón **Aplicar**.

MODULO CALIBRACIÓN.

- Calibrar la terna o línea a diagnosticar. Para ello, se realiza la conexión del elemento calibrador como se indica en el ANEXO II.6, y seleccionar el módulo de calibración . Una nueva ventana se abre para mostrar el espectro de calibración y sus secciones de configuración.
- Configurar la sección PD detector, seleccionando en el campo Fase, la opción **3 Fases** o la fase conectada actualmente, y ancho de banda en función de longitud del cable, High para longitudes cortas ($\leq 1\text{km}$) o Low para longitudes largas.
- Configuración de Calibración, por defecto se encuentra configurado a la longitud del cable en [m] y Carga a 1 [nC] mismo del calibrador, si se requiere mayor exactitud, se selecciona la opción V/2 para ajustarlo a la velocidad de propagación de pulsos [m/s] de ese tipo de cable.

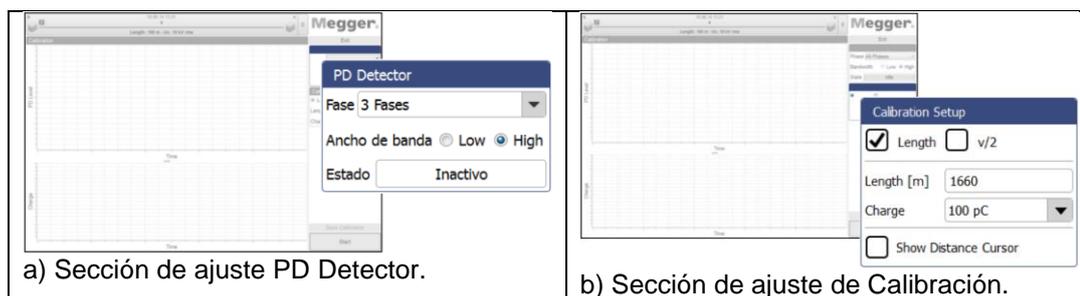


Figura 22. Secciones de configuración para calibración.

- Ejecutar la calibración pulsando en el botón **Iniciar** y esperar al menos 30 segundos.

Res: En la parte izquierda aparecerá en ventana dividida una traza TDR la longitud exacta del cable del cable y un diagrama de carga de calibración.

- Grabar calibración y salir. Pulsar el botón Grabar Calibración para guardarla y pulsar Salir para continuar a la medición de PD.

Res: Se presenta un anuncio solicitando la desconexión del calibrador como protección al dispositivo y requerimiento para habilitar la siguiente función denominada medición.

NOTA: Una vez realizada la calibración en una primera línea con la opción de campo 3 Fases, esta es suficiente para las mediciones en las tres fases.

MÓDULO MEDICIÓN.

14. De vuelta en el menú, seleccionar el módulo medición  para desplegar una nueva ventana. En la sección PD-Detector (Fig. 23.a) seleccionar la fase y rango de medición (1nC).

La pantalla de medición se encuentra dividida con el diagrama de mapa DP fijada en la parte superior y con 4 opciones de vista de diagramas dinámicos en la parte inferior, Q(t)/U(t), localización, VWD y PRPD en sus respectivas pestañas.

15. Medir ruido (disparo cero), en primera instancia se mide el nivel de ruido pulsando el botón inferior verde de **Iniciar**.

Res: Inmediatamente en la ventana inferior, se sobrepone el ruido que influye en el cable.

16. **Guardar nivel de ruido**, una vez ajustado el espectro de ruido, se lo guarda pulsando el botón con el mismo nombre de esta función en la sección Nivel de ruido (Fig. 23.c), esto habilita la sección Megger Centrix (Fig. 23.b).

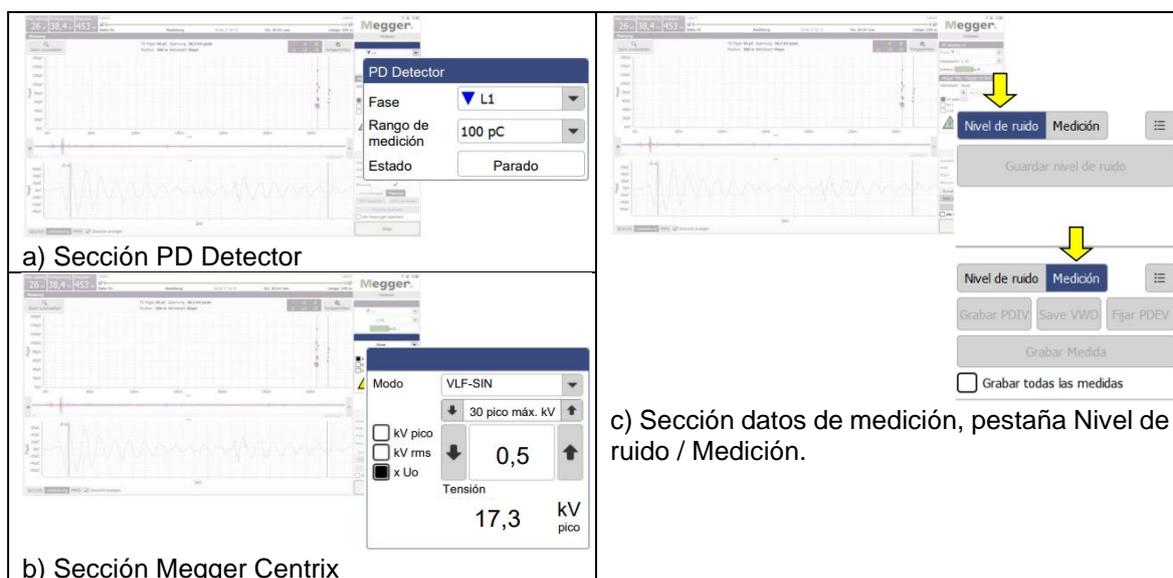


Figura 23. Secciones de ajuste en ventana de medición.

Medición de Descargas Parciales.

17. Ajustar el nivel de voltaje de prueba a xU_0 con respecto al nominal, usando las flechas laterales de incremento o decremento, en la sección Megger Centrix (b).

En función de norma y capacitancia de cable, incrementar progresivamente el nivel de voltaje de medición desde 0.3, en pasos de 0.5, 0.7, 1.0, 1.5 hasta 1.7 o 2 U_0 en intervalos de varios ciclos (2-5 ciclos) para monitorear la actividad de DP.

18. Iniciar con la medición a 0.3 Uo, presionando el botón **Iniciar** y habilitando la AT con el botón **HV ON** .

Res: La traza de voltaje senoidal tarde unos segundos en presentarse (1-3 ciclos) y es mostrada en la venta inferior con la vista de diagrama Q(t)/U(t).

19. Incrementar el nivel de voltaje a los siguientes pasos, ajustando xUo por cada 2-3 ciclos y observando el diagrama de carga Q(t)/U(t) ante posibles apariciones de impulsos de DP.

20. Continuar con el incremento de nivel de voltaje hasta que se presenten los primeros indicios de descargas parciales, mantenerse en este nivel por al menos 3 ciclos, verificando que los impulsos de PD sean repetitivos por cada ciclo.

Res: En la ventana de Mapa DP irán apareciendo y acumulándose puntos de medición DP en la ubicación donde son detectadas.

Ajuste: En botón superior Avanzado  del mapa DP, mantener activado únicamente la opción Validos  para visualizar los impulsos más claros de DP.

21. Parar la medición y pulsar el botón **Grabar PDIV** para guardar el nivel de tensión de inicio de las DP.

22. Retomar la medición con el botón **Iniciar** y habilitando AT con **HV ON**, activar la casilla Grabar todas las mediciones para guardar las mediciones de DP a niveles de tensión superior.

23. Incrementar el nivel de tensión nuevamente y monitorear la medición de DP, visualizando el diagrama Q(t)/U(t) y PRPD identificar el tipo de DP, los valores de carga máxima y sus ubicaciones en el mapa DP.

Nota: Los tipos de DP son identificados según la acumulación de DP en el diagrama PRPD siendo superficiales, internas o de efecto corona. Véase Patrón Resuelto en Fase de DP en el ANEXO III.2.

24. Alcanzar el nivel de tensión máxima 1.7 Uo o hasta el nivel que pueda soportar el cable antes presentarse una alerta por capacitancia máxima alcanzada o por disrupción e interrupción de prueba.

25. Parar la medición y guardar las medidas con el botón Grabar Medida (Fig. 23.c).

26. Retomar la medición con el botón **iniciar** y disminuir el nivel de voltaje U_0 monitoreando la actividad de DP por al menos 2 ciclos por cada paso.
27. Continuar con la disminución de U_0 hasta el nivel de voltaje donde se observe la desaparición de DP y sus impulsos en el diagrama $Q(t)/U(t)$ por al menos 3 ciclos.
28. Parar la medición y pulsar el botón **Grabar PDEV** para guardar el nivel de tensión de extinción de las DP.

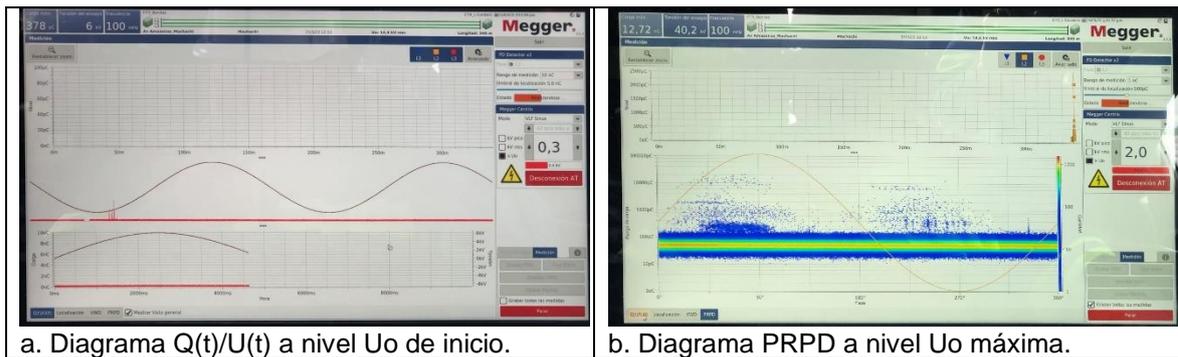


Figura 24. Vistas de la ventana de medición de DP.

29. Culminar la medición de DP de la línea de prueba, pulsando el botón de apagado de AT (**HV OFF** ■)
30. Proceder a des-energizar la línea y realizar el cambio de conexión a las siguientes líneas faltantes.
31. Para la medición de DP en la nueva línea, seleccionar la fase correspondiente en la sección PD-Detector (Fig. 23.a). Se puede utilizar el mismo nivel de ruido guardado previamente.
32. Seguir los pasos previos de la sección medición de descargas parciales paso 16.
33. Finalización de medición DP, una vez culminado la medición DP para las tres fases, pulsar el botón Salir y desmontar el esquema de conexión.

Cortocircuitar el condensador de carga del equipo PDS 62-SIN para el almacenamiento y transporte, Ver Anexo IV.1.

5.4.3 CRITERIO DE ACEPTACIÓN.

En función de los resultados de prueba de Descargas Parciales, el sistema de cables (cable y accesorios) se puede calificar como:

- **Pasa – Bueno:** Cuando el cable se encuentra libre de DP significativas hasta $1.7 U_0$, el PDIV es mayor a la tensión nominal U_0 , y el PDEV es menor a PDIV, pero mayor a U_0 , el cable no presentara DP en operación normal.
- **Con novedad:** Cuando el PDIV y PDEV se encuentran a niveles de tensión bajos e incluso menores a U_0 , se presentan DP bien definidas en el mapa DP con altos valores de carga y patrones definidos en el diagrama PRPD.

De esta última condición, el cable presenta DP con defectos que con el tiempo puede afectar o producir fallas en el cable durante su operación normal. Se recomienda revisar y reparar de ser posible los componentes afectados en las ubicaciones con presencia de DP, y aplicar pruebas de mantenimiento recurrentes para evaluar el avance de degradación una vez energizado el sistema de cables.

6. PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA MANTENIMIENTO.

6.1 OBJETIVO

Aplicar prueba de diagnóstico Tangente Delta en cables soterrados de media tensión con un determinado tiempo de servicio, para evaluar el estado de envejecimiento del cable, además de identificar deterioro y prevenir fallos potenciales, de manera que se garantice la continuidad y confiabilidad de servicio eléctrico.

6.2 EQUIPAMIENTO

Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

Cables Test System Megger – Modos de operación: Teleflex AT, Diagnóstico TanDelta y MeggerBook Cable.

Adaptador HVCC.

Cortocircuitos para esquemas de conexión.

Pértiga para des-energización.

6.3 NORMATIVA REFERENTE.

Norma IEEE std 400.2-2013, sección 5.4.

6.4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE DIAGNÓSTICO PARA MANTENIMIENTO.

Consiste en la aplicación de la prueba de diagnóstico de Tangente Delta, en función de los resultados y el cliente, se puede adicionar la prueba VLF, con diferencia en el tiempo y el nivel de voltaje de prueba.

6.4.1 PREPARACIÓN DE CABLES PARA DIAGNÓSTICO.

1. Preparar las puntas de los cables a probar.
2. Identificar las fases y registrar las características de los cables.
3. Crear el archivo de cable nuevo en MeggerBook Cable.

6.4.2 APLICACIÓN DE REFLECTOMETRÍA.

1. Seguir los pasos de aplicación de reflectometría detallados en la sección 4.4.2
2. Determinar la longitud total de la terna de cables a probar.

6.4.3 APLICACIÓN DE TANGENTE DELTA.

1. Realizar las conexiones en puntas del objeto de prueba en el extremo inicial y final en función del esquema de conexión para aplicación de prueba por Tangente Delta. Véase ANEXO II.5.
2. Conectar el cable de conexión HV al panel de conexión como en la Fig. 4.c, salida DIAG, con terminal neutro a la salida exclusiva del panel (**only TanDelta + MWT**).
3. En el ordenador industrial, seleccionar el modo de operación DIAG ; menú Tangente Delta .

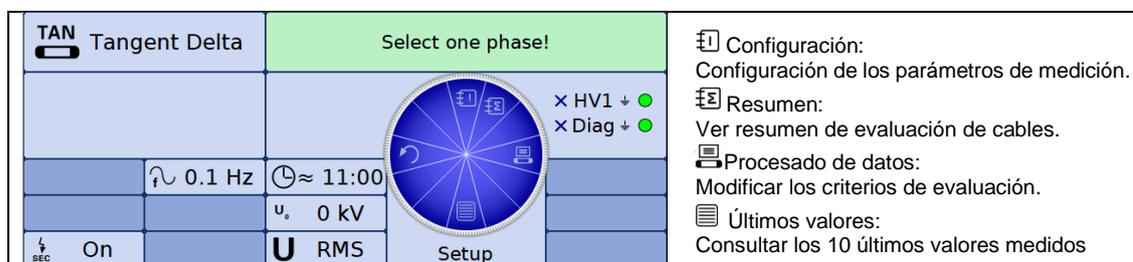


Figura 25. Menú de selección para diagnóstico TanDelta.

4. Seleccionar la fase correspondiente al cable a probar (Ej: L1-N). En pantalla se mostrará la conexión recomendada con la presencia del adaptador HVCC.

5. Confirmar tensión U_0 al valor nominal del cable en RMS (F-N).

Res: Se muestra una ventana emergente con los 3 niveles de voltaje de prueba ajustado según norma **IEEE 400.2 (1.5 U_0)** en pasos de **0.5 xU_0** .

En caso de no presentarse esta condición, cambiar a esta opción de norma en  del submenú de procesado de datos .

6. Verificar ajustes de medición en configuración , para 3 niveles de tensión en n_{NUM} y 8 muestras de $\tan\delta$ por nivel en $[n]$.
7. Verificar o seleccionar el tipo de aislamiento en  en el menú , correspondiente al cable a evaluar.
8. Activar el modo de inicio de medición con .
9. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT  (HV ON).

Res: La medición inicia mostrando una ventana emergente de Detección de Carga, seguido de la vista estándar de medición que también puede cambiarse a la vista de tendencia con $\frac{STD}{TRD}$.

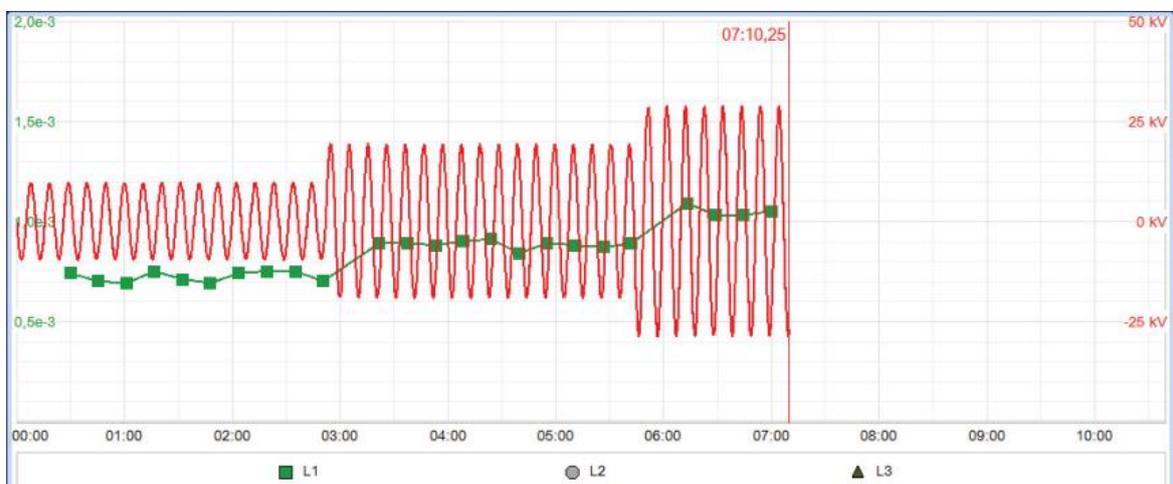


Figura 26. Vista estándar de medición de $\tan\delta$ en pantalla.

10. Monitorear la medición, identificando tendencias de $\tan\delta$ para conocer el estado del cable.

Nota: Durante el desarrollo de la prueba, puede salir una ventana emergente de Seguridad, indicando un aumento de $\tan\delta$ detectada por envejecimiento del cable.

Al finalizar la medición, el sistema se descarga previo al cambio de fase a probar.

11. Des-energizar la punta del cable probado y conectar la pinza de AT a la siguiente fase.
12. Seleccionar en pantalla la siguiente fase del cable a probar (Ej: L2-N).
13. Volver a activar el modo de inicio con  y habilitar la alta tensión pulsando  (**HV ON**).
14. Monitorear la medición para esta fase y repetir el procedimiento para la siguiente fase restante.

Res: Al culminar la prueba, se presenta una ventana de evaluación con el diagnóstico de envejecimiento y acción de cada fase.

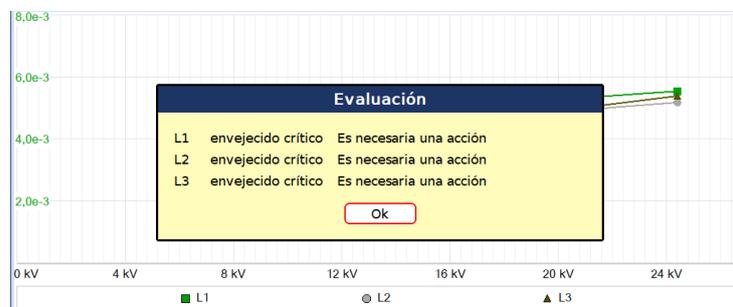


Figura 27. Ventana de evaluación final de prueba.

15. Guardar la medición de $\tan\delta$ con el objeto **M** en el submenú de Procesado de Datos .
16. Revisar el resumen de medición  y la evaluación de la terna de cables $\pm/\text{-}$, comparándolas con las tablas de la Norma IEEE 400.2 (ANEXO III.3.4) para concluir el diagnóstico de cada cable.
17. Des-energizar las puntas de cables y desconectar el equipo.

6.4.3.1 Criterio de evaluación.

En función de los resultados de evaluación de prueba de Tangente Delta, los cables son definidos como:

- Nuevo: No es necesario ninguna acción, el cable aún se encuentra en buen estado y puede volver a servicio.
- Envejecido: Se recomienda realizar más estudio, el cable presenta cierto deterioro, se recomienda aplicar pruebas de diagnóstica adicionales para

confirmar el estado de los componentes o aplicar medidas de mantenimiento y rejuvenecimiento del cable.

- Envejecimiento crítico: Es necesaria una acción, el cable se encuentra envejecido y deteriorado, requiere ser sustituido.

6.4.4 APLICACIÓN DE PRUEBAS ADICIONALES.

Posterior a la prueba de Tangente Delta, se puede adicionar las siguientes pruebas de diagnóstico solo si es solicitada y coordinada por el cliente.

6.4.4.1 Aplicación de Prueba VLF.

1. Seguir los pasos correspondientes a aplicación de prueba VLF sección 4.4.4, pero modificando los ajustes de voltaje y tiempo de los pasos 5, 6 y 9.
2. Ajustar rango de tensión U_l y voltaje de prueba al valor nominal en RMS del cable indicado en norma IEEE 400.2 Tabla 3 para prueba de mantenimiento, véase el ANEXO III.3.2
3. Ajustar tiempo de prueba a 15 minutos y frecuencia a 0.1 Hz según norma IEEE 400.2 para pruebas de mantenimiento.

6.4.4.2 Aplicación de Prueba en Descargas Parciales.

Solo en caso de ser solicitado por el cliente se aplicará diagnóstico con Prueba de Descargas Parciales.

Seguir pasos correspondientes a aplicación de prueba de DP sección 5.4.2.

7. PRUEBAS PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

7.1 OBJETIVO

Ejecutar las correspondientes pruebas y procedimientos para identificar, clasificar y localizar fallas en cables subterráneos reportados previamente como averiados, por ende, facilitar la reparación oportuna y el restablecimiento del servicio eléctrico en el menor tiempo posible.

7.2 EQUIPAMIENTO

Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

Cables Test System Megger - Modos de operación: Teleflex AT, Prueba CC, Prelocalización y Localización de punto exacto, más MeggerBook Cable.

Accesorios para la localización de averías: DigiPHONE+2 y Ferrolux iFS.

Cortocircuitos para esquemas de conexión.

Pértiga para des-energización.

Rueda de medición longitudinal (Odómetro).

7.3 NORMATIVA REFERENTE.

Norma IEEE Std 1234 – 2019.

7.4 PROCEDIMIENTO PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

7.4.1 PREPARACIÓN DE CABLES PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

1. Preparar las puntas desnudas de los cables a probar.
2. Identificar las fases y registrar las características de los cables a probar.
3. Crear el archivo de cable nuevo en MeggerBook Cable.

7.4.2 APLICACIÓN DE REFLECTOMETRÍA.

1. Seguir pasos correspondientes a aplicación de reflectometría sección 4.4.2.
2. Comparar las trazas de cada línea en búsqueda de incidencias o cambios de impedancia como cortocircuitos o circuitos abiertos en los reflectogramas registrados, puede guiarse del ANEXO III.1.

7.4.3 APLICACIÓN DE PRUEBAS CC.

1. Realizar las conexiones de puntas en el extremo inicial y final en función del esquema de conexión para aplicación de Prueba con CC. Véase ANEXO II.3.
2. Conectar el terminal de la conexión HV al panel en su salida HV1 y su terminal neutro a tierra como en la Fig. 4.a.
3. Seleccionar el modo de operación Prueba , selección Prueba con CC .

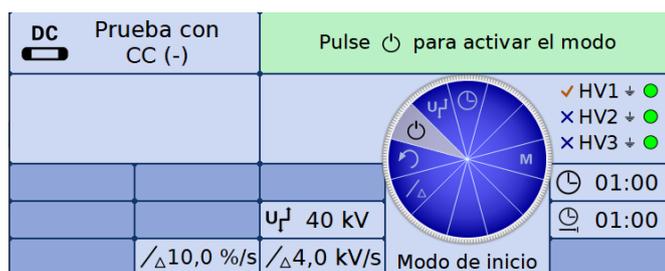


Figura 28. Menú de selección para modo de operación Prueba con CC (-).

4. Seleccionar la fase correspondiente a la línea a probar (Ej: L1-N).
5. Confirmar el rango de tensión u_r a habilitar, un rango al inmediato superior del voltaje nominal de operación del cable.
6. Ajustar tiempo de prueba en  al valor mínimo como 1 minuto.
7. Activar el modo de inicio con .
8. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT  (HV ON)
9. Confirmar la tensión nominal U_{nom} [kV] al valor de operación del cable (Ej: 6.3 kV).

Res: Arranca la prueba y se muestra en pantalla la curva de voltaje y la corriente de fuga sobrepuestos como se muestra en la figura 29.

Al probar un cable con falla, inminentemente se presentará una disrupción con una ventana emergente indicando el voltaje y corriente de fallo (U_{Fallo}, I_{Fallo}); suspendiendo la prueba y descargando el sistema.

DATO: U_{Fallo} es el voltaje de encendido de la avería o voltaje de disrupción de la falla.

NOTA: Si una línea soporta cierta cantidad de tensión en al menos pocos segundos, este se denomina cargable, caso contrario, si una línea no soporta tensión y presenta disrupción inmediata debido a la falla, este se denomina no cargable.



Figura 29. Trazas de voltaje aplicado y corriente de fuga en prueba con CC.

10. Guardar la medición actual con el objeto **M** en el histórico de registros.
11. Proceder a seleccionar el objeto ^{HV}off o presionar el botón de apagado de AT (**HV OFF**) para la desconexión manual de AT.
12. Des-energizar la punta del cable probado, previo al cambio de línea a probar.
13. Continuar con la siguiente línea, ejecutando nuevamente los pasos previos desde la seleccionando de la nueva fase (paso 4) con las conexiones correspondientes.

Clasificar del tipo de falla

Según la interrupción presentada y la medición de reflectometría TDR, las fallas se pueden clasificar como:

- Falla Franca: Si la interrupción es inmediata y con el U_{Fallo} cercano a cero o muy inferior al voltaje aplicado, el cable no es cargable y la falla es fácilmente detectado en reflectometría TDR, caracterizado como cortocircuito o circuito abierto.
- Falla no Franca: Si el U_{Fallo} es cercano al voltaje de prueba y soporta CC por un cierto tiempo, el cable es cargable y presenta falla de alta impedancia. Esta falla no es detectada por reflectometría TDR y requiere de métodos de prelocalización especializados.

7.4.4 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA PRELOCALIZACIÓN DE FALLA.

El sistema Centrix cuenta con 3 métodos para prelocalización de fallas de alta impedancia que pueden ser usadas según la dificultad y conveniencia de la falla, estos métodos son: ARM, Decay e ICE.

En fallas de baja resistencia o fallas atornilladas, la prelocalización de falla se puede determinar con una medición de Teleflex y confirmarla con el método ARM.

1. Como primer paso, elegir una línea determinada previamente como cargable y que presumiblemente presente falla de alta impedancia.
2. Para cualquier método de prelocalización, realizar las conexiones de puntas en el extremo inicial y final en siguiendo el esquema de conexión para Prelocalización de Averías del ANEXO II.1.

7.4.4.1 Prelocalización por ARM.

1. Seleccionar el modo de operación Prelocalización **PRE**, selección ARM **ARM**.
2. Seleccionar la fase correspondiente a la línea presuntamente fallada pero cargable (Ej: L2-N).

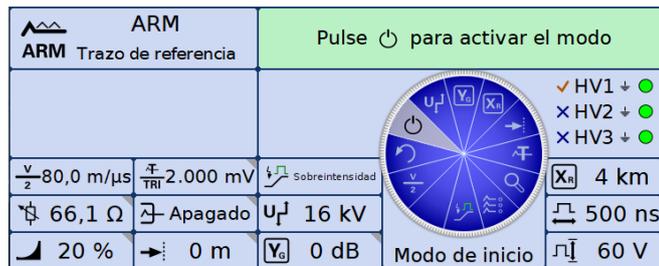


Figura 30. Menú de selección para método de prelocalización ARM.

3. Confirmar el rango de tensión U^J a habilitar en un intervalo de voltaje en valores cercanos al nominal del cable y a la tensión de encendido de avería.
4. Activar el modo de inicio con **[power icon]**.
5. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT (**HV ON**)

Res: Se genera automáticamente un reflectograma de referencia para la línea en prueba. Al cual se puede ajustar el rango X para mejorar la visualización.

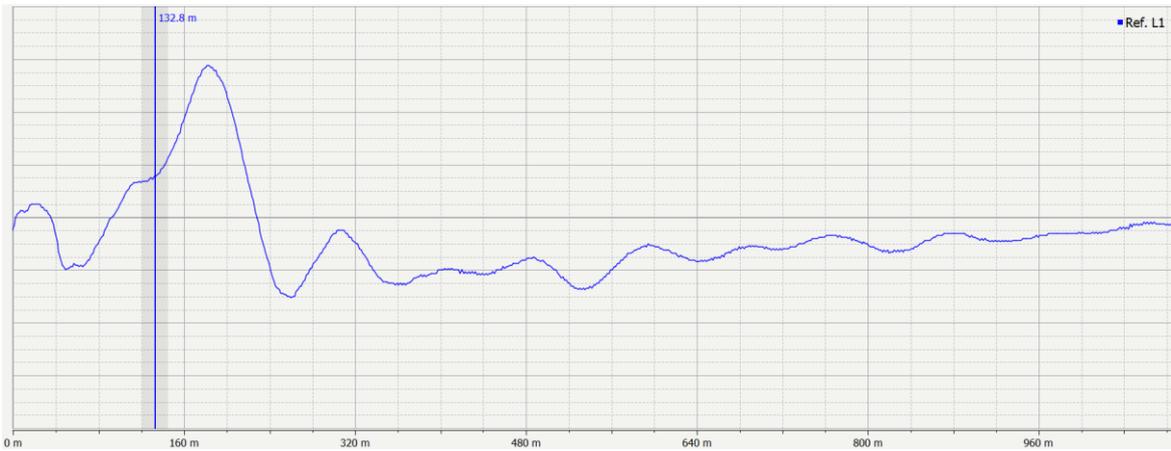


Figura 31. Reflectograma de referencia.

6. Cambiar a trazo de fallo en el objeto de menú $\frac{REF}{FAU}$ (Referencia/fallo) el cual se habilita para generar el reflectograma de falla con la descarga del condensador interno.
7. Confirmar la tensión nominal U_{nom} [kV] a un valor inmediato superior al U_{fallo} en el que se presentó la disrupción en el apartado anterior de prueba con CC.
8. Una vez cargado el voltaje, se habilita la opción de impacto simple $\text{—}\wedge\text{—}$ el cual se debe pulsar para iniciar la medición ARM.

Res: Inmediatamente se generan 15 trazas de falla que pueden ser visualizadas sobrepuestas a la traza de referencia mediante el giro del mando de control.

9. Seleccionar una traza de falla que proporciona la mejor identificación de la falla.
10. De la traza seleccionada, ubicar la divergencia de las estas mediante el cursor \rightarrow para localizar la falla a la distancia más aproximada y guardarla.

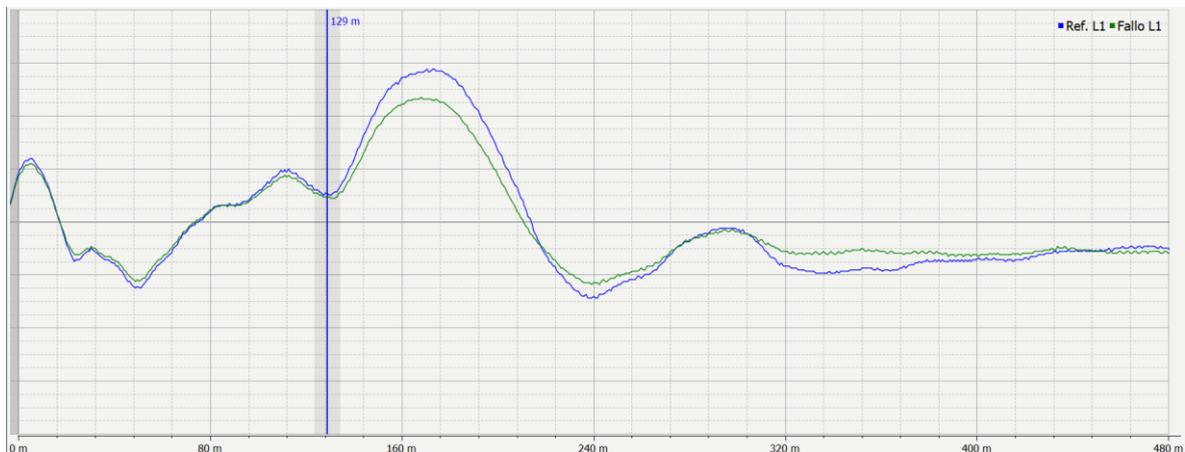


Figura 32. Traza de falla sobrepuesta al reflectograma de referencia.

11. Para mejorar la visualización de la divergencia, ajustar el disparador a un retardo aproximado de 50mV, dirigiéndose al objeto Teleflex $\wedge \overline{\text{T}}$, opción disparador $\frac{\overline{\text{T}}}{\text{TRI}}$.
12. Activar otra vez el impacto simple $\wedge \text{L}$ para generar nuevas trazas de falla, seleccionar la traza con mejor visualización de falla y ubicar el punto de divergencia.



Figura 33. Traza de falla superpuesta al reflectograma de referencia con disparo ajustado.

13. Guardar la prelocalización con el objeto **M** en el histórico de registros.
14. Apagar la alta tensión seleccionando el objeto HV Off o presionando el botón de apagado de AT (**HV OFF**).
15. Des-energizar la punta de la línea tratada.
16. Para confirmar la prelocalización de falla con las otras líneas, seguir los pasos previos partiendo del paso 2, seleccionando la nueva fase con las conexiones correspondientes.

7.4.4.2 Prelocalización por Método Decay.

1. Seleccionar el modo de operación Prelocalización PRE , selección Decay DEC .
2. Seleccionar la fase correspondiente a la línea defectuosa (Ej: L1-N).

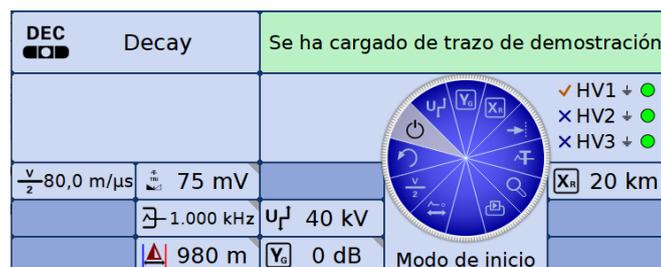


Figura 34. Menú de selección para método de prelocalización Decay.

3. Confirmar el rango de tensión U_f a habilitar, teniendo en cuenta la tensión de encendido de falla necesaria.
4. Ajustar la velocidad de propagación con el objeto de menú $\frac{V}{2}$ o NVP y seleccionar un intervalo de medición con X_R entre cinco y diez veces mayor que la longitud total del cable.
5. Iniciar la medición con .
6. Habilitar la alta tensión pulsando el botón de encendido de AT  (HV ON).
7. Confirmar la tensión U_{nom} al valor de encendido de avería U_{Fallo} .

Res: El conductor se carga hasta el valor de ajustado. Tras la interrupción en la avería, se muestra en la pantalla una traza de voltaje oscilante con atenuación.

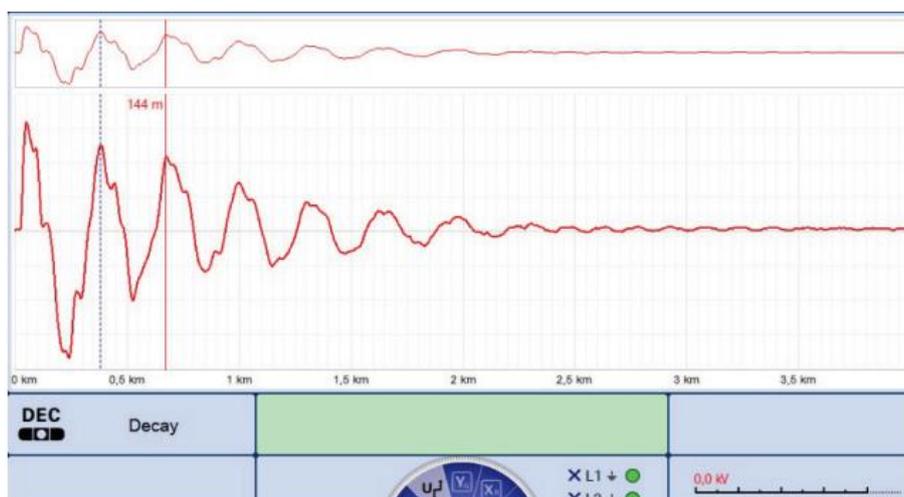


Figura 35. Traza de cable con falla por método DECAY.

El software determina automáticamente el periodo de una oscilación, colocando cursores en una oscilación y proporcionando la longitud del periodo.

8. Apagar la alta tensión con el objeto **HV OFF**.
9. En caso de ser necesario, suavizar la traza mediante los ajustes de filtrado y reducción de ganancia. Repetir el procedimiento para obtener una mejor visualización.
10. Corregir la posición de las marcas de cursor con , si la marca automática no limita exactamente un periodo. En la parte inferior se mostrará el valor de la mitad de la longitud de un periodo .

- Calcular la distancia de la avería restando la longitud del periodo obtenido y la longitud total de cable de medición del furgón de pruebas.

$$\text{Distancia de falla} = \frac{\text{Longitud de un periodo}}{2} - \text{longitud del carrete de medición.} \quad (7.1)$$

La longitud total del carrete a restar es de aproximadamente 65 metros.

El valor calculado equivale aproximadamente a la distancia entre el punto de conexión y la avería.

7.4.4.3 Prelocalización por Método ICE.

- Seleccionar el modo de operación Prelocalización , selección IEC .
- Seleccionar la fase correspondiente a la línea defectuosa pero cargable (Ej: L1-N).

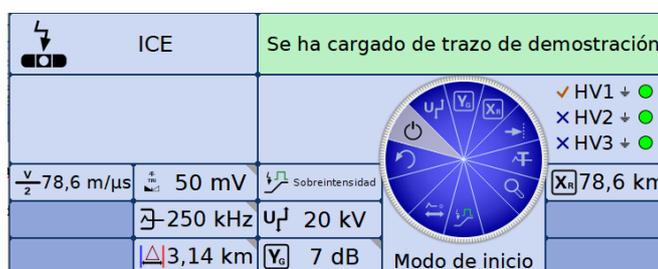


Figura 36. Menú de selección para método de prelocalización IEC.

- Confirmar el rango de tensión U_f a habilitar, con un intervalo de voltaje en kV que contenga al valor de encendido de avería y al valor de voltaje que proporcione la energía de choque más alta para la descarga del condensador interno (Thumper).
- Ajustar la velocidad de propagación con el objeto de menú $\frac{v}{2}$ o NVP y seleccionar un intervalo de medición con X_n entre cinco y diez veces mayor que la longitud total del cable.
- Elegir interrupción de la avería por carga o descarga en  (carga/sobreinintensidad).
- Activar el modo de inicio con .
- Habilitar la alta tensión pulsando el botón de encendido de AT  (HV ON).
- Ajustar el voltaje U_{nom} [kV] teniendo en cuenta la tensión de encendido de avería necesaria.

Res: Se muestra una traza oscilante y atenuada en pantalla cuando al producirse la descarga de tensión en la posición de la avería.

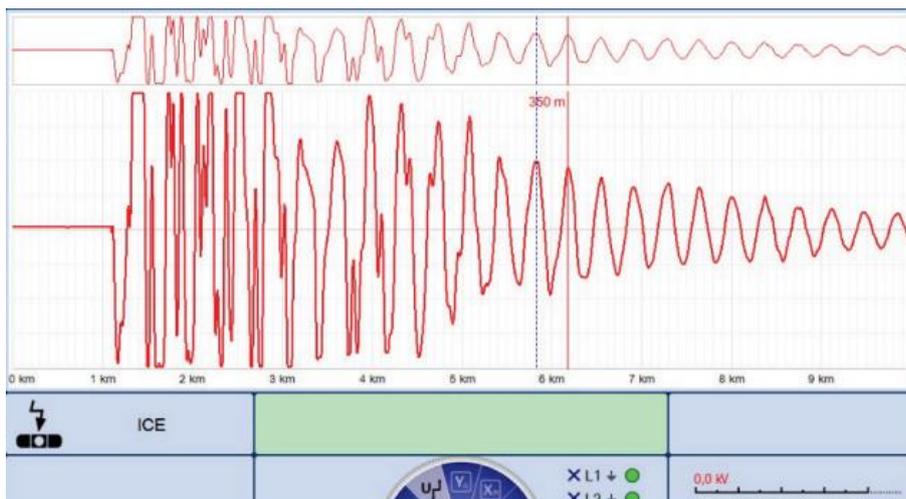


Figura 37. Traza de cable con falla por método ICE.

El software determina automáticamente el periodo de una oscilación, colocando cursores en una oscilación y proporcionando la longitud del periodo.

Si es necesario provocar una interrupción en la avería mediante descarga de choque, utilice el objeto  para activar la descarga cuando el condensador de choque se haya cargado hasta la tensión ajustada.

9. Apague la alta tensión con el objeto de menú **HV OFF**.
10. En caso de ser necesario, suavizar la traza mediante los ajustes de filtrado y reducción de ganancia. Repetir el procedimiento para obtener una mejor visualización.
11. Corregir la posición de las marcas de cursor con , si la marca automática no limita exactamente un periodo. En la parte inferior se mostrará el valor de la mitad de la longitud de un periodo .
12. Calcular la distancia de la avería restando la longitud del periodo obtenido y la longitud total de cable de medición del furgón de pruebas.

$$\text{Distancia de falla} = \text{Longitud de un periodo} - \text{longitud del carrete de medición} \quad (7.2)$$

La longitud total del carrete a restar es de aproximadamente 65 metros.

El valor calculado equivale aproximadamente a la distancia entre el punto de conexión y la avería.

7.4.5 TRAZADO DE RUTA DEL CABLE UTILIZANDO EL EQUIPO FERROLUX IFS.

Para esta tarea se debe separar 2 grupos de trabajo: 1, para operar el sistema Centrix desde la Van y 2, para el seguimiento de línea con el receptor Ferrolux IFS.

Para la conexión seguir el esquema presente en ANEXO II.1 para trazado con generador de audiofrecuencia. Se puede conectar la AT por el conductor o por la pantalla del cable.

7.4.5.1 Trazado de cable con receptor Ferrolux iFS.

1. Preparar y armar el receptor Ferrolux iFS conectándolo a la unidad de visualización. Véase Anexo IV.2.1.
2. Automáticamente la unidad de medición cambia a modo Ferrolux , véase disposición de ajustes de pantalla en el Anexo IV.2.1.
3. Ubicar un punto de partida sobre la superficie en donde se estima la posición del cable, así como ajustar el odómetro a la distancia estimada desde la punta del cable hasta esa posición.
4. Activar la función de generador de audiofrecuencia desde la Van para emitir la señal de audiofrecuencia por uno de los conductores cargables.
5. Sintonizar la unidad receptora a la misma frecuencia de emisión de señal desde la Van, en su menú f (8440 Hz).
6. Alinear el receptor Ferrolux y el cable con el ajuste . Sobre la posición exacta del cable, activar el modo *Signal select*  en la Van y girar el receptor hasta determinar el sentido de la señal inyectada, orientando la simbología  con la dirección del cable. Ver Figura 38.
7. Iniciar el recorrido manteniendo el indicador del cable en el centro de la brújula digital del dispositivo de visualización, seguido por el odómetro para registrar la distancia recorrida [m] hasta el punto aproximado de fallo [m] y terminar el trazado en el extremo final del cable. Ver Figura 38.
8. Durante el trazado corregir la alineación del receptor y realizar los ajustes necesarios para mejorar la recepción de la señal de audio frecuencia.

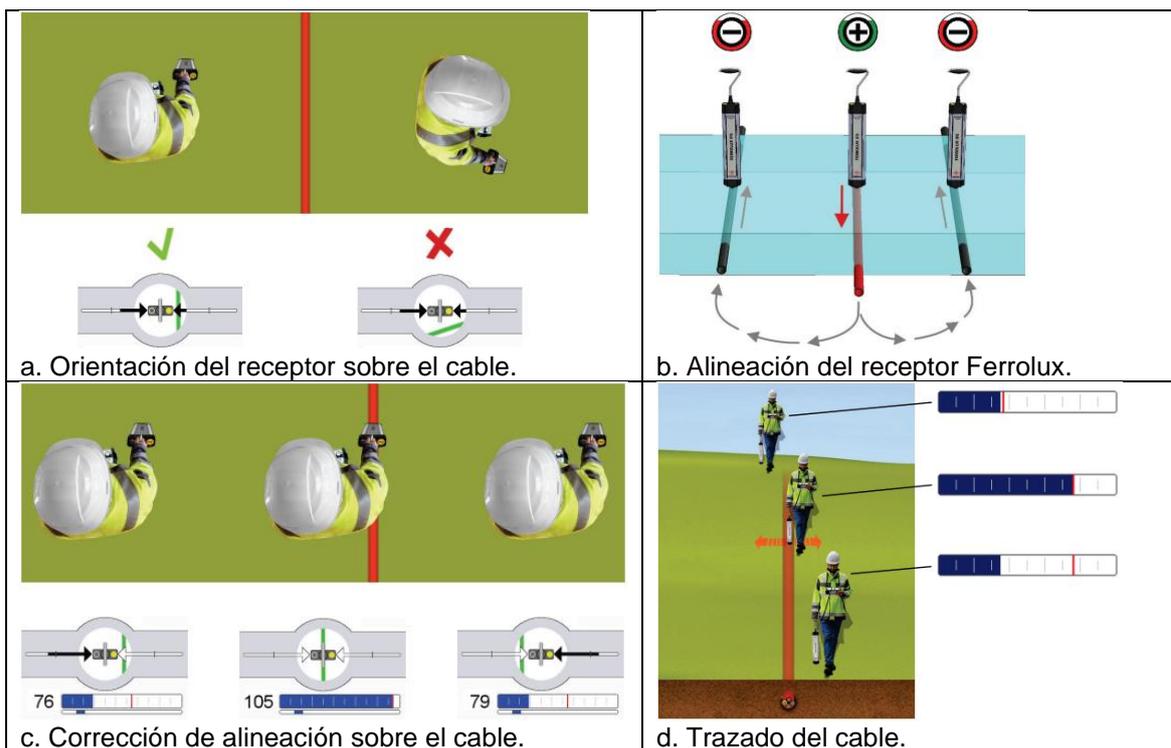


Figura 38. Trazado de ruta de cable con el dispositivo Ferrolux iFS.

7.4.5.2 Activación del Generador de Audiofrecuencia.

1. Seleccionar la función Generador de audiofrecuencia , del modo de operación Localización punto exacto .
2. Seleccionar la fase correspondiente a una de las líneas cargables (Ej: L2-N).

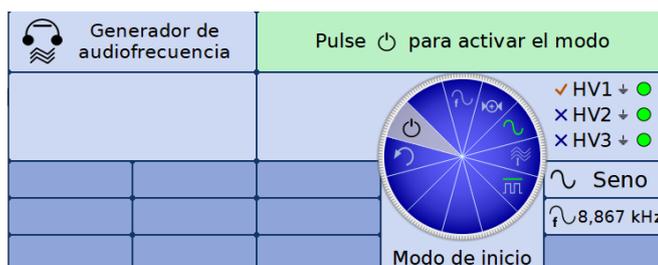


Figura 39. Menú de selección del modo generador de audiofrecuencia.

3. Ajustar la frecuencia de salida f en función de la longitud de conductor.

Nota: Para cables cortos, el ajuste es de mayor frecuencia (f_3); y para cables largos, el ajuste es de menor frecuencia (f_1). Se dispone de 3 frecuencias por defecto disponibles 0,488 kHz (f_1), 0,956 kHz (f_2) y 8,867 kHz (f_3).

Generalmente el sistema sugiera una frecuencia (8440 Hz) para la sintonización con el equipo Ferrolux.

4. Activar el parámetro seno \sim para transmitir una señal sinusoidal pura a la frecuencia ajustada como se muestra en la Figura 39.
5. Activar el modo de inicio con ⏻ .
6. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT \blacksquare (**HV ON**).
7. Confirmar la potencia de corriente P_{nom} de la señal, con 1W en su inicio, para reajustar la frecuencia de salida en $f \sim$.
8. Sintonizar la unidad receptora a la misma frecuencia que la Van.

Res: La Van inyecta una señal de AC al cable a la frecuencia ajustada, el grupo 2 se ubica en superficie sobre la posición del cable con la unidad receptora.

9. Activar el modo seleccionar señal ⊕ , para que la unidad receptora detecte la dirección de flujo de la señal, posterior a ello volver a activar el modo sinusoidal \sim
10. Iniciar el trazado de cable con el receptor Ferrolux desde un punto de partida en superficie hasta la ubicación aproximada de la avería.
11. Durante el transcurso del trazado, si la intensidad de señal de audiofrecuencia disminuye, incrementar la potencia P_{nom} , y reactivar el modo ⊕ en caso de requerir alinear el equipo Ferrolux con la dirección del cable.

Nota: Se puede presentar una ventana de advertencia cuando el receptor se haya desconectado o desintonizado.

12. Una vez trazada la ruta del cable pasando por la ubicación aproximada de la avería, detener el generador de audiofrecuencia apagando la alta tensión con **HV OFF**.
13. Desenergizar la punta de línea trazada y proceder a la localización puntal.

7.4.6 LOCALIZACIÓN PUNTAL DE LA FALLA UTILIZANDO EL EQUIPO DIGIPHONE+.

El sistema Centrix cuenta con 1 método para localización de fallas por Onda de Choque que trabaja en conjunto con el equipo de localización Digiphone+2, además de una función adicional para acondicionar fallas complejas por Quemado.

Para esta tarea se mantienen los 2 grupos de trabajo: 1, para operar el sistema Centrix desde la Van y 2, para el seguimiento de línea con sensor Digiphone.

Seguir esquema de conexiones de puntas de cable en el extremo inicial y final para Localización de Averías. Véase ANEXO II.1.

7.4.6.1 Localización puntal con sensor Digiphone+.

1. Ubicarse en la posición a la distancia de falla previamente determinada por cualquier método de prelocalización y sobre el trazado del cable.
2. Preparar y armar el sensor Digiphone+ conectándolo a la unidad de visualización.
3. Automáticamente la unidad de visualización cambia a modo Digiphone , véase disposición de ajustes de pantalla en el Anexo IV.2.2.
4. Activar la función de localización por onda de choque en el sistema Centrix de la Van para emitir la señal por el conductor del cable fallado.
5. En superficie, desplazar el sensor Digiphone siguiendo la línea mostrada en pantalla hasta encontrar el punto donde el indicador de dirección cambie de simbología. Ver Figura 40.

Nota: Las mediciones mostradas en pantalla de la unidad de visualización, indican los valores del tiempo de tránsito que van variando segundo el acercamiento a la falla. En el lado izquierdo la medición actual y lado derecho la medición previa.

6. Durante la localización, puede ajustar la reducción de ruido **BNR**, el limitador de volumen , parámetros de filtros  y sensibilidad con **F1** o **F2** para una mejor recepción de señal acústica desde la unidad de visualización, véase ANEXO IV.2.2, además de ajustar el volumen simplemente girando la perilla.
7. En la aproximación a la ubicación de la falla, presentan tres indicadores:
 - i. El sonido del golpe producto de la ruptura en la avería por ondas de choque se intensifica a medida que se aproxima a la falla.
 - ii. La diferencia del tiempo de tránsito (**ms**) disminuye hasta el valor mínimo. Esta diferencia puede convertirse en el valor de profundidad (**m**) a la falla.
 - iii. El indicador de dirección en pantalla cambia su forma de flecha a un punto cuando se encuentra sobre la falla.
8. Una vez realizada e identificada la localización exacta de la falla desde superficie, marcar con espray amarillo esta posición con el símbolo .

Dato: El indicador de dirección  y las unidades de medición $\frac{m}{ms}$ son habilitados en el menú de configuración  en la unidad de visualización. Véase Anexo IV.2.2.

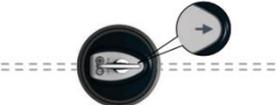
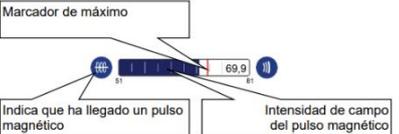
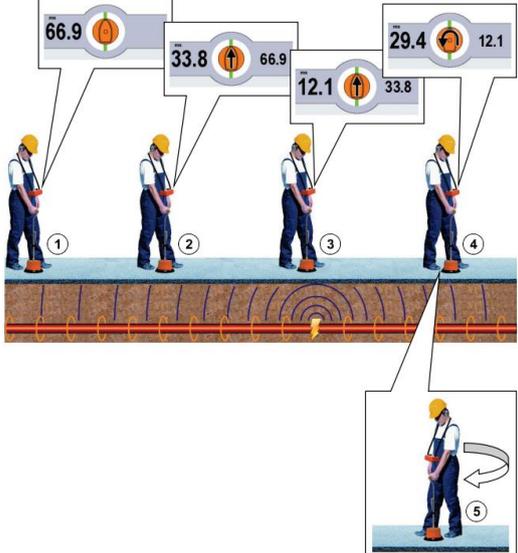
Indicador de dirección en pantalla.		Rastreo de cable.	
 <p>Sin mensaje En la posición previa, una diferencia de tiempo de tránsito y por lo tanto un valor comparativo no pudieron ser medidos.</p>	 <p>Sin mensaje La medida tomada más reciente, se desvía en más de 10% de la medición y no es considerada para una indicación de dirección.</p>	 <p>Próximo a la falla El último cambio en la posición disminuyó la distancia a la falla.</p>	 <p>Alejado de la falla El último cambio en la posición incrementó la distancia a la falla.</p>
 <p>Cercano a la falla Las últimas dos lecturas indican que el sensor está colocado cercano a la posición de la falla.</p>	<p>Paso Acción</p> <p>1 Coloque el sensor sobre el suelo con la flecha apuntando en la dirección donde Usted crea que el cable se encuentra.</p>  <p>2 Espere a que la unidad indicadora señale la llegada del pulso magnético.</p> <p>Indica que ha llegado un pulso magnético</p>  <p>3 Si no se muestra la brújula de cable verde o salta adelante o atrás de forma esporádica, la potencia de señal no es lo suficientemente fuerte para medir la ubicación del cable de forma fiable. Intente, en este caso, mejorar la potencia de señal girando el sensor sobre su propio eje o moviéndolo lentamente en distintas direcciones. Esto debería hacerlo hasta que la brújula del cable verde se vea y permanezca de forma duradera en la misma posición.</p>  <p>4 Gire el sensor con lentitud en la cadencia de los impulsos hasta que el cable verde se muestre en la pantalla en vertical, es decir, que se muestre la flecha en la dirección del trayecto del cable.</p>  <p>5 Mueva el sensor a ambos lados en el tiempo con los pulsos (en sentido cruzado al trazado del cable hasta que el indicador muestre que está exactamente sobre el cable. Esta es la posición de inicio para la localización exacta.</p> 		
<p>Aproximación a la Falla.</p> 			

Figura 40. Localización exacta de falla en superficie con dispositivo Digiphone+2.

7.4.6.2 Activación de la función Onda de Choque.

14. Seleccionar la función Onda de Choque  del modo de operación Localización punto exacto .
15. Seleccionar la fase correspondiente a la línea con avería (Ej: L1-N).

	Onda de Choque	Pulse  para activar el modo	
		 <ul style="list-style-type: none"> ✓ HV1 +  ✗ HV2 +  ✗ HV3 +  	
		 Automático	 6 seg
	U_T 16 kV	Rango	
	E_{MAX} 0 J		

Figura 41. Menú de selección para Localización de punto exacto por onda de choque.

16. Confirmar el rango de tensión U_{r}^1 a habilitar, en un intervalo de kV cercano y superior a la tensión de encendido de la avería.
17. Activar modo de disparo automático en $\frac{444}{\text{AUTO}}$ y el tiempo entre choques de 6 u 8 segundos en $\frac{444}{\text{OFF}}$.
18. Activar el modo de inicio con .
19. Habilitar la alta tensión mediante el botón de encendido de AT  (**HV ON**).
20. Confirmar la tensión nominal U_{nom} [kV] de la onda de choque a un valor mínimo de encendido de la avería, pero con la mayor energía para la descarga del Thumper.
21. Iniciar la salida de onda de choque automático pulsando .

Res: La fuente de voltaje de la Van inyecta las ondas de choque cada 6 u 8 segundos por el cable hasta la avería.

22. Localizar la falla a la distancia aproximada en superficie utilizando el sensor Digiphone+, determinando la ubicación donde mayor sea la incidencia del choque. En caso de requerir una mejor recepción, aumentar la energía de choque en U_{nom} .
23. Una vez localizada la avería con el sensor, detener las ondas de choque con  y apagar la alta tensión con **HV OFF**.
24. Desenergizar la punta de línea utilizada.

7.4.7 IDENTIFICACIÓN DE LA FASE FALLADA.

Una vez encontrado el punto de avería desde la superficie, convocar al grupo de construcción o mantenimiento de redes subterráneas para los siguientes pasos:

1. Cavar el área marcada y acceder al cable o a la terna de cables.
2. Verificar visualmente el estado del o de los cables para identificar averías, o,
3. Utilizar la bobina de lectura IFA para la identificación de fase con avería.
4. Cortar y retirar la sección de la fase averiada y aplicar TDR para verificar continuidad y ausencia de fallas adicionales en los tramos abiertos del cable.
5. Realizar el correspondiente empalme y aplicar pruebas de diagnóstico VLF y DP para cerciorarse del apropiado estado del cable y del nuevo empalme.

8. TRABAJOS CON MEGGERBOOK CABLE.

8.1 OBJETIVO

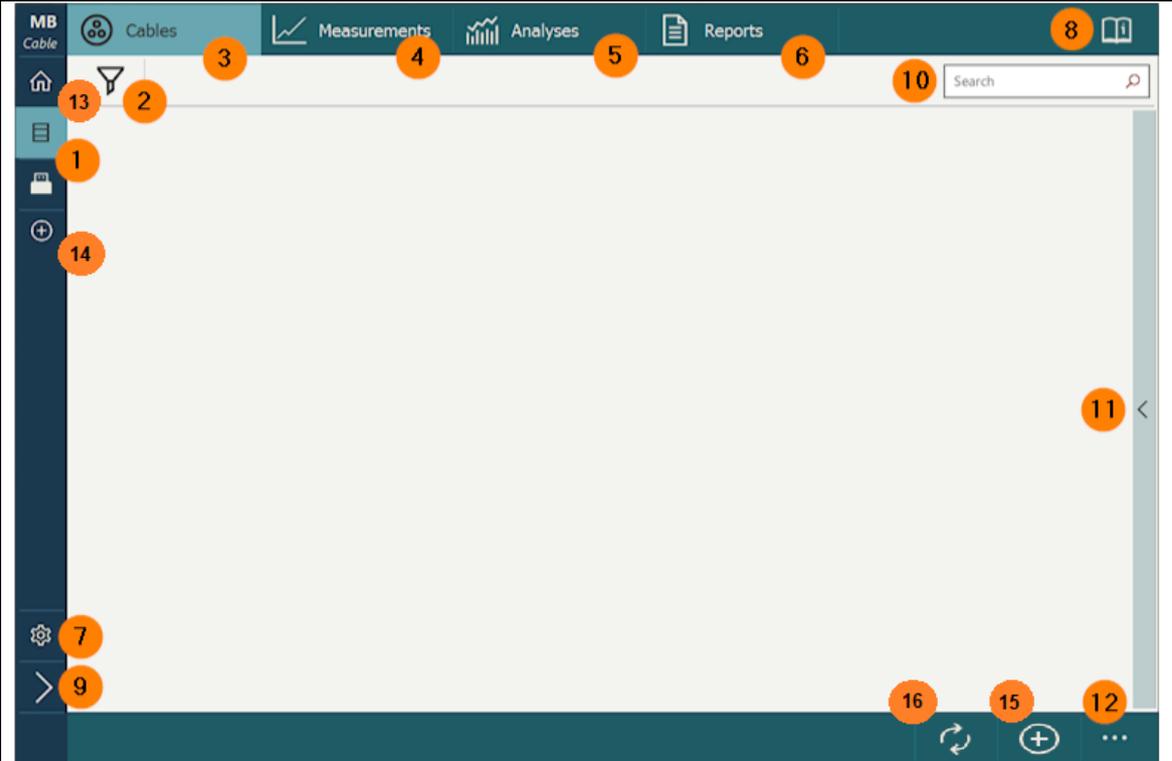
Manejar el software de base de datos MeggerBook Cable para gestionar y analizar mediciones, crear datos de cables nuevos y generar informes de trabajo, así como importar y exportar archivos compatibles.

8.2 EQUIPAMIENTO

Laboratorio Móvil de Cables Centrix.

Modos de operación MeggerBook Cable y/o MeggerBook Cable Report para PC.

8.3 ENTORNO DE TRABAJO MEGGERBOOK CABLE.



The screenshot shows the MeggerBook Cable user interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for 'Cables', 'Measurements', 'Analyses', and 'Reports'. Below this is a search bar and a list of items. On the left side, there is a sidebar with various icons for navigation and actions. At the bottom, there is a floating action button and a refresh button. The interface is annotated with 16 numbered callouts (1-16) pointing to specific UI elements.

1. Base de datos local y ubicaciones de almacenamiento externo.	8. Manual de ayuda.
2. Filtro de lista de cables, mediciones, análisis e informes.	9. Mostrar u ocultar etiquetado.
3. Menú de cables.	10. Campo de Búsqueda.
4. Menú de mediciones.	11. Barra lateral de información rápida.
5. Menú de análisis	12. Botón de funciones adicionales.
6. Menú de informes.	13. Menú principal / Flujos de trabajo
7. Configuración General.	14. Botón de importación de archivos.
	15. Botón crear cable nuevo.
	16. Botón Refrescar.

Figura 42. Interfaz de usuario en entorno MeggerBook Cable.

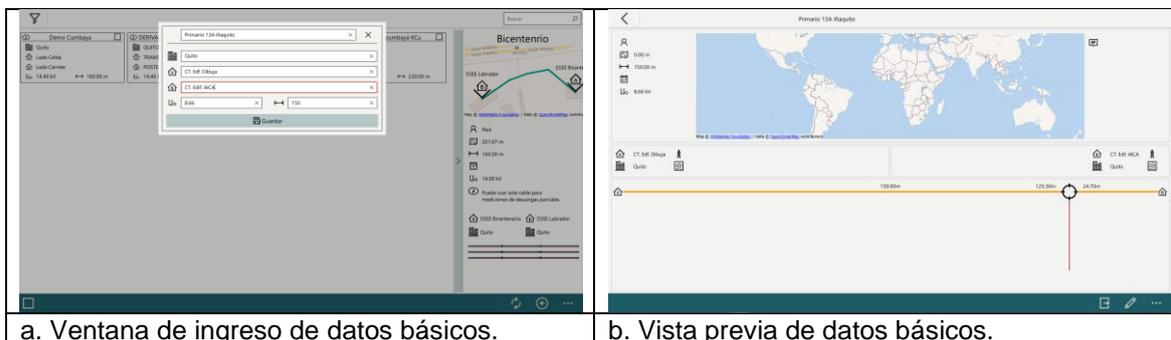
8.4 PROCEDIMIENTO PARA CREACIÓN DE CABLES.

La creación de datos para un sistema de cables nuevo es más que recomendable para antes de ejecutar pruebas con la Van de Cables, sobre todo, es requerido para mediciones de descargas parciales, mejorando la gestión de sus mediciones y generación de informes.

El procedimiento para crear datos de cables se detalla a continuación.

1. Acceder al lugar de trabajo del software MeggerBook Cable sea desde la Van en su respectivo modo de operación  o desde la versión Report en una PC Windows.
2. Pulsar el icono inferior  crear cable nuevo para abrir la ventana de ingreso de datos.
3. Llenar los datos básicos del sistema de cables con la denominación de la terna, ciudad, denominación de las cámaras en sus extremos, voltaje nominal F-N y longitud aproximada.

Res: Al momento de guardar, se despliega la vista previa con los datos ingresados.



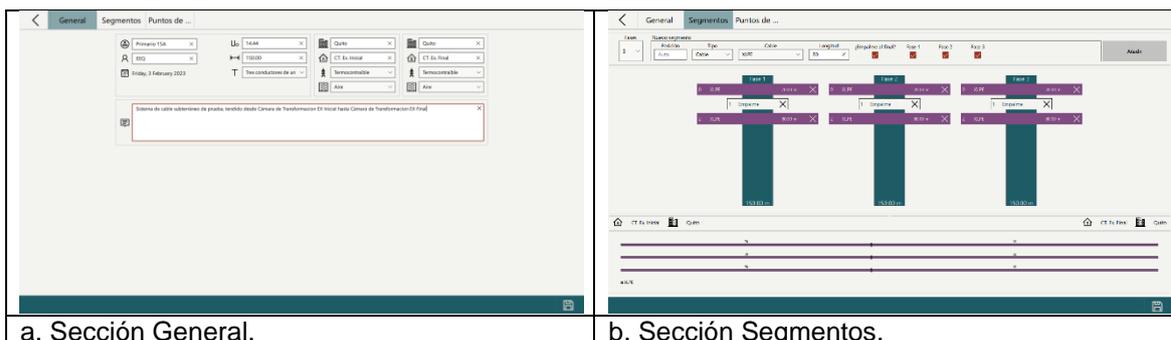
a. Ventana de ingreso de datos básicos.

b. Vista previa de datos básicos.

Figura 43. Ventanas de datos básicos de cable nuevo.

4. Pulsar modificar  para completar con datos más puntuales de la terna.

Res: Se despliega las siguientes 3 secciones para detallar la información del sistema de cables.



a. Sección General.

b. Sección Segmentos.



Figura 44. Secciones de modificación de datos para cable nuevo.

5. Ingresar en la pestaña General los datos referentes al cable, tipo de terna, tipo de terminaciones y aislamiento de los extremos.
6. Editar en Segmentos la longitud de los tramos del cable, indicando el tipo de aislamiento y agregando empalmes al final de tramo en caso de existir (activar la casilla de *empalme al final* y pulsar el botón *añadir*), para completar el cable con otro tramo o simplemente terminarlo, definir la longitud continua del cable, pulsar el botón *añadir*, desactivando la casilla de empalme al final.

7. En la pestaña Puntos de Referencia, dibujar el trazo de la terna, añadiendo las estaciones en las ubicaciones del extremo inicial y final de la terna, así como los puntos de cambios de dirección del cable.

Para añadir un punto de referencia se debe mantener pulsado por unos segundos el clic izquierdo del ratón sobre la posición estimada de este punto; se debe navegar por el mapa disponible y acercarse al área donde se encuentra el cable.

8. Guardar las modificaciones realizadas al cable nuevo con el botón inferior .

Res: Se retorna a la vista previa del cable con la información incorporada.

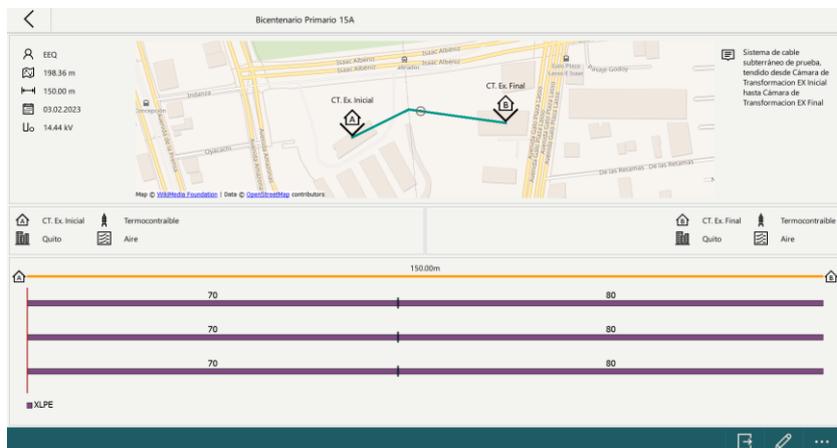


Figura 45. Vista previa final del cable nuevo creado.

9. En trabajos en campo con la Van, continuar a las mediciones pulsando el icono inferior  e indicando la estación desde donde se ejecutará la prueba para retornar al sistema Centrix y acceder a sus modos de operación.
10. Exportar  el archivo de cable nuevo a una unidad de almacenamiento USB externa, para trabajar con las mediciones y creación del informe.

8.5 PROCEDIMIENTO PARA CREACIÓN DE INFORMES.

Los informes se pueden crear desde MeggerBook Cable de la Van como desde su versión Report instalado en una PC.

1. En la versión Report, con el icono  de la barra lateral, añadir el archivo de cable que contine las mediciones tomadas en campo para acceder a sus datos en .
2. Seleccionar los datos de cable, mediciones y análisis desde los respectivos menús.
3. Importar los datos seleccionados a la base de datos local con el icono inferior .

Los datos son importados a la pestaña “Lugar de trabajo”  donde son accesibles para la creación de informes y análisis.

4. Generar el análisis entre mediciones Teleflex, seleccionando las mediciones y pulsando el icono inferior crear análisis  en caso de requerirlas.
5. Seleccionar el cable, mediciones y análisis de la prueba ejecutada.
6. Generar el informe deseado pulsando el icono inferior .

Res: Se despliega el editor de informes con una vista previa con los datos seleccionados.

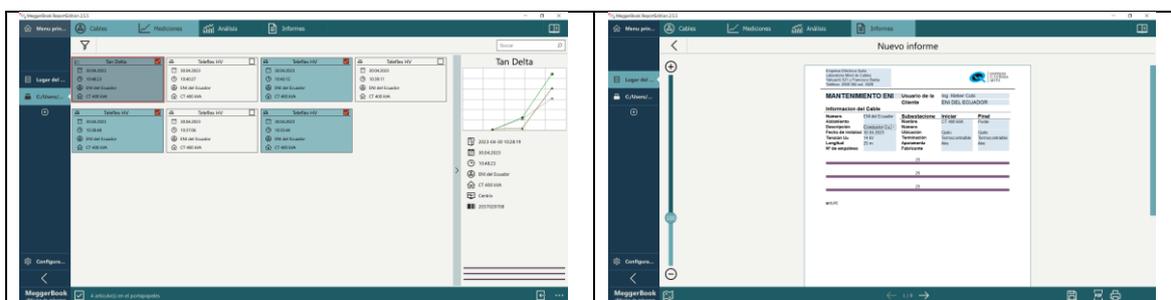


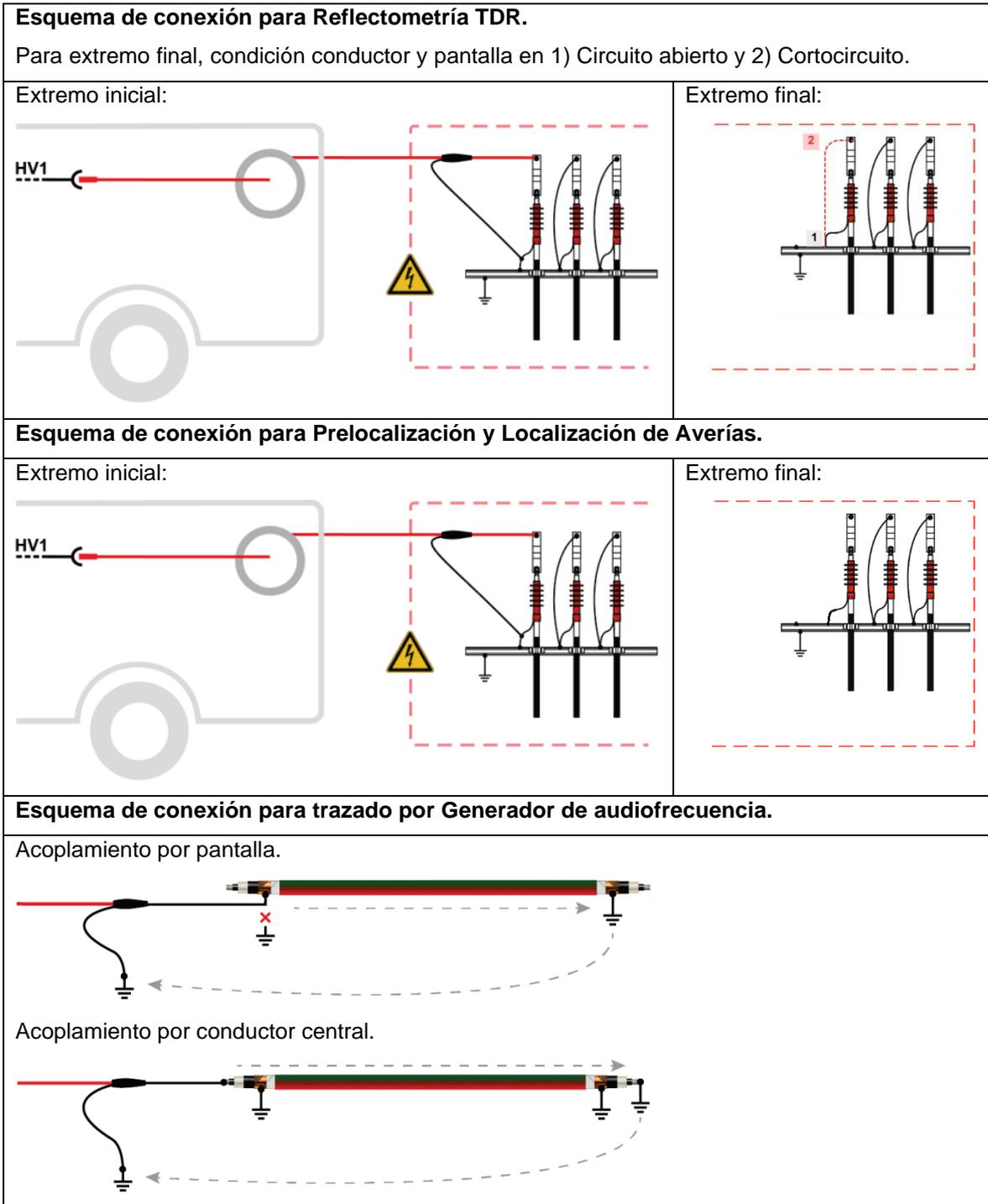
Figura 46. a. Ventana de selección de datos importados, b. Ventana de editor de informes.

7. Editar los parámetros y textos del informe dando clic izquierdo sobre sus campos de edición, también se puede ajustar la visualización de la traza del cable con .
8. Ingresar las conclusiones y observaciones respectivas a la prueba en el campo de edición “Comentarios/recomendación”.
9. Concluida la edición del informe, proceder a guardarlo  y exportarlo en formato PDF  con un nombre que lo identifique.
10. En caso de ser requerido, exportar el informe en  seleccionándolo.

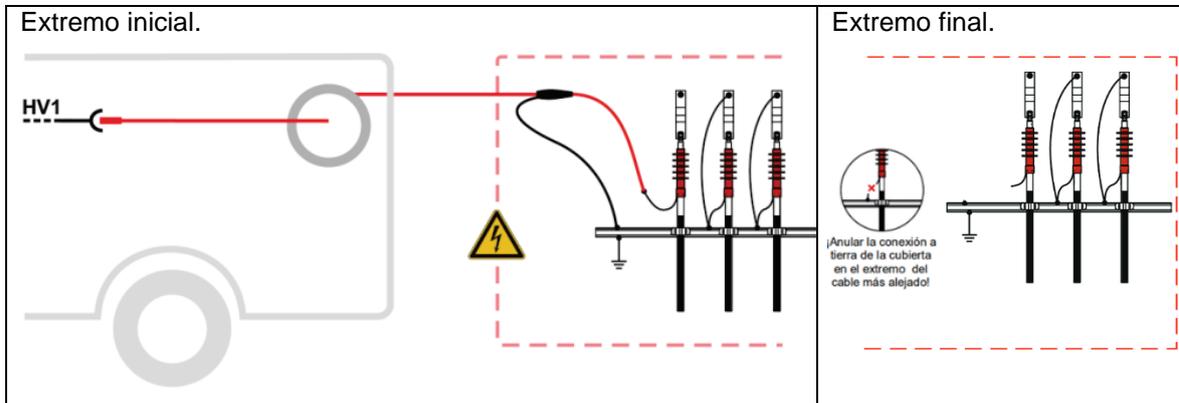
ANEXO II.

ESQUEMAS DE CONEXIÓN PARA PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS.

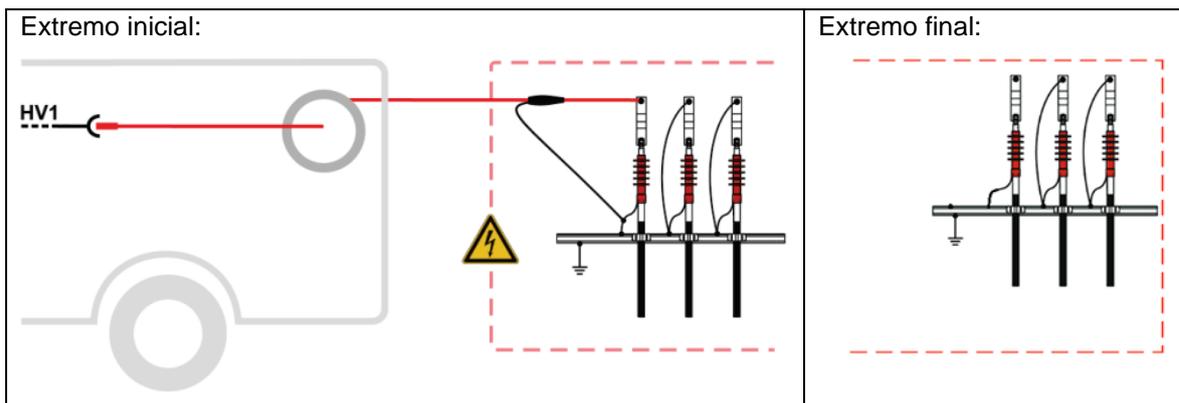
1. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA REFLECTOMETRÍA, PRELOCALIZACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS.



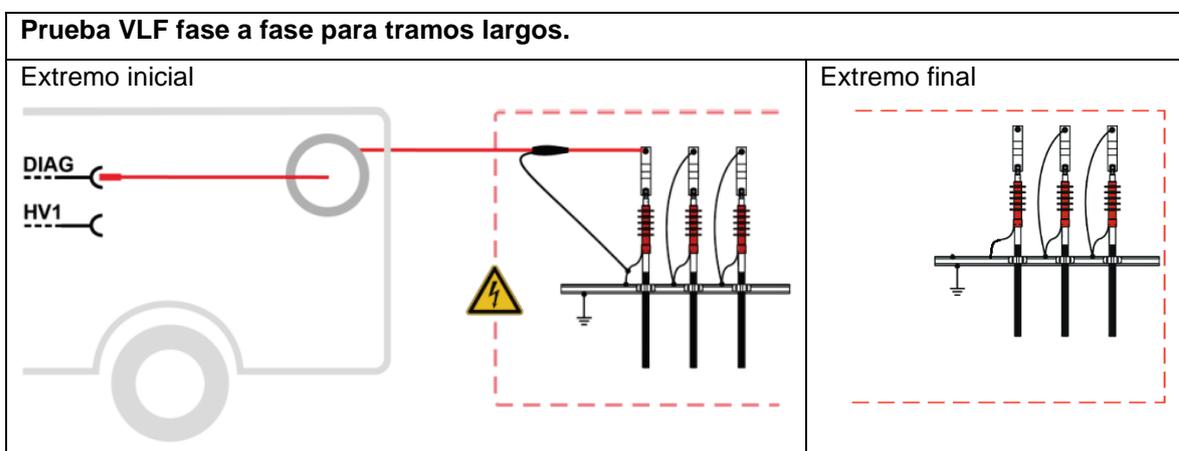
2. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE CUBIERTA Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN CUBIERTA.



3. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE CC.

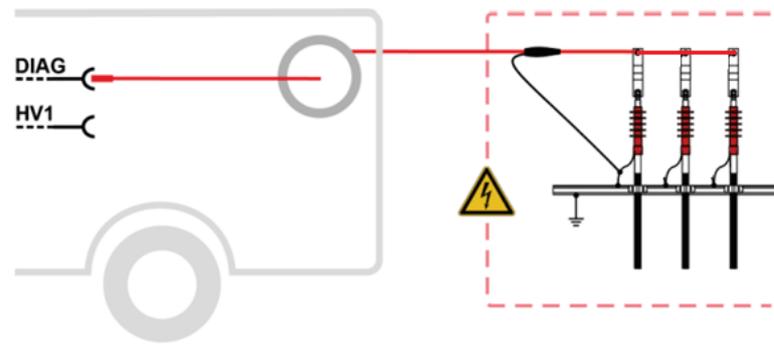


4. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA VLF.

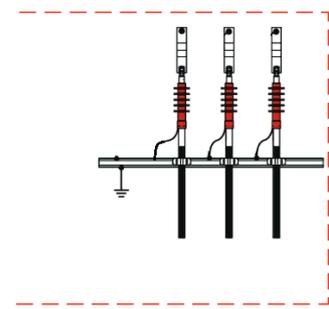


Prueba VLF trifásico para tramos cortos.

Extremo inicial.



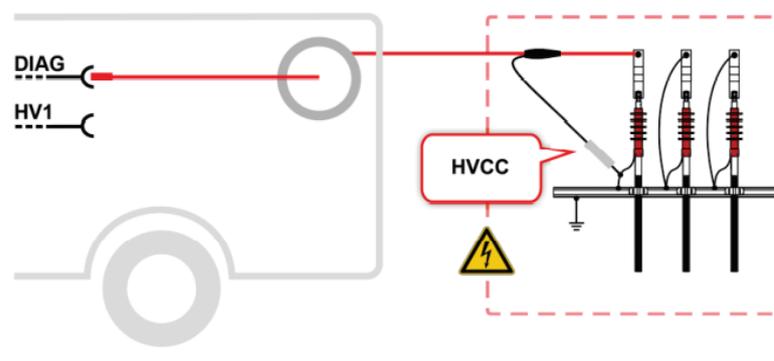
Extremo final



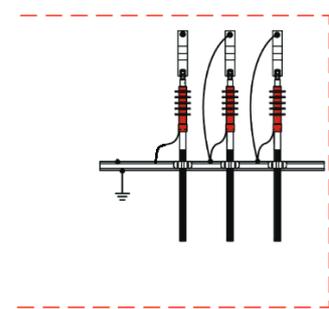
La conexión del extremo final también se los puede replicar para pruebas de diagnóstico TD y DP que utilizan voltaje de prueba VLF seno en cables de tramos cortos.

5. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA MEDICIÓN TAN DELTA.

Extremo inicial.

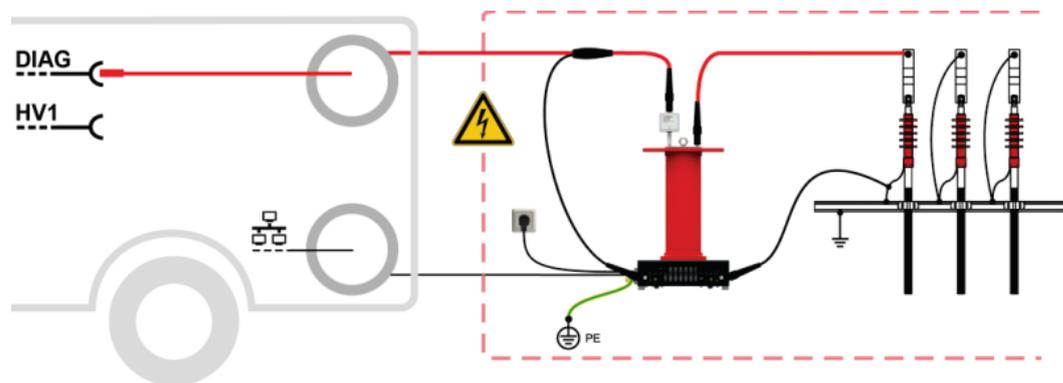


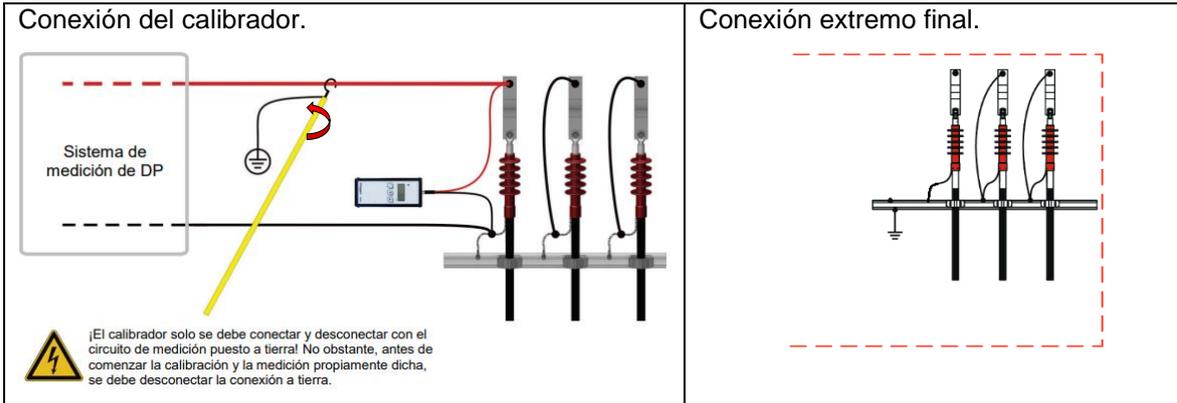
Extremo final.



6. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA DIAGNÓSTICO DP CON ACOPLADOR EXTERNO PDS 62-SIN

Extremo inicial.



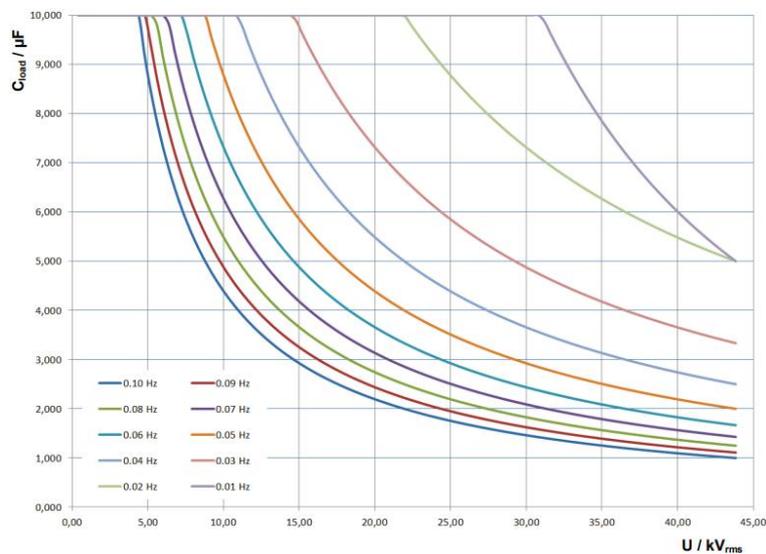


7. VALORES DE AJUSTE PARA MEDICIÓN CON TELEFLEX AT.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Rango X X_n	Usuario (Ej: 1km)	Ganancia Y Y_0	Usuario (Ej: -20dB)
Velocidad $\frac{v}{2}$	80 m/μs	Filtro ∇	4.500 kHz
Ancho de impulso \square	200 ns	Amplitud de pulso \square	50 V
Compensación ∇	50.0 Ω	Desatenuación \blacktriangle	20 %

Alcance necesario	Ancho de pulso recomendado
< 100 m	20 ns
100 m ... 200 m	100 ns
200 m ... 1 km	200 ns
1 km ... 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

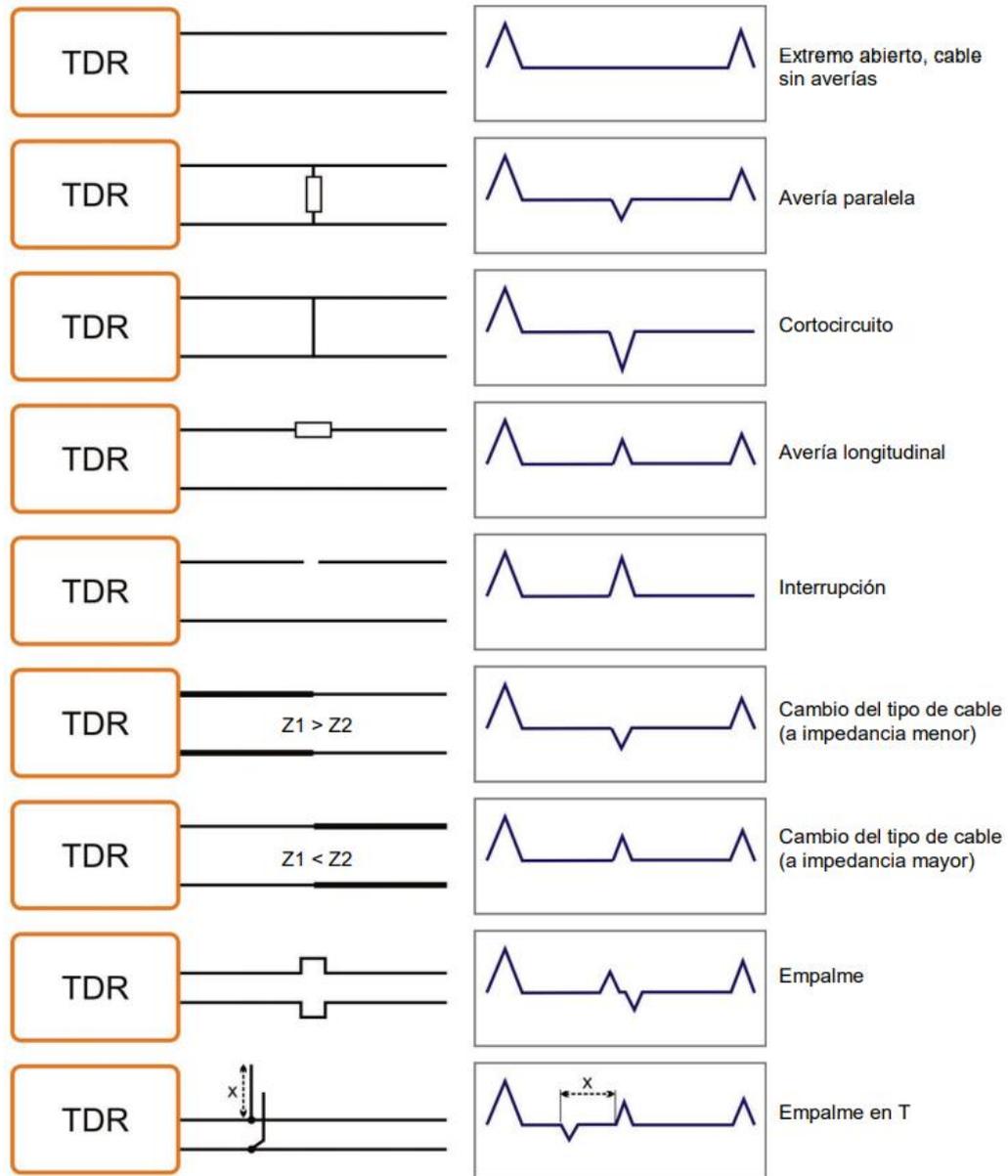
8. CAPACIDAD DEL EQUIPO DE PRUEBAS VLF TDM 62 (1 μF).



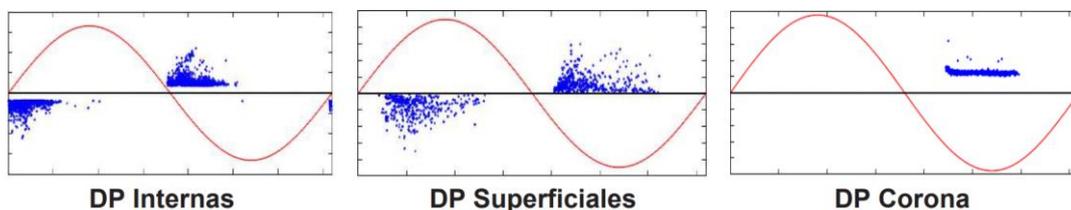
ANEXO III.

GRÁFICOS, TABLAS Y PARÁMETROS DE REFERENCIA.

1. REFLECTOGRAMAS TDR TÍPICOS.



2. PATRÓN RESUELTO EN FASE DE PDS.



3. PARÁMETROS REFERENCIALES SEGÚN NORMAS.

3.1 NIVEL DE VOLTAJE CC PARA PRUEBA DE CUBIERTA (IEC 60229:2007).

5. Prueba eléctrica tras la instalación.	
Voltaje de prueba	Duración
$4 kV_{CC} \times mm$ de espesor de cubierta con un valor máximo de $10 kV_{CC}$.	01:00 minuto

3.2 NIVELES DE VOLTAJE PARA PRUEBA DE RESISTENCIA CON VLF EN ACEPTACIÓN Y MANTENIMIENTO (IEEE 400.2-2013).

Tabla 3 —Tensiones de prueba de resistencia VLF para formas de onda sinusoidales.

Forma de Onda	Valor nominal del sistema de cables (fase a fase) [kV]	Instalación (fase a tierra)		Aceptación (fase a tierra)		Mantenimiento (fase a tierra)	
		[kV rms]	[kV pico]	[kV rms]	[kV pico]	[kV rms]	[kV pico]
Sinusoidal	5	9	13	10	14	7	10
	8	11	16	13	18	10	14
	15	19	27	21	30	16	22
	20	24	34	26	37	20	28
	25	29	41	32	45	24	34
	28	32	45	36	51	27	38
	30	34	48	38	54	29	41
	35	39	55	44	62	33	47
	46	51	72	57	81	43	61
69	75	106	84	119	63	89	
Tiempo de Prueba		60 minutos a 0,1 Hz				15 o 30 minutos a 0.1 Hz	

3.3 VALORES REFERENCIALES PARA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES VLF-PD (IEEE 400.2-2013)

5.5 Prueba de descarga parcial (PD) con forma de onda sinusoidal VLF	
Voltaje de Prueba:	Tiempo de Prueba:
Incremento gradual de tensión desde 0 U _o hasta 1.7 o 2 U _o del valor nominal de cable en RMS F-N.	De 20 a 50 segundos (2 a 5 ciclos) por cada paso de tensión.
Registro de mediciones:	Forma de onda:
PDIV: Tensión de inicio de descarga parcial, V _i . PDEV: Tensión de extinción de descarga parcial, V _e . Patrón resultado en fase y mapa de PD	Senoidal VLF de 0.1 Hz

3.4 VALORES REFERENCIALES DE EVALUACIÓN EN PRUEBA DE TANGENTE DELTA CON VLF-TD (IEEE 400.2-2013).

5.4 Pruebas de tangente delta (TD) con forma de onda sinusoidal VLF	
Voltaje de Prueba:	Mediciones de TD:
Se mide tangente delta (TD) a 0.5 U_0 , 1.0 U_0 y 1.5 U_0 de la tensión nominal de cable en RMS F-N.	Cada paso debe incluir al menos seis mediciones de TD simple a intervalos de 10 s entre cada medición a 0,1 Hz

Tabla 4 — Cifras históricas de mérito para la evaluación del estado de aislamientos basados en PE envejecidos en servicio (p. ej., PE, XLPE y TRXLPE) utilizando 0,1 Hz.

Valor promedio VLF-TD para U_0 [10^{-3}]		Estabilidad del tiempo (VLF-TDTS) Desviación estándar σ para U_0 [10^{-3}]		Diferencial (VLF-TDD) $\Delta \tan \delta$ ($1.5U_0 - 0.5U_0$) [10^{-3}]	Evaluación del estado
< 4	y	< 0,1	y	< 5	No se requiere acción.
4 a 50	o	0,1 a 0,5	o	5 a 80	Se recomienda estudio adicional.
> 50	o	> 0,5	o	> 80	Acción requerida.

Tabla 5 — Cifras históricas de mérito para la evaluación del estado de aislamientos rellenos en servicio (p. ej., EPR relleno de mineral) utilizando 0,1 Hz.

Valor promedio VLF-TD para U_0 [10^{-3}]		Estabilidad del tiempo (VLF-TDTS) Desviación estándar σ para U_0 [10^{-3}]		Diferencial (VLF-TDD) $\Delta \tan \delta$ ($1.5U_0 - 0.5U_0$) [10^{-3}]	Evaluación del estado
< 35	y	< 0,1	y	< 5	No se requiere acción.
35 a 120	o	0,1 a 1,3	o	5 a 100	Se recomienda estudio adicional.
> 120	o	> 1,3	o	> 100	Acción requerida.

Tabla 6 — Cifras históricas de mérito para la evaluación de la condición de aislamientos de papel envejecidos en servicio (p. ej., PILC) utilizando 0,1 Hz.

Valor promedio VLF-TD para U_0 [10^{-3}]		Estabilidad del tiempo (VLF-TDTS) Desviación estándar σ para U_0 [10^{-3}]		Diferencial (VLF-TDD) $\Delta \tan \delta$ ($1.5U_0 - 0.5U_0$) [10^{-3}]	Evaluación del estado
< 85	y	< 0,1	y	-35 a 10	No se requiere acción.
85 a 200	o	0,1 a 0,4	o	-35 a -50 o 10 a 100	Se recomienda estudio adicional.
> 200	o	> 0,4	o	< -50 o > 100	Acción requerida.

ANEXO IV.

EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS.

1. PDS 62-SIN - SISTEMA DE MEDICIÓN DE DESCARGAS PARCIALES.

Elementos de conexión e indicadores de estado del PDS 62-SIN.



Elemento	Descripción												
1	Entrada de AT (antes de la fuente de voltaje de prueba)												
2	Clavija de conexión a red												
3	Toma de tierra												
4	Puerto de red para la comunicación con el ordenador portátil de control												
5	Indicadores LED con los siguientes estados:												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>LED izquierdo</th> <th>LED derecho</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verde</td> <td>Medición en curso</td> <td>Conexión establecida entre el software y el detector de DP</td> </tr> <tr> <td>Naranja</td> <td>Medición finalizada pero no reiniciada de nuevo</td> <td>Estableciendo conexión entre el software y el detector de DP</td> </tr> <tr> <td>Rojo</td> <td>Fallo del sistema (vea página 80)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		LED izquierdo	LED derecho	Verde	Medición en curso	Conexión establecida entre el software y el detector de DP	Naranja	Medición finalizada pero no reiniciada de nuevo	Estableciendo conexión entre el software y el detector de DP	Rojo	Fallo del sistema (vea página 80)	
	LED izquierdo	LED derecho											
Verde	Medición en curso	Conexión establecida entre el software y el detector de DP											
Naranja	Medición finalizada pero no reiniciada de nuevo	Estableciendo conexión entre el software y el detector de DP											
Rojo	Fallo del sistema (vea página 80)												
6	Salida de AT (hacia el objeto de ensayo)												
7	Punto de conexión de «tierra de servicio del objeto de ensayo»												
8	Punto de conexión de «tierra de servicio de la fuente de voltaje de prueba»												
9	Ojal para enganchar la pértiga de descarga												

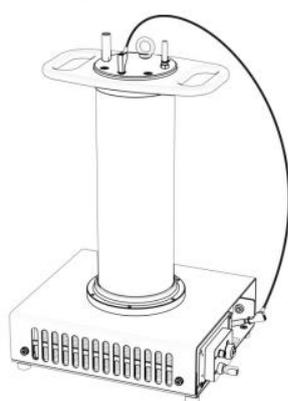
Datos Técnicos del PDS 62-SIN.

Parámetro	Valor
Rango de voltaje	Máx. 62 kV _{PEAK}
Forma de los voltajes	Voltaje VLF sinusoidal
Rango de frecuencia	0,01 Hz ... 0,1 Hz
Rango de sensibilidad	2 pC ... 100 nC
Nivel de interferencias propias de DP	< 2 pC
Frecuencia de repetición de impulsos de DP para analizar la carga	100 kHz
Análisis de la carga	Según CEI 60270
Localización de DP	<ul style="list-style-type: none"> Rango de medición: 0 ... 16 000 m / v/2 = 80 m/μs Longitud mínima de cable: 75 m Velocidad de propagación v/2: 50 ... 120 m/μs Frecuencia de exploración: 125 MHz (8 ns) Ancho de banda: 3 / 20 MHz (conmutable) Precisión: 1 % de la longitud del cable Resolución: ±1 pC / ±1 m
Filtro	Filtro de AF enchufable (corriente máx. permitida de 1 A)
Fuente de alimentación	A través del adaptador de red suministrado con rango de voltaje de entrada 90 ... 264 VAC, 50/60 Hz

Datos Técnicos del Calibrador CAL 1.

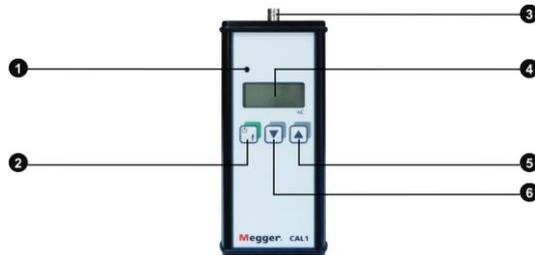
Parámetro	Valor
Nivel del impulso	100 pC, 200 pC, 500 pC, 1 nC, 2 nC, 5 nC, 10 nC, 20 nC, 50 nC, 100 nC
Condensador de calibración C ₀	100 pF para 1 nC, 2 nC, 5 nC, 10 nC, 20 nC, 50 nC, 100 nC 10 pF para 100 pC, 200 pC, 500 pC
Tiempo de subida	< 60 ns
Frecuencia del impulso	50 Hz, 60 Hz, 100 Hz o sincronización con la frecuencia de red de la iluminación ambiental mediante un sensor de luz
Suministro eléctrico	Pila de 9 voltios
Pantalla	Indicador de 7 segmentos
Conexiones	Conector BNC
Tiempo de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> Pila de litio: Aprox. 150 horas (para 1 nC) Pila alcalina de manganeso: Aprox. 75 horas (para 1 nC)

Almacenamiento y transporte.



Cortocircuitar punto de medición (1) y punto de tierra (8).

Elementos de conexión e indicadores del Calibrador CAL1.



Elemento	Descripción
1	Fotodiodo de sincronización de frecuencia
2	Botón de encendido y apagado y botón de selección de frecuencia
3	Conector BNC para el cable correspondiente
4	Pantalla
5	Aumentar el nivel de los impulsos
6	Reducir el nivel de los impulsos

2. DIGIPHONE+2 NTRX: RECEPTOR DE ONDAS DE CHOQUE PARA LA LOCALIZACIÓN ACÚSTICA Y ELECTROMAGNÉTICA DE FALLAS.

Kit DigiPHONE+2

- 1 Sensor de sonido para terreno difícil. Desarrollado para las condiciones más exigentes.
- 2 Adaptadores para terreno seleccionables. Diseñados para lograr la mejor absorción de sonido posible en suelos con distintas propiedades.
- 3 Mango ergonómico. Altura ajustable para una máxima comodidad.
- 4 Unidad de pantalla multifuncional (consulte la página 6).
- 5 Auriculares Bluetooth® ANC. (del inglés Active Noise Cancelling, cancelación activa de ruido) de alta gama con sonido nítido gracias a la calidad de sonido de Sennheiser.

Unidad de Visualización

Elemento	Descripción
1	Pantalla
2	Botón giratorio
3	Tecla de función 2
4	Clavijas de conexión de picas de tierra de ESG Máxima tensión de entrada: 60 VDC / 42 VAC _{PEAK}
5	Clavija de conexión de sensor / receptor
6	Tecla de función 1
7	Unidad de visualización encendido/apagado (pulsación larga), Iluminación de fondo encendido/apagado (pulsación corta), LED indica equipo encendido (verde) y baterías bajas (rojo)
8	Clavija de conexión de auriculares

Accesorios y modos de medición.

1. Receptor de audiofrecuencia Ferrolux iFS
2. Sensor de ruido DigiPhone DPP-SU2.
3. Jabalinas de tierra ESG

Menú de operación de la unidad indicadora.

Función del botón giratorio.

Acción	Función en la <u>interfaz de medición</u>	Función en la <u>interfaz de menú</u>
	Consulta de la <u>interfaz de menú</u>	Consulta del punto del menú actual
	Adaptación del rango de medición y/o el volumen (dependiendo del modo activo)	Selección del menú deseado

Botones de Función.

Ajustados desde el ítem de menú de cada modo de medición.

2.1 RECEPTOR DE AUDIOFRECUENCIA IFS

Conexión y preparación del receptor de audiofrecuencia iFS.



1. Conectar clavija del receptor.
2. Conectar clavija de la unidad de visualización.
3. Presionar y girar el asa del receptor 90°.
4. Encender la unidad indicadora.

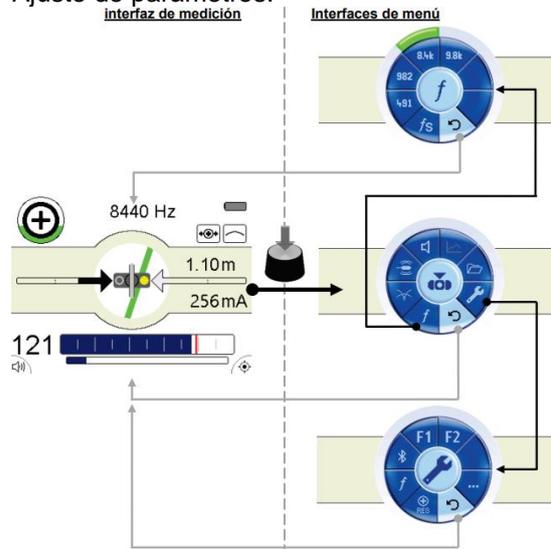
Receptor de audiofrecuencia iFS y bobina IFA.



Menú de selección modo Ferrolux.



Ajuste de parámetros.



Ítems de menú.

Punto del menú	Descripción
f	Selección de las frecuencias seleccionables a través del menú correspondiente. De esta forma se puede limitar la selección del menú de frecuencia a las que se utilizan habitualmente para disfrutar de una mayor claridad. A través del punto del menú ... se puede consultar una segunda lista de selección.
$\frac{m}{ft}$	Ajuste de la unidad de longitud (metros o pies).
Bluetooth	Con este menú se puede conectar la pantalla con un auricular con Bluetooth o receptor de GPS (vea página 87). En el caso de que exista una conexión a un receptor GPS se muestran las coordenadas transmitidas por él en la pantalla de medición de forma permanente. Además, se graban las coordenadas junto con los valores de medición correspondientes en la memoria interna cuando se registra un nuevo punto de medición.
RES	Durante la localización y trazado de cables muy largos con el modo SignalSelect, la conocida como diatonia capacitativa genera un desplazamiento de fase que dificulta la identificación inequívoca del cable cuando aumenta la distancia al emisor. Por tanto, se realiza un restablecimiento de SignalSelect directamente en la proximidad del emisor una vez, y si es necesario en el transcurso del trazado, donde el desplazamiento de fase se transmite y compensa.
F1 F2	A través de este punto del menú se pueden asignar a estas teclas de la unidad de visualización las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> Speaker Con cada accionamiento de la tecla de función se cambia entre los métodos de medición (vea página 45) disponibles f Con cada accionamiento de la tecla de función se cambia la frecuencia. Aquí sólo se tendrán en cuenta en los ajustes básicos las frecuencias activadas (ver página anterior). Volume Tras accionar la tecla de función se puede realizar el ajuste del volumen girando la perilla. Mute Al accionar la tecla de función se puede activar / desactivar el silenciamiento. Data Al accionar los puntos de funcionamiento se guardan los datos de medición y coordenadas GPS (sólo si existe una conexión con un receptor Bluetooth) como nuevo punto de medición (vea página 49).
i	Versión de software actual
Globe	Ajuste del idioma de pantalla.
Reset	Restablecer la configuración de fábrica del equipo.

Disposición de la pantalla de medición.

Labels in diagram: Dirección de señal y calidad de SignalSelect, Frecuencia ajustada en la actualidad (8440 Hz), Funciones y modos activos (ver abajo), Estado de la batería, Izquierda/derecha Situación del trazado, Profundidad de las sondas / los cables (1.10 m), Potencia de corriente (256 mA), Disposición de cables estimada, Potencia de señal en dB (121), Función de la tecla F2, Función de la tecla F1, Gráfico de barras de potencia de señal con puntero de arrastre e indicador numérico, Rango de sensibilidad ajustado en la actualidad.

Funciones y modos activos.

Símbolo	Descripción
	Modo de medición activo (vea página 45)
	Método de mínimo
	Método de máximo
	Método de supermáximo
	Frecuencia activa seleccionada (vea página 45)
	Modo de localización por sonda activo (vea página 87)
Avisos de estado de Bluetooth (vea página 87)	
	Búsqueda de equipos visibles en marcha
	Le establece la conexión al equipo
	El auricular está conectado
	Receptor de GPS conectado

2.2 SENSOR DE RUIDO DE SUELO DPP-SU2

Conexión del sensor de ruido DPP-SU2

1. Conectar clavija del sensor.
2. Conectar clavija de la unidad de visualización.
3. Conectar clavija de auriculares.
4. Acoplar sondas portátiles.
5. Encender la unidad indicadora.

Ensamblar la sonda con la placa base para suelo de

- Apoyo de tres puntos: Preferido para suelos sólidos con desmenu.
- Varilla sensora de 75 mm: Preferido para suelos con vegetación y suelos blandos.
- Varilla sensora de 18 mm: preferida para suelos suaves y sólidos (por ej. asfalto).

Monte / desmonte el asa telescópica.

Montaje

Desmontaje

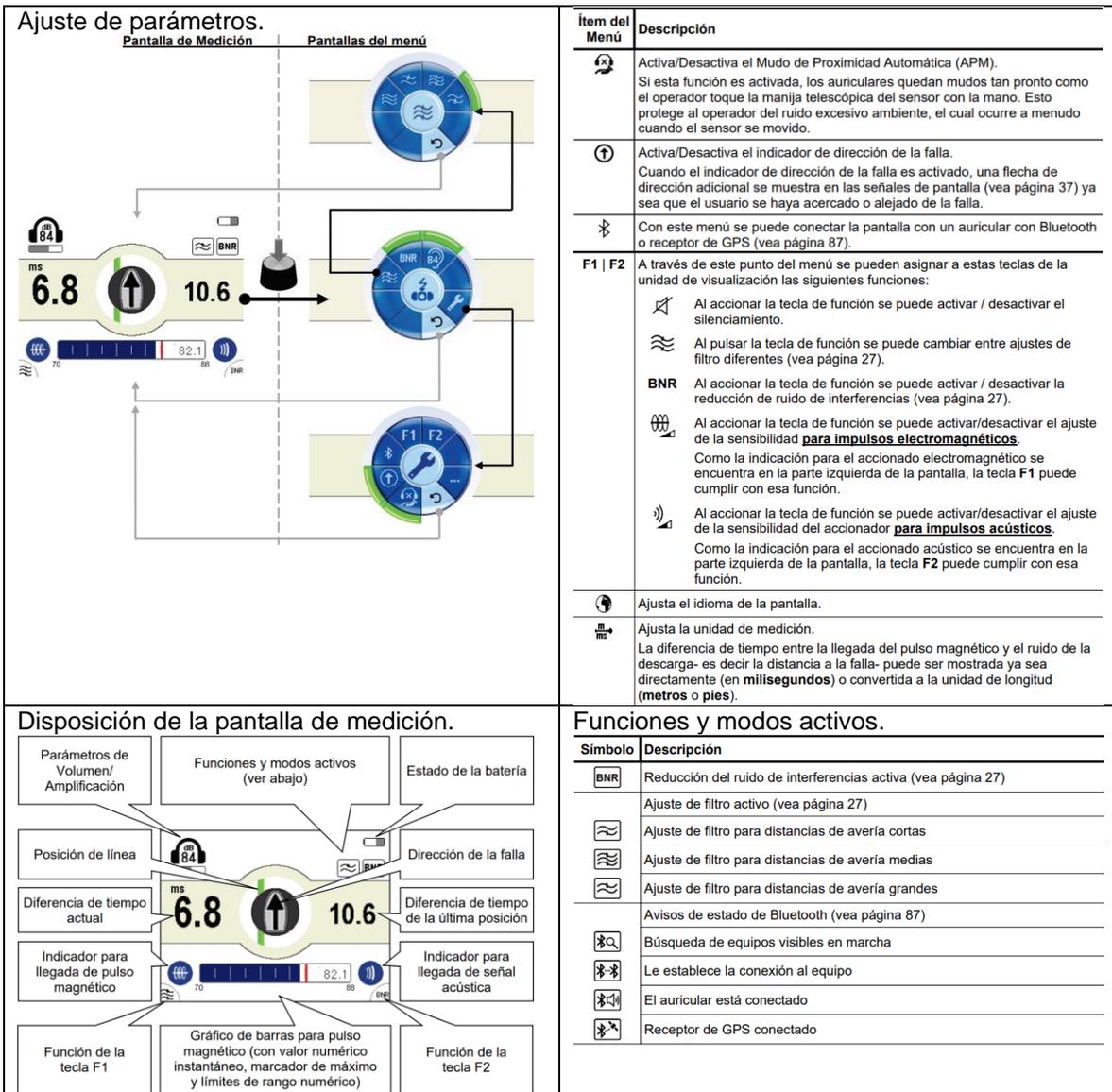
Ajuste de altura de manija.

Menú de selección modo Digiphone.

Labels in diagram: Función inactiva, Función activa, Nivel del menú actual, Ítem del menú actualmente seleccionado, Descripción del ítem del menú actualmente seleccionado, Regresar a la pantalla del menú, Configuración.

Ítems de menú.

Ítem del Menú	Descripción
BNR	Activa/desactiva la Reducción de Ruido Ambiente (BNR). La reducción de ruido ambiente es usada para que sea más fácil la detección de pulsos acústicos en ambientes con mucha interferencia. A menudo no es posible distinguir el ruido ambiente causado por la lluvia o el tráfico. Por ejemplo a partir de la señal real y esto hace que la localización exacta sea más dificultosa.
	Activa/desactiva el limitador de volumen. Si esta función es activada, el volumen es limitado a un máximo de 84 dB(A).
	Cuando el limitador de volumen está siendo usado, la amplificación acústica no debería quedar con un ajuste elevado! La amplificación excesiva, que requiere el limitador automático para intervención constante, atenuará el ruido de la descarga. El ruido ambiente por otra parte, se volvería más dominante a medida que también es más amplificado.
	Parámetros de filtros (vea en la página siguiente)



3. OBJETOS DE MENÚ PARA FUNCIONES BÁSICAS TELEFLEX.

Objeto de Menú	Descripción
	Permite mover el cursor a lo largo del eje X. En la parte inferior de la pantalla se muestran los valores de corriente, voltaje, tiempo o distancia de la posición actual.
	Permite aumentar y reducir el tamaño del área visible del gráfico. La sección mostrada depende de la posición actual del cursor.
	Permite acceder a una lista de todos los registros de datos almacenados en el histórico de registros para el modo de operación seleccionado actualmente.
	Opción volver, permite volver al directorio del nivel inmediatamente superior.
	Opción ajuste de voltaje, limita el máximo seleccionado durante la prueba.
	Opción ajuste de tiempo, permite seleccionar una duración de prueba en un intervalo de 1 a 90 minutos.

Funciones estándar para medición de reflexión de impulsos TDR. (Teleflex, ARM, ICE y DECAY)		
	Permite ajustar la ganancia de la señal recibida. Se puede ajustar en las mediciones de reflexión de impulsos y en el modo de operación ARM. En los modos de operación ICE y DECAY, el efecto del ajuste de la ganancia solo se observa después de una descarga eléctrica.	
	Permite ajustar el intervalo de medición (eje X). En TDR y ARM, se ajusta para visualizar el extremo del cable en la parte derecha de pantalla. En ICE y DECAY, se selección un intervalo de medición quince veces más largo que la longitud del cable	
	Permite mover el cursor rojo a lo largo del eje X. Pulsando el botón giratorio de forma prolongada se puede colocar una marca azul en la posición actual del cursor y después seguir desplazando el cursor rojo, permitiendo medir distancias reales entre dos posiciones de la traza.	
	Permite ajustar el ancho del impulso de medición en todos los modos de medición TDR,	
	Permite ajustar manualmente la amplitud de los impulsos, cuando sea necesario,	
 NVP	Ajuste de la velocidad de propagación de la señal.	
	Permite ajustar el filtro de paso de banda para limitar el intervalo de frecuencias a medir. Las interferencias fuera de este intervalo de frecuencia se suprimen	
	La función de desatenuación permite contrarrestar la atenuación de los impulsos eléctricos en el cable.	
	Permite adaptar la compensación interna a la compensación real del cable para todas las mediciones de reflexión de impulsos.	
	Umbral de disparo, normalmente tiene un valor adecuado predeterminado automáticamente, pero se puede ajustar manualmente en todos los modos de operación que requieran un disparo durante la medición. (Ej. ARM)	
	Permite borrar las trazas que ya no se necesitan de la vista actual para mejorar la visibilidad de las trazas importantes.	
	Menú de trazas, permite personalizar la disposición de las trazas en la pantalla.	
	Permite mover la traza 1 a lo largo del eje Y, puede presentarse según la cantidad de trazas existentes.	
	Permite mover todas las trazas visibles a lo largo del eje Y.	
	Permite alejar y acercar en la dirección Y las trazas representadas en la pantalla.	
	Permite mover todas las trazas visibles a lo largo del eje X.	
	Calcula y representa una traza nueva a partir de la diferencia entre la traza 1 y la traza 2. El resto de las trazas son ocultadas.	
	Este objeto de menú permite mover una de las dos trazas a lo largo del eje X.	