

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PRUEBAS EN CABLES SUBTERRÁNEOS

ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA Y DIAGNÓSTICO DE CABLES SUBTERRÁNEOS

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

JUAN SEBASTIÁN DÁVILA BENALCÁZAR

juan.davila01@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. FAUSTO RAMIRO VALENCIA ARCOS

fausto.valencia@epn.edu.ec

19 de febrero de 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Juan Sebastián Dávila Benalcázar 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.

JUAN SEBASTIÁN DÁVILA BENALCÁZAR

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Juan Sebastián Dávila Benalcázar, 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.

JUAN SEBASTIÁN DÁVILA BENALCÁZAR

MSc. FAUSTO RAMIRO VALENCIA ARCOS

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado con profunda gratitud a Dios, fuente inagotable de sabiduría, guía constante en mi trayecto académico y fuente de inspiración en cada paso hacia el conocimiento. En su luz encuentro la fortaleza para culminar este logro con humildad y agradecimiento.

A mi querido padre, figura inquebrantable de apoyo y sabio consejero ,cuya presencia ha sido mi fuente de fuerza y estímulo en cada fase de mi trayectoria académica .Agradecido con su constante respaldo y amistad ,elementos fundamentales que han enriquecido mi camino hacia este logro

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecir cada paso de mi vida y de este camino académico. Su luz ha sido mi guía en momentos de desesperación, brindándome fuerza y sabiduría para completar mi carrera universitaria.

A mis padres, María Fernanda Benalcázar y Cesar Rene Dávila, les dedico mi gratitud eterna. Su amor, apoyo y sacrificios han sido la fuente de mi fortaleza y éxito académico. Este logro es tanto suyo como mío. Gracias por ser mi soporte e inspiración constante.

A mi abuelito, Jaime Rene Benalcázar, mi eterno amigo y fuente inagotable de apoyo, le agradezco por ser mi guía constante, brindarme tu amor incondicional y ser un pilar en cada paso de mi vida y de este proyecto académico. Tu presencia ha sido mi mayor inspiración.

A Byron Molineros, gracias por tu constante apoyo, generosidad, presencia y aliento que han formado parte de cada paso de mi formación personal y académica.

A mis hermanos, César Martín y Valentina, les agradezco por ser mis cómplices y motivadores, compartiendo risas y desafíos a lo largo de este camino.

A mis queridos compañeros y amigos, agradezco de corazón su esencial contribución en cada etapa de mis estudios. Su apoyo y enseñanzas han sido invaluable, creando recuerdos que atesoraré siempre.

Al Dr. Fausto Valencia, su dedicación como tutor ha sido fundamental para el desarrollo del presente trabajo, junto a su orientación, sabiduría y apoyo constante. Le agradezco por su compromiso y la inspiración que ha proporcionado en cada paso de mi investigación.

A la Escuela Politécnica Nacional y sus docentes, que me han brindado no solo conocimientos sólidos, sino también un ambiente enriquecedor donde he podido crecer como estudiante y persona. Ser parte de esta prestigiosa institución es un orgullo que llevaré conmigo a lo largo de mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco Teórico	3
1.4.1 Cables Subterráneos	3
1.4.2 Configuración de los cables subterráneos	3
1.4.2.1 Cables Unipolares	3
1.4.2.2 Cables Multipolares	4
1.4.3 Composición de los cables subterráneos	4
1.4.3.1 Conductores	4
1.4.3.2 Aislamiento	4
1.4.3.3 Relleno y Pantallas	5
1.4.3.4 Envolturas	5
1.4.3.5 Armaduras	5
1.4.3.6 Cubiertas	6
1.4.4 Causas del deterioro de los cables subterráneos	6
1.4.4.1 Humedad	6
1.4.4.2 Corrosión	6
1.4.4.3 Presión del Suelo	6

1.4.4.4	Contaminantes en el Suelo	6
1.4.4.5	Daños Mecánicos	6
1.4.4.6	Interferencias Electromagnéticas	7
1.4.4.7	Variaciones de Temperatura	7
1.4.4.8	Sobretensiones y Descargas	7
1.4.5	Pruebas de campo en cables Subterráneos	7
1.4.5.1	Ensayo de Instalación	7
1.4.5.2	Ensayo de Aceptación	7
1.4.5.3	Ensayo de Mantenimiento	8
1.4.6	Pruebas de Aislamiento en cables Subterráneos	8
1.4.6.1	Corriente de carga capacitiva	8
1.4.6.2	Corriente de absorción o polarización	9
1.4.6.3	Corriente de fuga	9
1.4.6.4	Corriente de conducción	9
1.4.7	Pruebas de diagnóstico en cables Subterráneos	10
1.4.7.1	Sobre voltaje soportado	10
1.4.7.2	Descarga parcial (PD)	12
1.4.7.3	Espectroscopia dieléctrica (Tan Delta)	13
1.4.8	Métodos para Detectar Averías de Alta Impedancia en Cables Subterráneos	14
1.4.8.1	Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)	14
1.4.8.2	Prelocalización de Averías de Alta Resistencia	16
1.4.8.3	Seguimiento y localización puntual de Averías	19
1.4.9	Normativa aplicada a la pruebas y diagnóstico de cables subterráneos	20
2	METODOLOGÍA	21
2.1	Flujograma para análisis técnico	22
2.2	Lista de Equipos para pruebas y diagnóstico.	23
2.3	Principales Proveedores	23
2.3.1	Megger	23
2.3.2	SebaKMT	25
2.3.3	Baur	26
2.3.4	enel Condesa	27
2.3.5	b2 electronics	28

2.3.6	Inducor	30
2.3.7	Huazheng Electric	31
2.3.8	Hipotronics	32
2.3.9	XZH Test	33
2.3.10	HV Hipot	34
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
3.1	Resultados	36
3.1.1	Equipos móviles	36
3.1.2	Equipos portátiles	36
3.1.3	Centrix 2.0 - Megger	37
3.1.4	Variant - SebaKMT by Megger	38
3.1.5	Cable Fault Test Van - XZH TEST	39
3.1.6	ET1001 Equipo móvil de pruebas - Enel Condesa	39
3.1.7	Laboratorio móvil clase 2 - Inducor	40
3.1.8	PHG 80 TD PD - Baur	41
3.1.9	HVA54-3 /PDTD60-2 - b2electronics	43
3.1.10	Hz-501B/503/535-4 - Huazheng	44
3.1.11	GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot	44
3.1.12	(8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS) - Hipotronics	45
3.2	Conclusiones	46
3.3	Recomendaciones	48
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

Índice de figuras

1.1	Componentes de los cables subterráneos.	4
1.2	Representación de Tangente delta.	14
1.3	Diagrama esquemático del método de reflexión de arco.	17
1.4	Diagrama esquemático del método corriente de impulso	18
1.5	Diagrama esquemático del método de caída	19
2.1	Método de selección de Equipos para prueba y diagnóstico de cables subterráneos.	22
2.2	Logo de la Empresa Megger.	23
2.3	Logo de la empresa SebaKMT.	25
2.4	Logo de la empresa Baur.	26
2.5	Logo de la empresa enel Condesa	27
2.6	Logo de la empresa b2 electronics.	28
2.7	Logo de la empresa Inducor.	30
2.8	Logo de la empresa HuazHeng Electric.	31
2.9	Logo de la empresa Hipotronics.	32
2.10	Logo de la empresa XZH Test.	33
2.11	Logo de la empresa HV Hipot.	34

Índice de tablas

1.1	Tipos de Aislamiento.	5
1.2	Tipos de huecos según su defecto.	12
2.1	Equipos para pruebas y diagnóstico en cables subterráneos.	23
3.1	Pruebas y Diagnostico equipos móviles	36
3.2	Pruebas y Diagnostico equipos portátiles	36
3.3	Especificaciones técnicas equipo Centrix 2.0 - Megger	37
3.4	Especificaciones técnicas equipo Variant - SebaKMT by Megger	38
3.5	Especificaciones técnicas equipo Cable Fault Test Van - XZH TEST	39
3.6	Especificaciones técnicas equipo ET1001 Equipo móvil de pruebas - Enel Condesa	40
3.7	Especificaciones técnicas equipo Laboratorio móvil clase 2 - Inducor	41
3.8	Especificaciones técnicas equipo PHG 80 TD PD - Baur	42
3.9	Especificaciones técnicas equipo HVA54-3 /PDTD60-2 - b2electronics	43
3.10	Especificaciones técnicas equipo Hz-501B/503/535-4 - Huazheng	44
3.11	Especificaciones técnicas equipo GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot	45
3.12	Especificaciones técnicas equipo (8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS) - Hipotronics	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en realizar un análisis técnico exhaustivo de las pruebas y diagnósticos aplicados a cables subterráneos. Se abordan diversos tipos de pruebas, métodos de medición y datos técnicos provenientes de varias marcas presentes en el mercado eléctrico. El estudio explora los conceptos fundamentales relacionados con cables subterráneos y su normativa aplicada, con especial atención a los conductores de media tensión, abarcando un rango de 1 kV a 35 kV. Además, se proporcionan resúmenes de datos relevantes de las empresas proveedoras de los equipos analizados.

Mediante un proceso de selección estructurado, se eligen 10 equipos de prueba. Posteriormente, se realiza una clasificación de los equipos según su portabilidad y se lleva a cabo un análisis técnico exhaustivo de sus características eléctricas.

Este trabajo no solo busca proporcionar un análisis detallado de los equipos y las marcas, sino que también destaca opciones recomendadas con el objetivo de mejorar el laboratorio de alto voltaje de la Escuela Politécnica Nacional. La elección de estos equipos se fundamenta en su sólido desempeño técnico, con la intención de impulsar la innovación y la expansión del laboratorio para permitir un diagnóstico efectivo de cables subterráneos de alto voltaje.

Además, se presenta este análisis como una valiosa fuente de información para los lectores interesados en adquirir equipos que se ajusten a sus necesidades específicas en pruebas y diagnóstico de cables subterráneos.

Palabras clave:

Sistema de Cables subterráneos, pruebas de cables subterráneos, diagnóstico en cables subterráneos, localización de fallas en cables, Equipos móviles y portátiles, Sobre Voltaje, VLF, Tangente Delta, DP, TDR, AMR, ICE, DECAY.

ABSTRACT

This research work focuses on carrying out an exhaustive technical analysis of the tests and diagnoses applied to underground cables. Various types of tests, measurement methods and technical data from various brands present in the electricity market are addressed. The study explores the fundamental concepts related to underground cables and their applied regulations, with special attention to medium voltage conductors, covering a range from 1 kV to 35 kV. In addition, summaries of relevant data from the companies supplying the analyzed equipment are provided.

Through a structured selection process, 10 test teams are chosen. Subsequently, a classification of the equipment is carried out according to its portability and an exhaustive technical analysis of its electrical characteristics is carried out.

This work not only seeks to provide a detailed analysis of equipment and brands, but also highlights recommended options with the objective of improving the high voltage laboratory of the National Polytechnic School. The choice of this equipment is based on its solid technical performance, with the intention of promoting innovation and expansion of the laboratory to allow effective diagnosis of underground high voltage cables.

Additionally, this analysis is presented as a valuable source of information for readers interested in purchasing equipment that meets their specific needs in testing and diagnosing underground cables.

Keywords:

Underground Cable System, Underground Cable Testing, diagnosis in underground cables, fault location in cables, mobile and portable equipment, Over Voltage, VLF, Tangent Delta, DP, TDR, AMR, ICE, DECAY.

1. INTRODUCCIÓN

Los cables subterráneos han formado parte en la transmisión y distribución de la energía eléctrica, permitiendo ingresar a sectores donde antes no era posible conducir la energía eléctrica. Con su implementación se ha logrado reducir el cableado aéreo brindando una mejor estética, y obteniendo una mayor eficiencia y confiabilidad en el sistema eléctrico.

Los cables subterráneos ingresan a los sistemas eléctricos en 1920, representando en la actualidad el 15 % al 20 % de la capacidad instalada de los sistemas de distribución con una vida útil entre 30 a 40 años, motivo por el cual es necesario obtener un control del correcto funcionamiento de los cables y mantener sus estándares de calidad. Para ello se debe aplicar, por medio de planificación y mantenimiento, pruebas de diagnóstico que evalúen el correcto funcionamiento y dimensionamiento del cableado subterráneo, para que mantenga sus parámetros eléctricos dentro de su zona de operación.

Debido a los avances tecnológicos, se han logrado implementar, en un dispositivo, diferentes tipos de pruebas eléctricas para el manejo de los cables subterráneos con mayor exactitud y precisión.

Dentro del mercado ecuatoriano, existen algunos dispositivos que permiten realizar mediciones y pruebas a los cables subterráneos. Por esta razón, es necesario obtener un estudio de cuál equipo sería el óptimo para manejar la mayor información para estudios e implementación en proyectos del sector eléctrico, en el cual se logre obtener el mayor número de pruebas eléctricas teniendo en cuenta la accesibilidad y necesidades que requiere el usuario.

La Escuela Politécnica Nacional tiene un laboratorio de alto voltaje, en el cual se realizan pruebas eléctricas a diferentes equipamientos eléctricos, tales como: cascos, botas de seguridad eléctrica, guantes aislantes, etc. Sin embargo, el laboratorio no tiene un instrumento para el estudio y evaluación de los de los distintos tipos de pruebas y métodos de diagnóstico, los cables subterráneos, por lo cual resulta necesaria la adquisición de un equipo o equipos como herramientas de aprendizaje, y para manejo de proyectos externos, teniendo en cuenta una base investigativa de funciones, capacidades y limitaciones que pueda presentar el equipo o los equipos.

1.1. Objetivo general

Realizar un análisis técnico de los equipos que permiten realizar el mayor número de pruebas eléctricas en cables eléctricos subterráneos para obtener un funcionamiento seguro y confiable .

1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo son los siguientes:

1. Realizar una comparación de características técnicas entre los diferentes equipos utilizados para pruebas eléctricas en cables eléctricos subterráneos con niveles de voltaje de 1kV a 35 kV.
2. Describir cuales son los estándares normativos aplicados para evaluación y desempeño eléctrico en los conductores.
3. Analizar los beneficios técnicos de la adquisición de equipos multi prueba en comparación a la adquisición de equipos sencillos dentro del mercado ecuatoriano.
4. Realizar un listado de los todos equipos que permitan la realización de un esquema completo de pruebas eléctricas en cables eléctricos subterráneos.

1.3. Alcance

El presente plan de trabajo de integración curricular se realizó con el fin de proveer un análisis técnico a la Escuela Politécnica Nacional que permitiera fortalecer su laboratorio de alto voltaje y ampliar su capacidad de pruebas en cables subterráneos. Por lo tanto, fue necesario contar con equipos que permitieran realizar pruebas y diagnósticos de las características eléctricas presentes en cables subterráneos de media tensión, a niveles de voltaje desde 1 kV hasta 35 kV.

Dentro del presente trabajo, no se contó con un análisis del dimensionamiento, mecánica y precios de los equipos para pruebas en cables subterráneos. La base fundamental del estudio fueron las pruebas y diagnósticos que representaron las características eléctricas para la detección de fallas o irregularidades en los cables de media tensión dentro de los

sistemas subterráneos.

Al tener niveles de voltajes desde 1 kV hasta 35 kV para media tensión, las pruebas se centraron en los cables con material aislante tipo XLPE y EPR.

Para el análisis, se tomaron en cuenta equipos que permitieran realizar al menos un número mayor a dos pruebas de diagnóstico. Se consideraron marcas conocidas dentro del país y equipos que tuvieran la posibilidad de ser importados, de ser el caso. Teniendo en cuenta que el mercado eléctrico era muy grande, en el análisis se limitó el número de equipos a evaluar a un máximo de 10.

1.4. Marco Teórico

1.4.1 Cables Subterráneos

Los cables subterráneos son elementos importantes de las redes eléctricas, que se utilizan en el área de distribución y transmisión bajo tierra con altos índices de seguridad y confiabilidad. Se establecen como el grupo entre uno o varios conductores de cobre o aluminio con un adecuado aislamiento para proteger a los conductores ante efectos eléctricos, mecánicos y ambientales. [1]

Su construcción requiere de materiales avanzados y técnicas de diseño, según su zona de operación y nivel de voltaje, que garantizan su rendimiento y confiabilidad a lo largo del tiempo, dándoles importancia en la instalación en zonas urbanas y proyectos que requieren el menor impacto ambiental. [1]

1.4.2 Configuración de los cables subterráneos

1.4.2.1 Cables Unipolares

Formados por un solo conductor eléctrico. En su mayoría este conductor es de forma circular aislado eléctricamente, permite conexiones sencillas y su uso está dirigido a sistemas de bajo y medio voltaje en redes de distribución eléctrica subterránea. [2]

1.4.2.2 Cables Multipolares

Formados por dos o más conductores eléctricos, aislados individualmente dentro una sola cubierta aislante, donde se agrupan de forma paralela un alado de otro, esta configuración permite mayores capacidades de carga y menor porcentaje en sus pérdidas, su uso está dirigido a sistemas de medio y alto voltaje en redes de distribución y transición eléctrica subterránea. [2]

1.4.3 Composición de los cables subterráneos

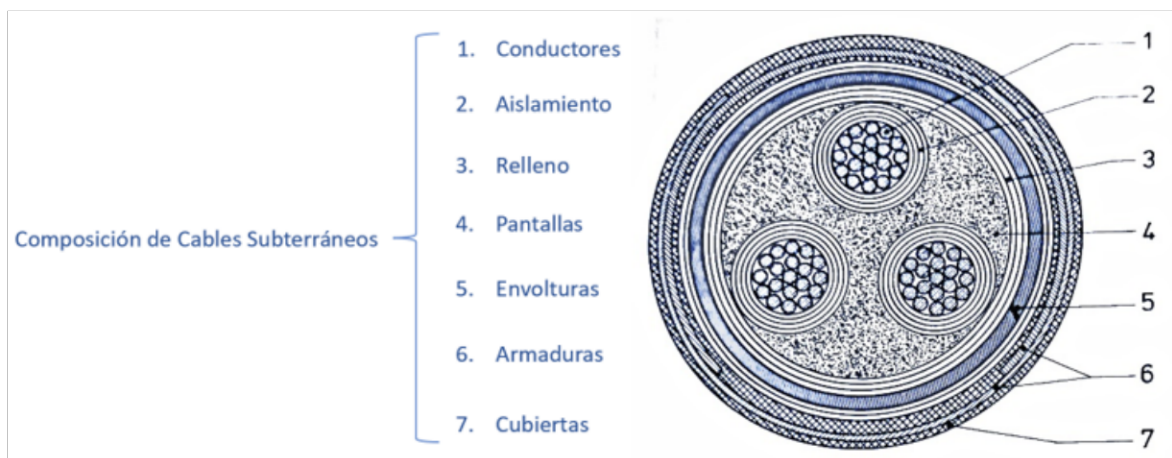


Figura 1.1. Componentes de los cables subterráneos.

1.4.3.1 Conductores

En la construcción de los cables eléctricos subterráneos se manejan conductores de cobre y aluminio. El uso de cada tipo de conductor depende de sus factores técnicos, aplicación, voltaje nominal, la capacidad de carga y las condiciones ambientales al que será sometido. [2]

Según su tipo, deberá mantener su integridad eléctrica y mecánica a lo largo del tiempo, resistiendo posibles influencias adversas como la humedad, la corrosión y las condiciones del suelo al encontrarse bajo tierra. La selección adecuada del conductor es fundamental para garantizar un funcionamiento confiable y seguro del sistema eléctrico subterráneo. [2]

1.4.3.2 Aislamiento

El aislamiento está conformado por una capa protectora, cuya función es cubrir a los conductores eléctricos con materiales dieléctricos avanzados para prevenir la proximidad no deseada entre los conductores y cualquier elemento circundante, y así evitar posibles

cortocircuitos y fallos en el sistema eléctrico subterráneo. [1]

En la Tabla 1.1 se muestran los materiales utilizados para el aislamiento de los cables subterráneos.

Tabla 1.1. Tipos de Aislamiento.

1	P	Papel Impregnado
2	V	Ploricloruro de vinilo
3	E	Polietileno
4	R	Polietileno Reticulado
5	G	Caucho natural vulcanizado
6	B	Caucho butílico
7	K	Caucho de silicona
8	D	Etileno-Propileno

1.4.3.3 Relleno y Pantallas

En los cables eléctricos subterráneos, se coloca una capa, entre el conductor y el aislante, compuesta de material conductor entre cobre o aluminio y un material semiconductor, con el objetivo de regular y controlar la distribución del campo eléctrico presente en el sistema de cables subterráneos. Esta actuación conjunta persigue reducir de manera efectiva el estrés eléctrico que incide sobre el aislamiento del cable. [2]

La capa cumple un papel fundamental en la mitigación y prevención de fenómenos indeseados de descargas parciales, cuya ocurrencia podría ser perjudicial para la integridad del sistema de cables subterráneos. Así, debe mantener el voltaje constante en todo el tramo del cable, evitando acumulaciones de carga en la superficie del conductor. [2]

1.4.3.4 Envolturas

La envoltura es una capa aislante adicional que permite proteger a los conductores frente a efectos climáticos y mecánicos, esta capa está formada por materiales polímeros. [2]

La envoltura se encarga de garantizar la seguridad de los cables eléctricos subterráneos proporcionándoles resistencia ante efectos corrosivos causados por el medio ambiente, o ante daños mecánicos. [2]

1.4.3.5 Armaduras

En cables eléctricos subterráneos, se denomina armadura a la capa metálica destinada a la protección frente a acciones mecánicas provocadas en el exterior del cable. Está compuesta de materiales metálicos como es el acero, hierro entre otros. [2]

1.4.3.6 Cubiertas

La cubierta es el último recubrimiento de los cables eléctricos subterráneos. Está formada por materiales como caucho, materiales textiles o termoplásticos que evitan la corrosión del cable, los cuales aíslan de elementos químicos a los elementos mecánicos y armadura. [2] También otorga resistencia ante la humedad, el fuego, la radiación ultravioleta, los hidrocarburos, así como ante impactos y el desgaste por abrasión. [2]

1.4.4 Causas del deterioro de los cables subterráneos

1.4.4.1 Humedad

El agua puede infiltrarse en el cable a través de daños en la cubierta exterior o a través del aislamiento, lo que puede provocar deterioro y fallos en el cable. [3] [4]

1.4.4.2 Corrosión

En entornos subterráneos con suelos corrosivos, los conductores y las estructuras metálicas de los cables subterráneos pueden estar sujetos a corrosión. Esto puede debilitar el cable y afectar su capacidad de transmisión de energía. [3] [4]

1.4.4.3 Presión del Suelo

Los cables subterráneos deben soportar la presión del suelo que los rodea. Se produce estrés mecánico en el cable y afectar su integridad si no es instalado adecuadamente. [3] [4]

1.4.4.4 Contaminantes en el Suelo

Sustancias químicas o contaminantes presentes en el suelo, como productos químicos industriales o residuos, pueden afectar negativamente los cables subterráneos, dañando su aislamiento o su cubierta. [3] [4]

1.4.4.5 Daños Mecánicos

Durante la instalación, excavación o mantenimiento, los cables subterráneos pueden estar expuestos a daños mecánicos, como cortes o perforaciones accidentales, lo que podría comprometer su integridad y desempeño. [4]

1.4.4.6 Interferencias Electromagnéticas

Las interferencias Electromagnéticas suelen ser causadas por fuentes externas, como líneas de alta tensión, equipos eléctricos cercanos, sistemas de comunicación inalámbrica y fenómenos atmosféricos. [4]

Los cables subterráneos pueden experimentar problemas como aumento de la resistencia, pérdida de potencia, degradación del aislamiento y generación de ruido en las señales eléctricas transmitidas. [4]

1.4.4.7 Variaciones de Temperatura

Las variaciones de temperatura en el subsuelo pueden afectar el rendimiento del cable, ya que la temperatura puede influir en las características eléctricas y mecánicas de los materiales utilizados en su construcción. [4]

1.4.4.8 Sobretensiones y Descargas

Las sobretensiones causadas por eventos como rayos cercanos pueden influir en la seguridad y el funcionamiento de los cables subterráneos. Se deben tomar medidas de protección adecuadas para mitigar estos efectos. [4]

1.4.5 Pruebas de campo en cables Subterráneos

1.4.5.1 Ensayo de Instalación

Pruebas de campo ejecutadas durante la instalación inicial de los cables subterráneos, se lleva a cabo antes de enterrar los cables para asegurarse de que no haya defectos evidentes. Estas pruebas buscan identificar posibles daños causados durante el transporte, almacenamiento o la propia fabricación del cable. [5] [6]

1.4.5.2 Ensayo de Aceptación

Pruebas de campo realizadas después de la instalación del sistema de cables, abarcando terminaciones y empalmes, pero previas a la puesta en marcha del sistema. [5]

El propósito de estas pruebas es identificar posibles daños surgidos durante la instalación inicial, así como revelar cualquier defecto o error significativo en el proceso de instalación de otros componentes del sistema, como empalmes y terminales. [5] [6]

1.4.5.3 Ensayo de Mantenimiento

Prueba de campo llevada a cabo durante la vida útil de un sistema. Su objetivo es identificar el deterioro del sistema y verificar la capacidad de servicio, permitiendo la implementación de procedimientos de mantenimiento adecuados y previniendo posibles incidentes eléctricos no anticipados. [5] [6]

1.4.6 Pruebas de Aislamiento en cables Subterráneos

Las pruebas de aislamiento ofrecen una medición directa de la resistencia de aislamiento, expresada en ohmios, megaohmios, gigaohmios o teraohmios, independientemente del voltaje de prueba seleccionado. En un aislamiento en buen estado, la resistencia suele situarse en el rango de los megaohmios o valores superiores. [7]

Estas pruebas se basan esencialmente en un medidor de resistencia (ohmímetro) de alta gama, equipado con un generador de corriente continua incorporado. Dentro del instrumento se genera un voltaje de corriente continua elevado, produciendo diversas corrientes pequeñas a lo largo y sobre las superficies del aislamiento sometido a prueba. La corriente total es medida por el ohmímetro, que puede contar con una escala de indicación analógica, una lectura digital o ambas. [7]

Para las pruebas de aislamiento se cumple con la ley de ohm considerando todas las corrientes que circulan por el cable subterráneo, en base a la suma de corrientes se podrá conocer con mayor precisión el nivel de aislamiento que posee el conductor. [7]

1.4.6.1 Corriente de carga capacitiva

Corriente necesaria para cargar la capacitancia del aislamiento durante una prueba. Inicialmente, esta corriente es considerable, pero su duración es breve, disminuyendo exponencialmente hasta aproximarse a cero conforme el objeto sometido a la prueba se carga. Este proceso de carga del material de aislamiento es análogo al comportamiento de un dieléctrico en un condensador. [7]

1.4.6.2 Corriente de absorción o polarización

La corriente de absorción consta de hasta tres componentes, disminuyendo gradualmente a casi cero en un período de varios minutos. [7]

- La primera componente resulta de la deriva general de electrones libres a través del aislamiento bajo la influencia del campo eléctrico. [7]

-La segunda es causada por la distorsión molecular, donde el campo eléctrico distorsiona la carga negativa de las capas de electrones alrededor de los núcleos. [7]

-La tercera se debe a la alineación de moléculas polarizadas dentro del campo eléctrico aplicado. [7]

Aunque se consideran como una sola corriente, son principalmente afectadas por el tipo y las condiciones del material de unión en el aislamiento. La presencia de humedad absorbida aumenta la polarización por orientación, incrementando la corriente de absorción. [7]

La despolimerización del aislamiento también contribuye a un aumento en esta corriente. Cabe destacar que no todos los materiales presentan los tres componentes como el polietileno, ya que podrían mostrar poca o ninguna absorción por polarización. [7]

1.4.6.3 Corriente de fuga

La corriente de fuga superficial se manifiesta cuando la superficie del aislamiento se encuentra contaminada con humedad o sales. Esta corriente mantiene su constancia a lo largo del tiempo y está condicionada por el nivel de ionización presente, el cual está influenciado por la temperatura. [7]

En ocasiones, suele pasarse por alto como una corriente independiente, incorporándola a la corriente de conducción y considerándola como la corriente total de fuga. [7]

1.4.6.4 Corriente de conducción

La corriente de conducción permanece constante a través del aislamiento y suele ser representada mediante una resistencia de valor muy elevado en paralelo con la capacitancia del aislamiento. Esta corriente forma parte de la corriente de fuga, que se mide cuando el aislamiento alcanza su carga máxima y la absorción ha concluido por completo. Es importante destacar que engloba la fuga superficial, la cual puede mitigarse o eliminarse mediante el uso de un terminal de protección. [7]

1.4.7 Pruebas de diagnóstico en cables Subterráneos

1.4.7.1 Sobre voltaje soportado

Hi-Pot de corriente alterna (AC)

La prueba Hi-Pot con corriente alterna (AC) se caracteriza por aplicar un voltaje alterno al cable, con una frecuencia entre 50 y 60 Hz. Este método utiliza el voltaje AC para eliminar coronas o descargas parciales, disminuyendo la probabilidad de ocasionar una ruptura dieléctrica irreversible en el aislamiento del cable. La forma de onda sinusoidal facilita la disipación de la carga a lo largo del aislamiento, minimizando la formación de huecos o áreas débiles que podrían provocar fallas. [8]

La prueba Hi-Pot AC tiene limitaciones para detectar ciertos defectos, como pequeños agujeros en el aislamiento o impurezas en el material del cable. Durante la prueba, la capacitancia del cable y la frecuencia del voltaje interactúan, generando una corriente capacitiva medida para evaluar el rendimiento del aislamiento. [8]

En términos de ejecución, la prueba de Hi-Pot AC aplica una tensión de AC elevada al conductor de prueba, midiendo la corriente de fuga como indicador de la integridad del cable. Aunque esta tensión es menor que la de corriente continua (DC), se requiere más potencia debido a la baja reactancia capacitiva a 60 Hz. [8]

Por otro lado, la prueba de Hi-Pot AC implica una evaluación de pasa/falla mediante la aplicación de un voltaje dos veces el valor de la placa de identificación del equipo más 1,000 voltios durante un minuto. Para los cables subterráneos, el valor aplicado debe estar entre el 125% y el 135% del valor nominal efectuado a un tiempo de un minuto. Aunque revela defectos, la aplicación de voltajes altos y la dificultad para controlar la corriente de carga pueden dañar el sistema de aislamiento, generando riesgos para el personal a cargo. [9]

Hi-Pot de corriente continua (DC)

La prueba Hi-Pot DC implica la aplicación directa de voltaje al cable para identificar defectos, como poros, huecos e inclusiones de gas en el aislamiento. Aunque es más efectiva para cables de alta tensión, presenta el inconveniente de causar daños irreversibles al aislamiento si no se maneja con precaución. El voltaje de corriente continua (DC) se introduce fácilmente en el aislamiento y alcanza el conductor, siendo útil para detectar contaminación en su superficie. [8]

Esta prueba también evalúa la resistencia de aislamiento mediante la aplicación de un voltaje elevado en el cable, pero no tiene la capacidad de evaluar el aislamiento del blindaje o la cubierta del cable. En esta prueba, la medición de la corriente de fuga es esencial, ya que el alto voltaje constante aplicado incrementa la tensión en el material de aislamiento más que la prueba Hi-Pot AC, aumentando la posibilidad de flashovers y descargas de corona. Se requiere precaución durante la prueba, ya que el alto voltaje puede ser perjudicial para el aislamiento. [8]

En la prueba de Hi-Pot DC, se emplea energía de corriente continua con un valor equivalente a dos veces el voltaje de la placa de identificación de la máquina más 1.000 voltios. Para sistemas de aislamiento nuevos, este valor se multiplica por la raíz cuadrada de tres (medida de precaución adicional para garantizar un margen de seguridad adecuado en la resistencia del aislamiento). En sistemas usados, se aplica un porcentaje entre 65 % y 75 % de este valor. Durante la prueba, se supervisa la corriente de carga y la merma de corriente. [9]

Sin embargo, esta prueba puede representar un riesgo para el sistema de aislamiento, por lo que se puede considerar un enfoque alternativo conocido como prueba de voltaje-paso. En este método, el voltaje se incrementa gradualmente a 500 o 1.000 Vdc, observando la corriente de carga y la merma. [9]

Hi-Pot de muy baja frecuencia (VLF)

La prueba Hi-Pot de muy Baja Frecuencia (VLF) permite detectar eficientemente daños en el aislamiento de cables de media y alta tensión, preservando la calidad del material aislante en un tiempo mínimo. Aplicada a cables de media tensión, esta técnica utiliza formas de onda como sinusoidales y cuadradas, con frecuencias entre 0.01 Hz y 0.1 Hz seleccionadas según la carga del cable. [10]

Los niveles de tensión en estas pruebas se calculan como múltiplos de la tensión nominal del cable, generalmente entre 1.5 U₀ y 3 U₀. El tiempo de prueba varía de 15 a 60 minutos, requiriendo cuidado en la ajustar la frecuencia, la tensión o el tiempo debido a su impacto en el crecimiento de los árboles de agua, indicador clave en cables XLPE. [10] [11]

La prueba VLF es esencial para verificar la integridad del aislamiento en cables de media y alta tensión. A pesar de su baja frecuencia, la corriente alterna con inversiones de polaridad,

600 veces menos intensa que la AC de 50/60 Hz, evita imperfecciones y anomalías en el cable, garantizando resistencia a perforaciones y previniendo el envejecimiento prematuro del sistema. [11] [12]

Antes de las pruebas, se preparan los cables desconectando contactos, aislando partes activas y limpiando terminales. La portabilidad de los dispositivos facilita su uso en diversas condiciones climáticas. [12]

Durante la prueba se toman lecturas de corriente de fuga, resistencia y capacitancia del cable para analizar y emitir un veredicto sobre su estado. La zona de prueba debe ser acordada debido al alto riesgo existente. [12]

1.4.7.2 Descarga parcial (PD)

Las pruebas de descargas parciales (PD) en cables subterráneos permiten evaluar el estado y la integridad del cable de alimentación, siendo comúnmente utilizadas en sistemas de alto voltaje, tanto en áreas de transmisión como de distribución. [10]

El estudio de las descargas parciales es empírico debido a la complejidad del fenómeno. Este tipo de pruebas posibilita la detección de defectos localizados, tales como huecos, bordes afilados, partes flotantes, árboles eléctricos y tracking en los cables o accesorios subterráneos. Es aplicable a todo tipo de cables, aunque presenta limitaciones en cables con resistencia a descargas (PILC o MIND). [10]

Al realizar la prueba de PD dentro de los cables, es posible identificar diversos tipos de huecos que proporcionan información sobre el defecto localizado tal como se muestra en la Tabla 1.2. [10]

Tabla 1.2. Tipos de huecos según su defecto.

1	Cuasi Esféricos	Defecto por fabricación
2	Dendríticos	Envejecimiento-arboles
3	Interfaciales	Delaminación de los componentes
4	Irregular	Daños Mecánicos

La prueba consiste en aplicar un alto voltaje al cable, lo suficientemente elevado para ionizar cualquier burbuja de gas o imperfección dentro del aislamiento. Estas descargas a través del vacío generan pulsos de corriente y emiten ondas detectables y medibles. [10]

Las señales transitorias se detectan a niveles de microvoltios o microamperios, originadas en la descarga y captadas a través del cable hasta el equipo de detección. Estos equipos se pueden clasificar según el ancho de banda y la normativa aplicada, que puede variar entre los KHz y los MHz. [10]

El método específico de medición de Descargas Parciales (DP) implica la aplicación de un voltaje sinusoidal a una frecuencia de 0.1 Hz, con valores que oscilan entre 0 y 2 veces la tensión eficaz del cable fase-tierra (U_0). El objetivo es inducir descargas parciales en las áreas con defectos de aislamiento. Utilizando técnicas de ondas, se puede cuantificar la magnitud de las DP, identificar y registrar las descargas parciales asociadas con diversos defectos en el cable, empalmes o terminaciones, presentando este enfoque como una herramienta de diagnóstico no destructiva. [10]

Los resultados de la prueba incluyen el nivel de voltaje de prueba, voltaje de extinción de la PD, voltaje de inicio, número de pulsos por unidad de tiempo, frecuencia y la relación de fase entre pulsos. Estos datos permiten analizar y detectar la ubicación del defecto, proporcionando información anticipada antes de que se produzca una falla. [10]

1.4.7.3 Espectroscopia dieléctrica (Tan Delta)

La medición de la tangente delta es una técnica eficaz para evaluar el envejecimiento de los cables, al detectar impurezas, daños en la integridad, presencia de humedad o formación de arborescencias acuosas. Este método relaciona la corriente capacitiva y resistiva en el aislamiento bajo un campo eléctrico generado por una fuente de tensión. [13]

En condiciones ideales, un cable eléctrico se considera un condensador. Al aplicar voltajes de corriente alterna (AC), la corriente debería desfasarse 90 grados con respecto a la tensión. Sin embargo, impurezas o arborescencias acuosas alteran este comportamiento, introduciendo una resistencia en paralelo con la capacitancia. [13]

La prueba de tangente delta detecta este cambio en el ángulo de desfase de la corriente, indicando anomalías que comprometen las propiedades de aislamiento. Aunque el cambio es pequeño, se detecta mediante diferentes niveles de tensión en el ensayo. Cables dete-

riorados muestran valores altos y variables de tangente delta, mientras que cables con buen aislamiento presentan valores bajos y estables, independientemente de la tensión aplicada. [13]

$$\text{Tan}(\delta) = \frac{I_R}{I_C} \quad (1.1)$$

Donde:

$\text{Tan}(\delta)$: Factor de disipación .

I_R [A]:Corriente Resistiva .

I_C [A]:Corriente Capacitiva.

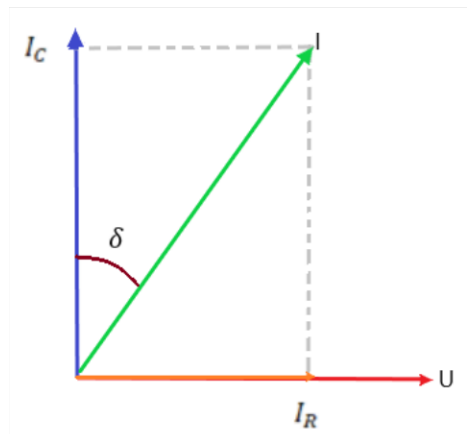


Figura 1.2. Representación de Tangente delta.
[13]

1.4.8 Métodos para Detectar Averías de Alta Impedancia en Cables Subterráneos

1.4.8.1 Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)

La TDR es una prueba que tiene un enfoque en la detección de irregularidades o fallas en los cables subterráneos y parte de sus respuestas permiten obtener la ubicación de dicha irregularidad o falla que se encuentre en el cable, esto se logra con el manejo de los valores de reflexión de impulso. [14]

Sus resultados ofrecen información en su ancho de banda en donde se podrán observar la presencia de irregularidades o fallas. Parte de sus resultados permiten evaluar si dentro del cable se están produciendo pérdidas teniendo en cuenta la impedancia característica que

manejará el cable subterráneo. [14]

El método de aplicación de esta prueba se basa en introducir un pulso cuadrado de voltaje a lo largo de la distancia que posee el cable y dependiendo de sus características es necesario definir previamente la velocidad de propagación que deberá contener la señal de pulso que viajará por todo el cable, detectando discontinuidades o cambios de impedancia en su trayectoria al reflejarse la señal. [15]

Los resultados se podrán observar en forma de onda, donde las reflexiones se mostrarán como picos. Dependiendo de la posición de estos picos se puede determinar la ubicación dentro del cable donde se encuentra la discontinuidad o falla detectada. [15]

El coeficiente de reflexión presenta valores de 1 cuando el cable se encuentra en circuito abierto, un valor de -1 cuando el cable presenta un cortocircuito y 0 cuando no se da ninguna reflexión en el cable, este coeficiente esta ligado a las impedancias del cable. [15]

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + Z_O} \quad (1.2)$$

Donde:

Γ :Coeficiente de reflexión .

Z_L [Ω]:Impedancia de carga.

Z_O [Ω]: Impedancia característica del cable .

La velocidad de propagación que es necesaria determinar está ligada a las características de permitividad, permeabilidad y conductividad que presenta el cable, donde se busca de una forma ideal tener la permeabilidad relativa sin pérdidas, es decir a la permeabilidad en vacío. La permitividad está ligada a las características del cable, la velocidad de propagación se la relaciona con la velocidad de la luz al encontrarse en el vacío. [14]

$$V_p = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.3)$$

Donde:

V_p [$\frac{km}{seg}$]: Velocidad de propagación en el cable.

V_0 [$\frac{Km}{seg}$]:Velocidad de la luz.

ϵ_r : Permitividad Relativa .

1.4.8.2 Prelocalización de Averías de Alta Resistencia

Método de Reflexión de Arco (ARM)

La técnica de reflexión del arco de sobretensión se emplea para la identificación de fallas en cables subterráneos de alta y media tensión. Su utilidad radica en la capacidad para detectar fallas intermitentes o de alta resistencia, transformándolas temporalmente en fallas con resistencia significativamente menor que la impedancia característica del cable. La aplicación de esta técnica implica el uso de un generador de sobretensiones en conjunto con un Reflectómetro en el Dominio del Tiempo (TDR). [16]

Durante la fase inicial de la medición, los pulsos TDR no se reflejan debido a la alta resistencia o la falla intermitente, siendo visibles únicamente al inicio del cable, en las uniones, empalmes, transformadores, irregularidades y en el extremo del cable. En la segunda fase, al activarse el generador de sobretensiones, se induce la formación de un arco en el punto de la falla. El pulso TDR reflejado por el arco se traduce en una deflexión negativa en la pantalla del TDR, indicando la ubicación de la falla temporal de baja resistencia. [16]

Es esencial tener en cuenta ciertas limitaciones de la reflexión del arco de sobretensión. Esta técnica no es aplicable cuando no se puede establecer una descarga disruptiva entre conductores, como en el caso de fallas de conductor a tierra. Además, su efectividad se ve reducida en cables con interruptores de corriente de falla en la cubierta metálica (equipados con dispositivos de protección contra fallas que están instalados en la cubierta metálica del cable), en cables blindados con cinta o con neutros corroídos. [16]

Se pueden tener diferentes dificultades al intentar localizar fallas en cables laminados, cables sumergidos, cables extensos con pérdidas significativas o sistemas de cables radiales con numerosas ramificaciones. [16]

Por medio de la Figura 1.3 se muestra el diagrama esquemático para aplicación del método de reflexión de arco.

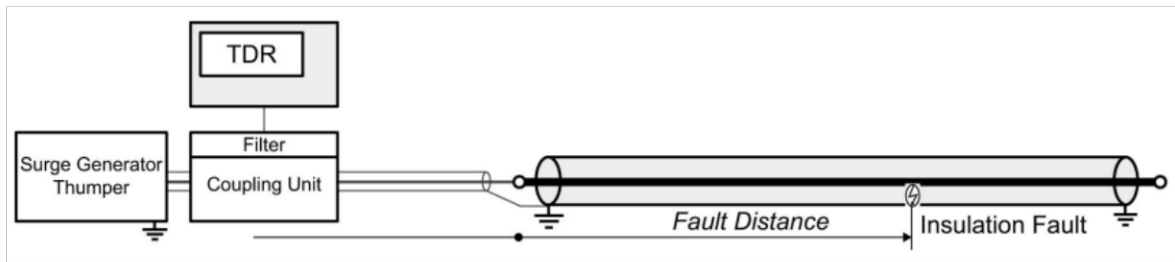


Figura 1.3. Diagrama esquemático del método de reflexión de arco.

[16]

Método de corriente de impulso (ICE)

El método de corriente de impulso (ICE) se utiliza para localizar fallas en cables de alta resistencia, diferenciándose de las técnicas TDR. Este método implica el uso de un generador de sobretensiones que emite un pulso de alto voltaje al cable defectuoso, provocando un arco en la ubicación de la falla. La energía reflejada en el inicio del cable se detecta mediante instrumentos de monitoreo sincronizados, como osciloscopios o TDR, y el espaciado de las reflexiones en la pantalla indica la distancia a la falla. [16]

El método de corriente de impulso no es una técnica TDR directa y tiene un propósito diferente. La amplitud de los pulsos de sobretensión se determina por factores como el generador de sobretensiones, la impedancia del cable, las características del acoplador y la naturaleza de la falla. La precisión de la medición depende de la destreza del operador. [16]

Una limitación clave de este método es su incapacidad para distinguir entre la falla y puntos de reflexión naturales, como empalmes en estrella, transiciones de cables o interruptores de corriente de falla. La dificultad para interpretar el tiempo de ionización defectuoso después de la aplicación del impulso de alto voltaje también representa un desafío. [16]

El método de corriente de impulso sirve como una técnica complementaria a la reflexión del arco de sobretensión. Es útil en fallas donde no se puede establecer un arco entre el conductor y el blindaje metálico (fallas de empalme a tierra) y en tramos largos y atenuantes donde un pulso TDR carece de la energía necesaria para visualizar el tiempo de reflexión. [16]

Por medio de la Figura 1.4 se muestra el diagrama esquemático para aplicación del método de corriente de impulso.

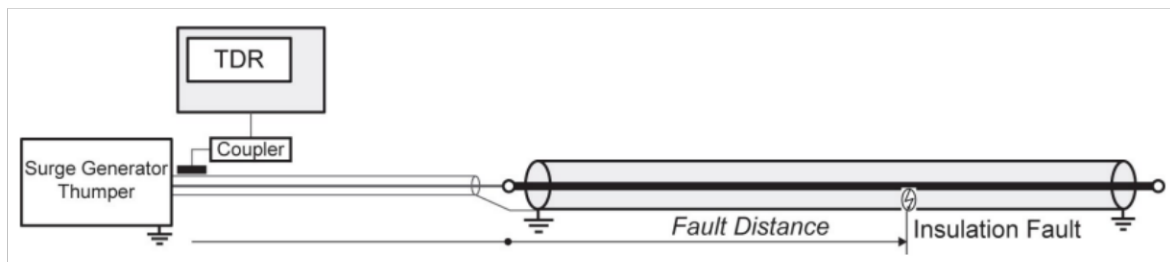


Figura 1.4. Diagrama esquemático del método corriente de impulso .
[16]

Método DECAY o de decaimiento.

El método de caída es una técnica para localizar fallas intermitentes y de alta resistencia en cables, especialmente cuando el voltaje de ruptura de falla es superior al máximo disponible del generador de sobretensiones. Este voltaje es el resultado del uso de una mayor potencia de la fuente de alimentación, una mejor calidad del cable o condiciones ambientales favorables. [16]

Utiliza un equipo de prueba de corriente continua (CC) para cargar continuamente el cable hasta que se supere la falla. En cada arco generado durante este proceso, se produce una onda viajera que se refleja hacia adelante y hacia atrás entre el inicio del cable y la falla hasta que se disipa la energía. La distancia a la falla se mide mediante el espaciado de las reflexiones observadas en un instrumento de monitoreo como un osciloscopio digital o un TDR. [16]

Se aplica específicamente a fallas intermitentes, y para la localización de fallos en cables muy largos, se sugiere el uso del método de caída diferencial. Su fuente debe tener suficiente capacidad de corriente para cargar el cable a un voltaje que pueda iniciar una descarga disruptiva en caso de falla. Este método no es adecuado para fallas de alta resistencia (rango de varios megohmios a varios cientos de megohmios), y la presencia de cables blindados con cinta o con neutros corroídos puede afectar su efectividad. [16]

Puede ser empleado en situaciones donde no se puede establecer un arco entre el conductor y el blindaje metálico con un martillo (herramienta utilizada para golpear o impactar el cable subterráneo con el objetivo de establecer un arco entre el conductor y el blindaje metálico). Cuando la energía liberada en el arco es suficientemente alta, entre 400 J y 1000 J, la falla del cable también puede ser detectada acústicamente. En cables de tres conductores, conectar las tres fases en paralelo puede aumentar la capacitancia total

para la localización de fallas. [16]

Por medio de la Figura 1.5 se muestra el diagrama esquemático para aplicación del método de decaimiento.

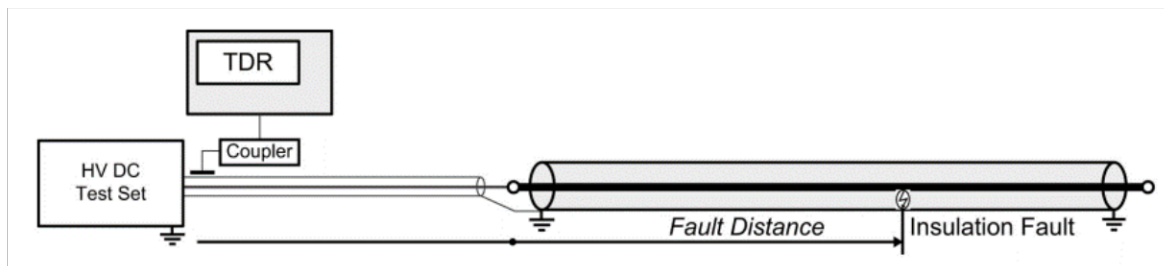


Figura 1.5. Diagrama esquemático del método de caída .

[16]

1.4.8.3 Seguimiento y localización puntual de Averías

Método de audio y radio frecuencia

Los métodos de rastreo de audio y radiofrecuencia comparten similitudes con las técnicas de rastreo de corriente alterna. Para llevar a cabo este proceso, es necesario conectar un generador de frecuencia entre el conductor del cable y el blindaje metálico, con un rango de frecuencia entre 60 Hz y 200 kHz. La señal fluye a lo largo de una ruta de corriente que atraviesa el conductor, el punto de falla y el blindaje metálico, permitiendo establecer posibles trayectorias adicionales a través de la tierra. Una antena direccional sintonizada se encarga de detectar el campo magnético generado por la corriente inyectada.

La antena, polarizada en relación con la ruta del cable y el propio cable, determina si se detecta una señal nula o un pico directamente sobre el cable. Las mediciones de cambios en la señal, especialmente en la lectura nula, se utilizan para la localización de empalmes, la detección de corrosión en los escudos metálicos y la identificación de fallas que no emiten una señal acústica. Este método proporciona una técnica precisa y efectiva para identificar posibles problemas en cables, ofreciendo una valiosa herramienta para el mantenimiento y diagnóstico en sistemas eléctricos.

Método de coincidencia

Se realiza la descarga de un condensador (Thumper) en un cable defectuoso, seguido por un detector electromagnético que rastrea el pulso generado a lo largo del cable. A través de un detector acústico, se identifica el sonido producido por el flashover. La onda de transición magnética se emplea para activar un cronómetro, y la señal acústica se utiliza para dete-

nerlo.

La medición del tiempo transcurrido proporciona una indicación de la distancia hasta la falla, la posición directamente sobre la falla se determina cuando el tiempo entre la descarga eléctrica y el golpe es mínimo. El método de coincidencia combina las señales electromagnética y acústica, ofreciendo una localización precisa de fallas y siendo aplicable también a cables ubicados en conductos.

1.4.9 Normativa aplicada a la pruebas y diagnóstico de cables subterráneos

IEEE Std 400.2 - IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems: Proporciona directrices para la prueba en campo y la evaluación de la aislación de sistemas de cables de potencia blindados.

IEC 60502 - Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV): Especificaciones técnicas para cables de potencia con aislamiento extruido, para tensiones nominales desde 1 kV hasta 30 kV.

IEC 60270 - High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements: Técnicas de prueba para mediciones de descargas parciales en equipos eléctricos de alta tensión.

IEC 61010-031:2019 "Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use ": Requisitos de seguridad para los equipos eléctricos utilizados en medidas y pruebas, incluyendo las sondas manuales utilizadas en la medición y prueba eléctricas.

ANSI/NETA MTS-2019 - Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems: Especificaciones para las pruebas de mantenimiento en equipos y sistemas eléctricos, incluyendo cables.

NFPA 70: National Electrical Code (NEC): Requisitos para la instalación segura de sistemas eléctricos, incluyendo cables, en edificaciones.

2. METODOLOGÍA

En este capítulo en base al flujograma mostrado en la Figura 2.1 se buscarán obtener 10 equipos que permitan realizar más de dos pruebas de diagnóstico en cables subterráneos. Estos equipos serán seleccionados en base a las marcas mas reconocidas en el mercado eléctrico y el mercado ecuatoriano. Del mismo modo se seleccionarán aquellos equipos que podrían ser importados y que tendrían similares características a los equipos que tienen un gran impacto en el mercado.

Con la discriminación de los equipos en base a los términos planteados con anterioridad, se procede a evaluar si estos equipos son portátiles o móviles para el desarrollo de las pruebas que permiten realizar a los cables subterráneos, pasando a dividirlos en dos grupos de comparación.

Los equipos móviles se refieren a equipos automóbiles tipo van, furgoneta o camión, mientras que se consideran portátiles a los equipos que trabajan de manera individual y que cumplen con las especificaciones para el respectivo análisis técnico para pruebas y diagnóstico en cables subterráneos.

Dentro de cada grupo se realizó un análisis técnico de las características eléctricas que posee cada equipo y las magnitudes que maneja cada uno con sus respectivos límites.

Con los datos analizados y el número de pruebas que permite cada equipo, se obtuvo el equipo más adecuado, con la capacidad de realizar el mayor numero de pruebas y diagnóstico de los cables subterráneos de media tensión a niveles de voltaje entre 1kV hasta 35 kV.

2.1. Flujograma para análisis técnico

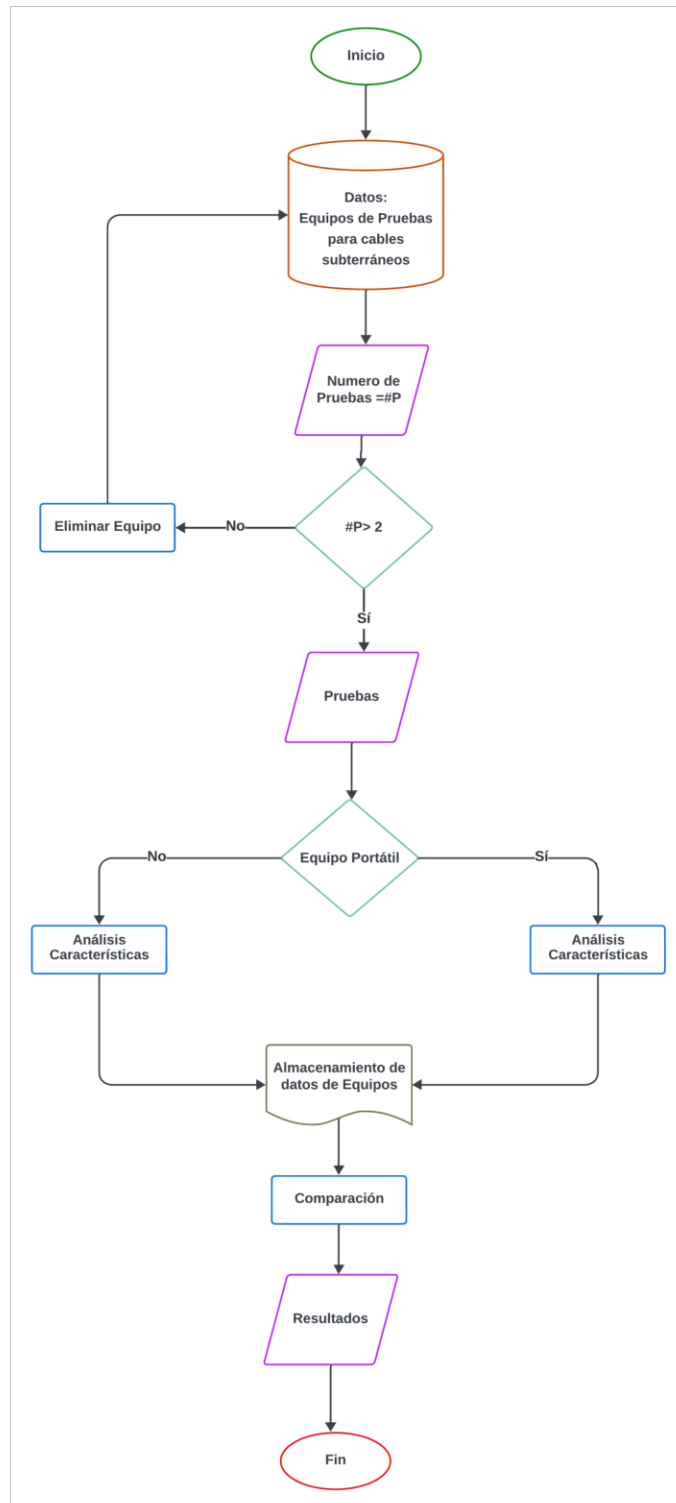


Figura 2.1. Método de selección de Equipos para prueba y diagnóstico de cables subterráneos.

2.2. Lista de Equipos para pruebas y diagnóstico.

En la Tabla 2.1 se detallan los equipos que se van a analizar junto a su respectiva Marca.”

Tabla 2.1. Equipos para pruebas y diagnóstico en cables subterráneos.

	Marca	Modelo
1	Megger	Cetrix 2.0
2	sebaKMT by Megger	Variant
3	XZH Test	CableFault Test Van
4	Enel Condesa	ET1001 Equipo Móvil de pruebas
5	Inducor	Laboratorio Móvil clase 2
6	Baur	PHG 80 TDPD
7	b2electronics	HVA54-3/PDTD60-2
8	Huazheng	HZ-501B/503/535-4 TDPD
9	hv Hipot	GD-2136H
10	Hipotronics	8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS

2.3. Principales Proveedores

A continuación se presenta una descripción de las marcas seleccionadas, de tal manera que se pueda observar su relevancia en cuanto a fabricación y distribución de equipos de prueba, tanto de cables como de equipamiento en general.

2.3.1 Megger



Figura 2.2. Logo de la Empresa Megger.

Megger, una entidad con raíces profundas en la ingeniería eléctrica; ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo y avance de las pruebas eléctricas. Aparece, desde sus ini-

cios en el siglo XIX hasta su destacada posición actual, como líder en equipos de prueba eléctrica. [17]

En el siglo XIX, el término "megger" surgió como un nombre genérico para medidores de resistencia megohmios, diseñados para evaluar la resistencia eléctrica, especialmente en aislamientos de cables y equipos eléctricos. En 1903, la empresa británica Evershed y Vignoles Ltd. formalizó la marca Megger, iniciando la fabricación y venta de medidores de resistencia bajo este nombre. [17]

A lo largo del siglo XX, Megger se distinguió por su enfoque en la fabricación de equipos de alta calidad destinados a pruebas de aislamiento, resistencia de tierra y diagnóstico de cables. Durante este período, la empresa se dedicó a la mejora continua de sus instrumentos de prueba eléctrica. [17]

Megger se destacó por su papel pionero en la introducción de tecnologías avanzadas en pruebas eléctricas. La incorporación de sistemas VLF (Very Low Frequency) para pruebas de aislamiento fue un hito significativo, demostrando el compromiso de la marca con la innovación y la adopción de tecnologías de vanguardia. [17]

A medida que Megger continuó su crecimiento y desarrollo, expandió su presencia a nivel global. Estableció una posición sólida en varios países, proporcionando soluciones de prueba eléctrica a diversas industrias. En la actualidad, Megger es ampliamente reconocida como una marca líder en equipos de prueba eléctrica, ofreciendo una amplia gama de instrumentos y sistemas. [17]

Megger sigue siendo un referente en el desarrollo de tecnologías avanzadas para satisfacer las cambiantes demandas de la industria eléctrica. Su compromiso continuo con la innovación y la calidad la posiciona como una marca confiable a nivel mundial, desempeñando un papel crucial en el avance de las pruebas eléctricas. [17]

La historia de Megger es testimonio de su dedicación a la excelencia técnica y su impacto significativo en el campo de las pruebas eléctricas. La marca ha evolucionado con los tiempos, manteniéndose a la vanguardia de la tecnología y contribuyendo de manera sustancial al desarrollo de la industria eléctrica a nivel global. [17]

2.3.2 SebaKMT



Figura 2.3. Logo de la empresa SebaKMT.

SebaKMT es una marca alemana; su origen se da con la fundación en el año de 1951 de Seba Dynatronic por el Dr. Herbert Iann, la cual fue registrada como una agencia comercial enfocada en instalaciones industriales. [18]

Seba Dynatronic tan pronto fue fundada se dedicó a su ampliación en el campo de la producción y desarrollo de equipos de medición para detectar fugas en las redes de distribución de agua potable. [18]

A medida que avanzaba la década de 1960, la empresa amplió su catálogo de equipos, incluyendo dispositivos de localización de líneas. En la década de 1970, se introdujeron equipos de localización de averías para cables eléctricos, y en la década de 1980, se agregaron dispositivos de localización de averías para cables de telecomunicaciones. [18]

Con el avance tecnológico y crecimiento de la empresa para el año de 1971, se entregó el primer equipo móvil tipo van, el cual se encontraba totalmente equipado para la comprobación de pruebas y mediciones de cables eléctricos. A medida que pasaba el tiempo, la empresa siguió creciendo y expandiéndose con sus ventas logrando, en el año 1996, entregar la van número 1000. [18]

Tras la muerte del Dr. Herbert Iann en 1995, su hijo Max y su hija Adriane tomaron el liderazgo y tutela de la empresa. Dentro del mismo año la empresa Seba Dynatronic adquirió a su principal competidor, Hagenuk KMT Kabelmesstechnik GmbH, que tenía su centro de producción en Radeburg, cerca de Dresden. [18]

Seba Dynatronic y Hagenuk KMT entran en una alianza dando origen a la marca conjunta SebaKMT, la cual comenzó con sus operaciones en el año 2000. [18]

En el año 2012, SebaKMT se convirtió en miembro del Grupo Megger, fortaleciendo aún más su posición en el mercado. [18]

SebaKMT junto a sus alianzas y crecimiento a nivel mundial hoy por hoy cuenta con representantes en 130 países de todo el mundo, y su personal está altamente capacitado y

utiliza la tecnología más avanzada permitiendo a la empresa brindar el servicio y asesoramiento más completo del sector. [18]

2.3.3 Baur



Figura 2.4. Logo de la empresa Baur.

Baur es una empresa austriaca, la cual fue fundada en el año 1945 en Sulz por el ingeniero Josef Baur, quien tenía experiencia en el campo de la radiotecnica y radioeléctrica. Colaboró con su equipo de trabajo compuesto por Ewald Baur y Alois Knünz, quienes estaban encargados de la reparación de los equipos referentes a la experiencia de Josef, los cuales manejaban transformadores de alta tensión. [19]

En sus inicios, la empresa Baur era un conjunto de talleres físico-tecnológicos que se encontraba ubicada en la fábrica de bordados de su padre, previamente a que fuera clausurada. Dentro de la historia, Josef Baur olvidó la inscripción de su empresa, motivo por el cual su inicio oficial se dio en octubre del mismo año de su fundación. [19]

Josef Baur, junto a Christoff Mittelberger, observaron cómo el cableado eléctrico se encontraba destruido debido a la guerra mundial, lo que dio origen a su enfoque en la creación y producción de equipos para pruebas y diagnóstico de los sistemas eléctricos. Obtuvieron su primer equipo, el PKG 35, un equipo de prueba de cables pequeño y portátil, el cual mejoraron aumentando la tensión de 35 a 45 kilovoltios. El equipo pasó a llamarse PGK 45. [19]

Ante la necesidad de expandirse a nivel internacional y lograr el reconocimiento de su marca, Josef aprovechó la oportunidad en la Feria Industrial Alemana de Hannover. Logró exhibir su producto PGK 35, haciendo que la gente se aglomerara alrededor de él y su equipo

entre estallidos y destellos. Así inició la innovación de sus productos en la localización de averías de cables como campo empresarial. [19]

Después de ser conocidos a nivel internacional, Baur innovó sus equipos implementando un mayor número de pruebas y diagnóstico del cableado eléctrico, llegando a expandirse en el mercado internacional y llevando su marca a distintos países. Esto resultó en la creación de proyectos y convenios que perduran hasta la actualidad. [19]

Dentro del desarrollo de nuevos equipos, han logrado obtener grandes reconocimientos y certificaciones como una de las mejores empresas especializadas en pruebas y diagnóstico de los cables eléctricos. En 2015, lanzaron un vehículo de medición de cables automático llamado "Titron", que posee un sistema portátil de diagnóstico DP y tan delta. Tiempo después, Baur cambió el logotipo de su marca, el cual se mantiene hasta la actualidad. [19]

Baur ha ganado una reputación por la calidad y confiabilidad de sus productos, siendo ampliamente utilizados por profesionales en el sector eléctrico para garantizar la seguridad y eficiencia de las infraestructuras eléctricas. [19]

2.3.4 enel Condesa



Figura 2.5. Logo de la empresa enel Condesa

En 1962, Enel se constituyó como la Empresa Nacional de Energía Eléctrica en España, solidificando su posición como un actor importante en el sector hidroeléctrico y proporcionando energía para el rápido desarrollo del país. A lo largo de los años, la red nacional se ha modernizado y ampliado para conectarse rápidamente con la red europea. [20]

En la década siguiente, afrontaron la crisis energética y fomentaron el uso de fuentes alternativas como la energía nuclear, siendo también pioneros en energías renovables. Han logrado avances significativos mediante la implementación de plantas hidroeléctricas, campos solares, plantas fotovoltaicas y parques eólicos. [20]

A medida que se liberaliza el mercado de la electricidad, la empresa se convierte en una entidad privada que se concentra en la producción, distribución y suministro de energía. La empresa ha estado adoptando tecnologías digitales e instalando los primeros contadores inteligentes en 2001, al entrar en el nuevo milenio. La adquisición de Endesa en España y su inversión en Enel Green Power a partir de 2008 la convierten en un actor de primer nivel. [20]

Están involucrados en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y priorizan diversas asociaciones para promover la sostenibilidad. En respuesta a la creciente evidencia del cambio climático, la compañía está aumentando su inversión en digitalización, movilidad eléctrica, economía circular y descarbonización. Están colaborando con otras entidades para desarrollar soluciones innovadoras, como parte de la estrategia Open Power. [20]

El desarrollo de Enel X, Enel X Way y Gridspertise está impulsado por un enfoque basado en plataformas que enfatiza las soluciones digitales para la transformación del sector energético hacia la sostenibilidad y la innovación. [20]

2.3.5 b2 electronics



Figura 2.6. Logo de la empresa b2 electronics.

b2 electronics es una marca Austriaca, la cual fue fundada en el año 2001 por los Ingenieros Stefan Baldauf y Roudolf Blank, su empresa esta enfocada en el servicio de desarrollo y elaboración de equipos para pruebas de alta tensión, actúa a nivel internacional innovando

en las soluciones para la prevención de fallas en las redes de energía eléctrica considerando en sus equipos seguridad, rapidez y rentabilidad, ejecutando varios proyectos para empresas electrónicas con renombre tanto en Australia como Suiza . [21]

En el año 2002 ingresan con su primera línea de equipos de sistema automatizado de comunicación para la obtención de datos de medición en sectores remotos conocidos como DCS y estos son fabricados en la misma empresa b2 electronics. [21]

Poco después, en el 2004, lanzan el equipo de pruebas Hipot VLF más pequeño del mundo logrando con ello un crecimiento en su producción y ampliando la instalación de un campo variado de pruebas de alta tensión de última generación. [21]

Con el desarrollo de nuevas pruebas b2 electronics introduce al mercado equipos de pruebas para fallas, obteniendo consigo pruebas de aceite en transformadores que podían ser realizadas a nivel de laboratorio o en la zona en el cual se encontraba instalado el equipó. [21]

En el año 2008 obtiene su certificado ISO 9001, con el propósito de evidenciar la calidad sobresaliente de sus productos y la capacidad de generar resultados reproducibles en los procesos de desarrollo, fabricación, calibración y envío. [21]

A partir del 2012 hasta 2017 b2 electronics empieza su expansión con su creación de sedes en Colombia y Alemania, establece una red de socios de ventas para Medio Oriente con el respaldo de un socio de ventas en la región en Arabia Saudita; conjuntamente innova sus catálogos logrando fabricar equipos de prueba, diagnóstico y probadores de potencia VLF. [21]

En el 2019 se une al grupo OMICRON como una entidad independiente, conservando su propia marca y estructura organizativa. [21]

Poco tiempo después crea una red de socios de venta a nivel de toda Latino América, logrando obtener un reconocimiento de la marca en 120 países, con socios en más de 80 países, permitiéndoles estar más cerca de sus clientes. [21]

2.3.6 Inducor

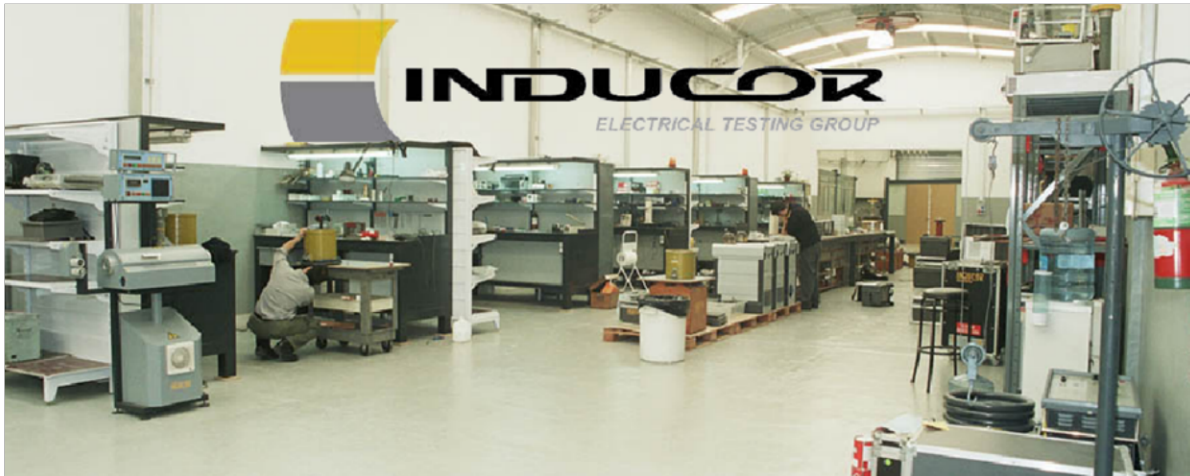


Figura 2.7. Logo de la empresa Inducor.

Inducor Ingeniería S.A., una empresa argentina fundada en 1990, ha consolidado su posición como pionera al obtener la certificación ISO 9001:2008 (BVQ). Especializada en servicios de Análisis, Verificación y Diagnóstico para el Sector generador y distribuidor de Energía Eléctrica de Media y Alta Tensión, la empresa opera desde una planta tecnológicamente avanzada, con una infraestructura de 6500 m², destacándose como líder en el mercado. [22]

Con un portafolio comercial global, abarcando tres continentes, Inducor Ingeniería S.A. se destaca en la ingeniería, fabricación y comercialización de equipos específicos para ensayos eléctricos, respaldada por las principales marcas europeas y estadounidenses. [22]

La empresa se distingue por liderar en la aplicación de tecnología VLF (Very Low Frequency) y el uso de sistemas expertos para Descargas Parciales, Rayos Gama y Ultrasonido. Estas tecnologías especializadas han fortalecido la experiencia de la empresa en el análisis de degradación y estimación de vida útil remanente de cables de potencia, incluso hasta 500 KV. [22]

Inducor Ingeniería S.A. ofrece servicios de excelencia técnica en Consultoría, Inspecciones y Ensayos in-situ, con un enfoque multidisciplinario evidente en mediciones específicas para el análisis de fallas en diversos materiales y sistemas eléctricos. [22]

Con más de 15 años de trayectoria, la empresa ha desempeñado un papel fundamental en el mercado colombiano de Generación, Transmisión y Distribución de energía eléctrica. Su enfoque se centra en el análisis y diagnóstico de cables subterráneos de media y alta tensión, contribuyendo al desarrollo y mantenimiento de la infraestructura eléctrica en Co-

lombia. [22]

Vanguard Instruments Colombia, High Voltage Inc. Colombia y Power Diagnostix Colombia forman parte del grupo estratégico de Inducor Ingeniería S.A. para la región del Caribe, estableciendo alianzas que fortalecen la presencia y capacidad de la empresa en mercados clave. [22]

Inducor Ingeniería S.A. emerge como líder en el sector eléctrico, destacando por su infraestructura tecnológica avanzada, tecnologías especializadas y contribución significativa al mercado colombiano. Su compromiso con la excelencia técnica y la innovación la consolida como referente confiable en el análisis y diagnóstico de sistemas eléctricos de alta complejidad. [22]

2.3.7 Huazheng Electric



Figura 2.8. Logo de la empresa HuazHeng Electric.

Huazheng Electric es una empresa china fundada en el año 2008, ubicada en la ciudad de Boardimg, provincia de Hebei en China. Se especializa en el desarrollo y producción de equipos enfocados en el área de energía eléctrica. Entre sus principales productos se encuentran pruebas de alto voltaje, análisis de aceite en transformadores de potencia, sistemas de localización de fallas e interrupciones en los cables, pruebas para el correcto funcionamiento de los relés de protección, pruebas en equipos de seguridad y pruebas en microcomputadoras para el control de relés. [23]

Desde su fundación en 2008, Huazheng Electric emprendió proyectos de pequeña potencia

en el distrito de Xian en 2009. Al año siguiente, innovó su línea de equipos transformándolos en equipos automatizados de potencia. En 2011, recibió su primer certificado en sistemas de gestión de calidad ISO 9000 y obtuvo la licitación de red estatal. [23]

En 2012, la empresa procedió con el desarrollo y producción de líneas de equipos para la detección de fallas, extendiendo su marca en el mercado global. En el siguiente año, obtuvo una segunda licitación de red estatal por parte de la empresa XuanZhadtong Electric. Poco después, inició importaciones y exportaciones con Huanhai, logrando acuerdos internos y expandiéndose en el mercado. [23]

Huazheng Electric se estableció como distribuidor de altamar en 2017, llegando a Tailandia, Indonesia y Vietnam. Hasta la fecha actual, la empresa está comprometida con la calidad, manteniendo una posición competitiva en el mercado. Sus productos innovadores se complementan con un excelente servicio a través de sus empleados, y todos sus productos cumplen con las normas internacionales de calidad. Actualmente, poseen el certificado CE e ISO 9001. [23]

2.3.8 Hipotronics



Figura 2.9. Logo de la empresa Hipotronics.

Hipotronics es una empresa estadounidense fundada por el visionario Stanley Perschel, quien deseaba crear equipos de pruebas eléctricas de alto voltaje en el área industrial de cables y alambres. La fundación ocurrió en el año 1962 en Brewster (Nueva York). [24]

En 1969, Hipotronics diseñó su primer equipo para pruebas de resonancia de corriente alterna, logrando con su construcción pruebas de cargas a niveles elevados de montaje sin necesidad de mayores requisitos de entrada. Un año después, se añadieron pruebas en máquinas motoras. [24]

La apertura al mercado internacional se produjo en la década de 1980, logrando un crecimiento fundamental de sus ventas. Para la década de 1990, la revista Forbes mencionó a Hipotronics entre las 200 mejores empresas pequeñas de Estados Unidos. [24]

Hubbell Incorporated adquirió Hipotronics en 1992 y en 1995 también adquirieron Robin

Instruments, obteniendo así ingreso al mercado en el campo de medición de descargas parciales. A través de Hubbell, en 1999 se produjo una ampliación global mediante la compra de Haefely. Siete años después, se presentó innovación para la automatización basada en PLC. [24]

Entre los años 2011 y 2018, se implementaron nuevos productos en el catálogo, incluyendo localización de fallas, sistemas de pruebas móviles, implementación de interfaces digitales y la creación de los primeros kilovoltímetros inalámbricos de alto voltaje. [24]

En 2019, lanzaron sus probadores Hipot con capacidad de probar ciclos más largos de operación. También se presentaron equipos para pruebas dieléctricas con controles digitales, generando mejoras en la regulación, precisión y mayores niveles de voltaje de prueba. Para el 2020, sus equipos Hipot se ofrecen para pruebas inalámbricas mediante dispositivos smartphone y laptops. [24]

En el 2021, renovaron sus equipos de pruebas de fallas con CC y mediciones inalámbricas. Además, la compañía se trasladó a la empresa Hubbell con el certificado ISO 9001 en Reading (Pensilvania). [24]

Hasta la actualidad, continúan innovando su catálogo, teniendo más de 20 patentes estadounidenses e internacionales, garantizando la calidad de sus productos. [24]

2.3.9 XZH Test



Figura 2.10. Logo de la empresa XZH Test.

Xi'an Xu y Hui Tecnología Electromecánica Co. Ltd. (XZH Test) es una empresa fabricante y proveedora fundada en 2013, con experiencia en equipos de pruebas de potencia que abarcan campos como pruebas de transformadores de potencia, voltaje soportado en corriente alterna, pruebas de protecciones de relés, TP/TC, localización de fallas en cables subterráneos, análisis de interrupciones automáticas, pruebas de resistencia y puesta a tierra. [25]

XZH Test cuenta con más de 60 empleados, incluyendo 8 ingenieros encargados de la supervisión, 20 ingenieros asistentes y 40 técnicos con una experiencia técnica que se extiende por más de 20 años. [25]

En 2014, recibieron la certificación del sistema de calidad ISO 9001, estableciendo un estricto sistema de gestión de calidad en toda la empresa y un eficiente servicio posventa. Al mismo tiempo, innovaron sus productos con tecnologías avanzadas y mejoraron la gestión de procesos, tanto en el área de ensamblaje como en el servicio técnico. [25]

En la actualidad, XZH Test sigue mejorando sus servicios y equipos, combinando su experiencia para brindar a sus clientes equipos y servicios de pruebas eléctricas más confiables con nuevas tecnologías, de fácil adquisición y operación. [25]

2.3.10 HV Hipot



Figura 2.11. Logo de la empresa HV Hipot.

HV Hipot Electric Co., Ltd., fundada en 2003 como una empresa de alta tecnología, ha evolucionado como un actor integral en el sector de sistemas de energía. Con una estructura moderna que incluye una oficina inteligente de 1500 metros cuadrados y una planta de producción de 2000 metros cuadrados, la compañía opera en el desarrollo, producción y servicios de sistemas de energía, destacando en equipos de prueba de energía, inspección no destructiva en vivo y diseño de sistemas de monitoreo en línea. [26]

Ubicada en Wuhan, provincia de Hubei, HV Hipot cuenta con un centro de marketing nacio-

nal e internacional, así como centros de investigación y desarrollo de productos y servicios posventa, con más del 85 por ciento de empleados con educación universitaria o superior, incluyendo maestrías y doctores. [26]

La empresa ha trazado un camino significativo en su historia desde 2004, año en el que desarrolló un dispositivo de prueba de tensión soportada de frecuencia industrial completamente automático. [26]

En 2005, estableció una asociación estratégica con Vietnam CSC, desafiando a los productos occidentales en medición eléctrica en Vietnam. Al año siguiente, HVHIPOT se registró formalmente y se convirtió en una marca registrada, sentando las bases para la apertura del mercado internacional. [26]

En 2015, HV Hipot obtuvo una serie de derechos de autor de software de computadora, marcando avances en tecnologías maduras. Para 2018, lanzó oficialmente el mini programa HVHIPOT, proporcionando herramientas de cálculo para pruebas de potencia. [26]

HV Hipot ha estado a la vanguardia en el desarrollo de tecnologías y ha logrado reconocimiento tanto nacional como internacional en el sector de sistemas de energía. [26]

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

3.1.1 Equipos móviles

En la Tabla 3.1 se puede observar el número de prueba y métodos de diagnóstico que poseen los equipos móviles.

Tabla 3.1. Pruebas y Diagnostico equipos móviles

Equipo	Megger	SebaKMT	XZH Tester	Enel	Incudor
Aislamiento	X	X	X	X	X
AC	X	X	X	X	—
DC	X	X	—	X	X
VLF	X	X	—	X	—
DP	X	X	—	X	—
Tan	X	X	—	X	—
TDR	X	X	X	X	X
ARM	X	X	X	X	X
ICE	X	X	—	X	—
DECAY	X	—	—	X	—
Audio y Radio f	X	X	X	X	X
Coincidencia	X	X	X	X	X

3.1.2 Equipos portátiles

En la Tabla 3.2 se puede observar el número de prueba y métodos de diagnóstico que poseen los equipos portátiles.

Tabla 3.2. Pruebas y Diagnostico equipos portátiles

Equipo	Baur	B2electronic	Huazheng	HV Hipot	Hipotronics
Aislamiento	X	X	X	X	X
AC	X	—	X	—	X
DC	X	X	—	X	X
VLF	X	X	—	—	—
DP	X	X	—	—	X
Tan	X	X	—	—	—
TDR	—	X	X	X	X
ARM	—	—	—	—	X
ICE	—	—	—	—	—
DECAY	—	—	—	—	—
Audio y Radio f	—	X	X	X	—
Coincidencia	—	—	X	X	X

3.1.3 Centrix 2.0 - Megger

En la Tabla 3.3 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo Centrix 2.0 - Megger.

Tabla 3.3. Especificaciones técnicas equipo Centrix 2.0 - Megger

Centrix 2.0 - Megger	
	
Prueba de Aislamiento	
Resistencia/Capacitancia	1 ω ... 2 G ω ; 0 ... 19,9 μ F
Voltajes	6 / 500 / 1000 V
Prueba de Voltaje DC	
Voltaje de salida	0 ... 40 kV, I _{max} 580 mA/0 ... 80 kV, I _{max} 580 mA
Prueba de voltaje VLF(VLF TDM 62)	
CR / 50 Hz Pendiente	
Voltaje	0 ... 60 kV _{rms}
Máx.Carga	4.45 μ F para 60 kV _{rms} a 0.1 Hz
Onda Sin	
Voltaje	0 ... 32 kV _{rms}
Máx.Carga	1 μ F para 44 kV _{rms} a 0.1 Hz/10 μ F para V/f más baja
DAC diagnóstico de DP no destructivo	
Voltaje	0 ... 44 kV _{rms} / 60 kV _{pico}
Máx.Carga	10 μ F para 20 kV _{rms} /8 μ F para 32 kV _{rms}
localización de fallas – métodos de Prelocalización	
Método	Modulo Base
ARM	0 ... 32 kV, 4 kV adicionales Imagen funcional con 350, 1500 V
DECAY	0...40 kV(0 ... 80 kV para fuente HV de 80 kV) 4 kV adicionales, pulso de imagen funcional con 1500V)
ICE	0 ... 32 kV por fase
Conversión de fallas	
Grabación en vivo ARM	0 ... 8 kV _{DC} , I _{max} 580 mA
Grabación de rendimiento	0 ... 20 kV _{DC} , I _{max} 40 A; 0 ... 600 VAC , I _{max} 70 A _{eff}
Localización puntual de Averías	
Localización acústica	
Niveles de Voltaje	0...4,0...8,0...16,0...32 kV 0...2 kV, 1.200J (libre de desgaste con tiristor) 0...60 kV,1.800 J
Energía	2000J o 4000J para 4,8,16 y 32kV
Aspectos Generales	230 V/50 Hz-60Hz-< 3 kVA máx

3.1.4 Variant - SebaKMT by Megger

En la Tabla 3.4 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo Variant - SebaKMT by Megger.

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas equipo Variant - SebaKMT by Megger

Variant - SebaKMT by Megger	
	
Prueba de Aislamiento	
Aislamiento	500 A 1000 [V]
Prueba de Alta Tensión	
Prueba	Valores de Operación
DC	0-50kV ; Entrada=14mA ; Imáx=50mA 0-100kV ; Entrada=15mA ; Imáx=50mA
AC	0-58kV ; Entrada=14mA ; Imáx=50mA
VLF	VL 54 kVrms 0,1 Hz Cos rectangular máx.5µF a 54kV,8µF a 36kV 21µF a 18kV VLF sen 54 kV máx.5µF a 38kVrms,0.01hz; 1µF a 38kVrms ,0.1Hz
Diagnostico	Medición de Tangente delta con VLF sin OWTS Sistema de medición de PD
Prelocalización de fallas	
Frecuencia de muestreo	máx. 400MHz
Ancho de Pulso	20ns... 10µs
Amplitud de pulso	30... 160V
Velocidad de Propagación	10... 149,9 m/µs, pies/µs o NVP
Impedancia de salida	50 Ω
Gama dinámica	¿80dB
Exactitud	Mejor que el 0,1 % del rango
Prelocalización de fallas en Alta Tensión	
ARM	0... 8/16/32 kV activo con LSG 3-E,2 kV, 640J 0... 2/4kV
DECAY	0... Umax (DC máx.)
Localización puntual de Averías	
Método	Opciones
Audio Frecuencia	200 w / 491Hz, 982Hz, 8,44kHz / 0,5ohm... 1kohm
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	100-240 VAC /60Hz
Máx. consumo de potencia	

3.1.5 Cable Fault Test Van - XZH TEST

En la Tabla 3.5 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo Cable Fault Test Van - XZH TEST.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas equipo Cable Fault Test Van - XZH TEST

Cable Fault Test Van - XZH TEST	
	
XHDD503D-Localizador de fallas	
Onda de sonido y electromagnética	El aumento es 500,000 veces.
Voltaje de funcionamiento	$\pm 9V \pm 20$ por ciento
Corriente de reposo	$< 10mA$
Impedancia de salida	350Ω
XHHV532-4TS-Prueba de alto voltaje	
Alto voltaje de impacto	DC 0-8/16/32kV
Condensador	64/16/4 μ F
Potencia de descarga	2048J
Tiempo de impacto	5 seg
Potencia de impacto	2kVA
XHDP-80-Prueba de alto voltaje VLF	
Tensión nominal	inferior o igual a 50 kV
Tensión nominal de salida	80kV (valor máximo)
Frecuencia de salida	0.1Hz, 0.05Hz, 0.02Hz
Capacidad de carga	0.1Hz a 1.1 μ F ; 0.05Hz a 2.2 μ F; 0.02Hz a 5.5 μ F
Prueba de Aislamiento	
Voltaje de salida	DC500V/1000V/2500V/5000V $\pm 10\%$
Corriente de Corto Circuito	$> 5mA$
Rango	0,2M Ω – 100G Ω
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	220V, 50Hz ; Conveniencia del importador
Máx. consumo de potencia	6.3KW

3.1.6 ET1001 Equipo móvil de pruebas - Enel Condesa

En la Tabla 3.6 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo ET1001 Equipo móvil de

pruebas - Enel Condesa.

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas equipo ET1001 Equipo móvil de pruebas - Enel Condesa

ET1001 Equipo móvil de pruebas - Enel Condesa	
	
Pre-Localizador de fallas	
Voltaje de Ensayo de Aislamiento	1000 V a 5000 V en pasos de 100 V
Rangos de Resistencia	1 kOhm, 5 MOhmios, 100 MOhmios
Ensayos en DC	0...40kV DC
Corriente de Fuga	0...1/10/100 mA auto rango
Conversión de Falla	0...8kV ;750mA / 0...20kV ;100mA
Opciones de Sobretensión	0...16kV / 32kV
Energía de Sobretensión	Max. 2000 J
Tasa de Sobretensión	0...20 pulsos por min y un solo pulso
Reflectometría	20 m...1.280km (v/2 = 80m/μs)
Prelocalización de Falla AT:	ARM,ICE,DECAY
Sistema de prueba VLF	
VLF Sin/Cos	0... 62 kVpico/ 0... 44 kVrms
VLF rectangular	0... 62 kV
DC±	0... 62kV
Frecuencia	0.01 ... 0.1 Hz
Capacidad de Carga	1μF a 62kVp y 0.1Hz
Localización puntual de fallas	
Voltaje pulso	55V (DC)
Corriente máx. del pulso	100A
Ancho de pulso	72ms
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	100–240 VAC /60Hz
Máx. consumo de potencia	3 kVA máx

3.1.7 Laboratorio móvil clase 2 - Inducor

En la Tabla 3.7 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo Laboratorio móvil clase 2 - Inducor.


Tabla 3.7. Especificaciones técnicas equipo Laboratorio móvil clase 2 - Inducor

Laboratorio móvil clase2 - Inducor	
	
Prueba de Alta tensión y Aislamiento	
Voltaje de Salida	0–9 kVcc / 0–18 kVcc / 0–36 kVcc
Energía de impulso	1600J
Corriente máx.	280 mA a 9 kVcc 140 mA a 18 kVcc 70 mA a 36 kVcc
Tiempos de impulso	6–10 seg
Componentes	Bloqueo de salida de HV Filtro de Reflexión de Arco Filtro de Impulso de Corriente
Prueba de Pre-localización	
Factor de velocidad	25 – 99.9 %
Pulsos	50nS – 3 μ S
Ganancia vertical	0 . . . 20 dB
Métodos de reflectometría	TDR Convencional y Diferencial TDR para Alta energía/Relajación. AMR e ICE
Localización puntual de fallas	
Canal acústico (Amplificación)	68 db
Canal magnético (Amplificación)	44 db
Filtro canal acústico	120Hz. . . 800Hz, 120Hz. . . 1800Hz. 270Hz. . . 1500Hz, 500Hz. . . 3000Hz.
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	230 V 60Hz
Máx. consumo de potencia	4.6 kVA máx

3.1.8 PHG 80 TD PD - Baur

En la Tabla 3.8 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo PHG 80 TD PD - Baur.



Tabla 3.8. Especificaciones técnicas equipo PHG 80 TD PD - Baur

PHG 80 TD PD - Baur	
	
Tensión de Salida	
VLF Truesinus	0 - 57kV 1.4 - 81 kVpico
Tensión rectangular	0 - 80kV
Rango de Frecuencia	0.01 - 1 Hz
Tensión Continua	Entre 0 y ± 80 kV
Máx.Carga capacitiva	Hasta 40 μ F 1,2 μ F a 0,1 Hz con 57 kV 3 μ F a 0,1 Hz con 38 kV 5 μ F a 0,1 Hz a 38 kV de tensión rectangular 4 μ F a 0,1 Hz con 30 kV
Corriente de salida	
Corriente de salida	1,8 mA a 80 kV DC 60 mA a 50 kV DC 90 mA a 20 kV DC
Tensión rectangular	1,8 mA a 80 kV DC
Máx. corriente de quemado	120 mA
Resolución	10 μ A
Precisión	1 %
Medición Tangente Delta	
VLF Truesinus	0 - 57kV
Rango de carga	≥ 10 nF
Precisión	1×10^{-4}
Medición Descargas Parciales	
VLF Truesinus	0 - 57kV
Velocidad de propagación (v/2) ajustable	50–120 m/ μ s
Rango de medición de DP	1 pC – 100 nC
Precisión	Aprox. 1 % de la longitud del cable
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	200 – 260 V, 50/60 Hz 100 – 140V, 50/60Hz con autotransformador
Máx. consumo de potencia	3.500 VA

3.1.9 HVA54-3 /PDTD60-2 - b2electronics

En la Tabla 3.9 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo HVA54-3 /PDTD60-2 - b2electronics.

Tabla 3.9. Especificaciones técnicas equipo HVA54-3 /PDTD60-2 - b2electronics

HVA54-3 - b2electronics	
	
Tensión de Salida	
VLF sin	0...38kVrms / 0...54kVpeak
DC	-54kV...54kV
VLF cuadrada	0 ... 54kV
Resolución de ajuste de voltaje	0.1kV
Rango de frecuencia	0.01Hz...0.1Hz
Resolución de configuración de frecuencia	0.01Hz
Corriente de salida	
AC	85mArms max
DC	120mA max.
PDTD60-2 - b2electronics	
	
VLF sin	max. 62 kVpeak, 44 kVrms
Rango de velocidad (v/2)	10 - 150 m/μs
Nivel de fondo de DP	<10 pC
Frecuencia de muestreo	250 MS/s
Tan Delta (resolución/precisión)	$1 \times 10^{-5} / \pm 1 \times 10^{-4}$
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	190...240V, 50/60Hz
Máx. consumo de potencia	3.000 VA

3.1.10 Hz-501B/503/535-4 - Huazheng

En la Tabla 3.10 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo Hz-501B/503/535-4 - Huazheng.

Tabla 3.10. Especificaciones técnicas equipo Hz-501B/503/535-4 - Huazheng

Hz-501B/503/535-4 - Huazheng	
	
Generador de Alto Voltaje	
Alto voltaje de impacto	0 - 35kV
Corriente de cortocircuito	0 - 320 mA
Capacitancia incorporada	4 μ F
Energía de descarga	0-2450J
Polaridad del V_{OUT}	Negativa
Potencia de impacto	400W
Protección contra sobrecorriente	16A (más de 3 seg)
TDR Localizador de fallas	
Frecuencia de muestreo	100 MHz
Pulso de bajo voltaje	Ancho:0,1 μ S y Amplitud: 2 μ S - 100Vpp
Potencia de Salida	100 W
Potencia de impacto	0 - 400 W
Sobre Voltaje	0-35kV
Corriente CC	0-320 mA
Energía de Sobre Voltaje	0-1225J
Pre-localizador de fallas	
Método de prueba	Descarga disruptiva, Bajo impulso
Amplitud del pulso	100 V_{PP} .
Ancho de impulso	0,1/2 μ S
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	220 V, 50Hz / Conveniencia del Importador

3.1.11 GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot

En la Tabla 3.11 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot.

Tabla 3.11. Especificaciones técnicas equipo GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot

GD-2136H Cable Fault Locating System - HV Hipot	
	
Prueba de sobre voltaje	
Voltaje de salida	0-32 kV (DC)
Energía máx	2048 J, 4 μ F
V_{DC} de descarga	32 kV
Corriente de descarga (DC)	63 mA
Corriente de impulso máx.	500 mA
Método de descarga	Hi-Pot Dc, 1 por ciclo
Tiempo de descarga	3-6 seg
Localización de fallas TDR	
Zona muerta	0m
Precisión de medición	1 m (alcance \leq 2 km), 8 m (alcance \leq 2 km)
Ancho de pulso	80ns-10 μ s
Resistencia máx	100 M ω
Equipos	
Generador de impulsos	GD-2131H
Localizador de fallas	GDTG-600A
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	220 V, 50 Hz/Conveniencia del importador
Máx. consumo de potencia	5VA

3.1.12 (8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS) - Hipotronics

En la Tabla 3.12 se puede observar los datos técnicos específicos para la prueba y diagnóstico de los cables subterráneos por parte del equipo 8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS - Hipotronics.

Tabla 3.12. Especificaciones técnicas equipo (8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS) - Hipotronics

(8060PL/X-Wave/AC-DC PDTS) - Hipotronics	
	
Prueba Hi-Pot DC	
Voltaje de salida	60 kV (DC)
Corriente de Salida	16 mA
Polaridad de salida	Reversible
Onda de salida	< 0.2 % por mA
Corriente de impulso máx.	500 mA
Localización de fallas	
Sistema de Salida	500V-10kV, 12.5mA (max)
Amplitud de pulso	160V, 50 ω
Ancho de pulso	50 - 400nsec
Máx.Energía	350J
Frecuencia de repetición	6 sec a Vmax
Frecuencia de muestreo	80MHz
Modos de operación	Arc(HV TDR);Direct TDR(LV TDR) DC Hipot;Descarga Cap./Impulso
Frecuencia de muestreo	80MHz
Descargas Parciales AC/DC	
Voltaje de Salida	1.0 %-100 % de F.S. (2y5kVA - >10kVA)
Resolución de medición	0.01kV, 0.01mA
Precisión	$\pm 5\%$
Línea base AC PD	< 2pC hasta V_{TOTAL}
Voltaje	50kV AC
Corriente	200mA
Aspectos Generales	
Alimentación de tensión	120V/60Hz - 230V/50Hz
Batería	24V DC, Recargable

3.2. Conclusiones

- La revisión exhaustiva de los datos técnicos de cada equipo, centrado en el análisis exclusivo de pruebas y diagnósticos en los conductores de media tensión subterránea, condujo a la conclusión de que el mejor equipo móvil es el Centrix 2.0 de la marca Megger. Este dispositivo se destaca por ofrecer un amplio rango

de opciones dentro de sus características eléctricas , cumpliendo con todas las pruebas y métodos fundamentales para verificar el correcto funcionamiento de los conductores subterráneos. En el ámbito de los equipos individuales o sistemas portátiles, identificamos al sistema de equipos PHG 80 TD PD – Baur como la opción más destacada, este sistema se distingue por su mayor capacidad en los rangos relacionados con las características eléctricas requeridas, logrando una correspondencia precisa con los valores teóricos y los niveles de voltaje evaluados en el estudio de media tensión. Cabe destacar que este sistema de equipos también demostró su eficacia al extenderse a ciertos niveles de pruebas en alta tensión.

- Tras un minucioso análisis de las marcas Huazheng, XZH Test, HV Hipot e Hipotronics, se pudo observar que sus características eléctricas están definidas sin posibilidad de variación en diferentes rangos. No obstante, algunos de los equipos no logran cumplir con el nivel de tensión establecido, lo cual los excluyó de la selección de los mejores en la lista. La razón detrás de esta exclusión radica en que estas empresas presentan sus equipos de manera que el cliente pueda personalizar los rangos y pruebas según los objetivos específicos que desee alcanzar con el equipo o sistema de equipos. Sin embargo, este enfoque requiere un elevado conocimiento de las características eléctricas, proceso de pruebas y diagnóstico de cables. En este contexto, es esencial considerar la normativa vigente en el país y comprender detalladamente cómo se lleva a cabo la puesta en operación de cada prueba, así como los métodos para obtener datos confiables.
- Dentro del estudio las marcas como Megger, Baur y B2 Electronics, cuyos equipos individuales no fueron incluidos en la lista debido a no cumplir con un número específico de pruebas, presentan una oportunidad valiosa para la creación de un equipo móvil de altas capacidades. Estos equipos están diseñados para pruebas específicas, como B2 Electronics especializado en pruebas de alto voltaje y VLF, Baur en alto voltaje y pruebas de localización, y Megger con experiencia en diversas pruebas y metodologías en cables subterráneos, destacándose en pruebas de aislamiento. La combinación de equipos representativos de cada marca podría resultar en la formación de un equipo móvil de altas características eléctricas. Este equipo integral abarcaría todo el sistema global de pruebas y diagnóstico de cables subterráneos, proporcionando una solución completa y versátil para las necesidades de evaluación en el campo de la alta tensión.

- Enel, al ser una empresa distribuidora privada, cuenta con un equipo móvil que posee características eléctricas óptimas para llevar a cabo pruebas y diagnósticos en cables subterráneos. Este equipo tiene la capacidad de competir con los vehículos de Megger y SebaKMT by Megger. Sin embargo, no se considera como el mejor equipo debido a la limitada disponibilidad en el mercado y la necesidad de establecer un convenio directo con la empresa para su adquisición. La falta de accesibilidad y restricciones en la obtención de información para su compra son factores determinantes que influyeron en su evaluación como la mejor opción.
- El estudio llevado a cabo se ha logrado proporcionar un análisis exhaustivo de diversos equipos, así como el impacto de sus respectivas marcas en el mercado. Este análisis se presenta como una valiosa fuente de datos técnicos destinados a pruebas y diagnóstico de cables subterráneos. Dentro de los hallazgos, se han identificado y sugerido los mejores equipos y sistemas móviles y portátiles. Así mismo se logró proporcionar datos para la adquisición de los equipos o sistemas señalados, no solo con el propósito de mejorar las capacidades del laboratorio de alto voltaje de la Escuela Politécnica Nacional, sino también con miras a impulsar la innovación y la expansión de dicha instalación. La elección de estos equipos se fundamenta en su destacado desempeño técnico y su capacidad para abordar las demandas específicas del laboratorio, lo que potenciará su funcionalidad y eficacia en el diagnóstico de cables subterráneos de alto voltaje.

3.3. Recomendaciones

- Se recomienda incluir cables de mayor capacidad para obtener una comprensión más completa de los niveles de voltaje manejados por los cables subterráneos en los sistemas eléctricos en general. y el funcionamiento sea el más óptimo.
- Realizar un análisis exhaustivo de los equipos de distribución asociados, como transformadores, interruptores y empalmes, con el fin de evaluar su interacción con los cables subterráneos y el posible impacto en su rendimiento y la durabilidad.
- Llevar a cabo un análisis detallado de las pruebas actuales utilizadas y compararlas con las normas pertinentes para determinar su verdadera necesidad. Esto podría ayudar a identificar áreas donde se puedan optimizar los procedimientos de prueba sin comprometer la calidad y seguridad del sistema de cables subterráneos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. R. Vázquez, *Manual autodidáctico de líneas subterráneas*. Ediciones Ceac, 1986.
- [2] —, “Cables subterráneos(i),” in *Manual autodidáctico de líneas subterráneas*. Ediciones Ceac, 1986, ch. Lección 1, pp. 9–34.
- [3] —, “Cables subterráneos(ii),” in *Manual autodidáctico de líneas subterráneas*. Ediciones Ceac, 1986, ch. Lección 2, pp. 35–64.
- [4] J. E. Urbina Villada, “Fenómenos que se presentan al realizar la transición de una línea aérea, a cable subterráneo en subestaciones de distribución.”
- [5] D. G. Sinchi Rea, “Pruebas en cables subterráneos: Análisis del 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 sa,” 2023.
- [6] J. R. Vázquez, “Condiciones de servicio de los cables subterráneos,” in *Manual autodidáctico de líneas subterráneas*. Ediciones Ceac, 1986, ch. Lección 3, pp. 65–90.
- [7] “Guía de pruebas de diagnóstico de aislamiento a voltajes superiores a 1 kv,” *Megger*, vol. 6, no. 1, pp. 4–6, 2022.
- [8] I. Canal educativo de Phenix Technologies, “Pruebas hipot de ca vs cc: ¡todo lo que necesita saber sobre los pros y los contras!” 2023, [Web; accedido el 10-01-2024]. [Online]. Available: {<https://www.linkedin.com/pulse/ac-vs-dc-hipot-testing-all-you-need/>}
- [9] Huazheng, “Diferencias entre dc y ac hipot,” 2017, [Web; accedido el 10-01-2024]. [Online]. Available: {<http://m.es.electric-test.com/info/differences-between-dc-and-ac-hipot-19130541.html>}
- [10] R. Hartlein, N. Hampton, N. Contributors, J. Altamirano, T. Andrews, M. Begovic, Y. del Valle, R. Harley, J. H. Mejia, T. J. Parker *et al.*, “Diagnostic testing of underground cable systems (cable diagnostic focused initiative),” *NEETRAC*, 2010.
- [11] J. M. e Instalaciones S.A., “Pruebas vlf para la puesta en servicio de cables xlp en media tensión,” 2019, [Web; accedido el 10-01-2024]. [Online]. Available: {<https://jama.mx/pruebas-electricas/pruebas-vlf.php>}

- [12] E. Cables, "Pruebas de muy baja frecuencia para cables mt," 2024, [Web; accedido el 10-01-2024]. [Online]. Available: {<https://www.elandcables.com/es/the-cable-lab/independent-cable-testing-and-inspection-services/vlf-testing-for-mv-cables>}
- [13] J. L. Acosta Piedrahita, "Evaluación del deterioro del aislamiento en cables xlpe de 15 kv usados en líneas de distribución subterránea mediante la ejecución de ensayo de envejecimiento," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia.
- [14] D. A. Aquino López, L. F. Espinosa Torres, and E. R. Rojas Frias, "Uso de la reflectometría en el dominio del tiempo para fibras ópticas en telecomunicaciones."
- [15] J. C. Colombo, "Reflectometría en el dominio del tiempo-tdr," 2011.
- [16] "IEEE guide for fault-locating techniques on shielded power cable systems," *IEEE Std 1234-2019 (Revision of IEEE Std 1234-2007)*, pp. 1–64, June 2019.
- [17] Megger, "Acerca de megger," 2024, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://csa.megger.com/compania/about-us>}
- [18] S. by Megger, "Historia de sebakmt," 2024, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.sebakmt.de/es/historia.html#:~:text=En%201951%20el%20Dr.,de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.>}
- [19] B. ensuring the flow, "Historia de baur:todo lo grande empezó siendo pequeño," [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.baur.eu/es/about-baur/history/history>}
- [20] E. de Condesa S.A, "Enel:nosotros," [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.enel.com/es/nuestra-compania/quienes-somos/nuestra-historia>}
- [21] b2 electronics, "Historia de la compañía," 2023, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://b2hv.com/company/history#>}
- [22] I. I. ia S.A., "Perfil:inducor ingenieria argentina - colombia," 2008-2012, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.inducor.com.ar/perfil.html>}
- [23] Huazheng, "Sobre huazheng electric manufacturing (baoding) co. ltd," 2022, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://huazhengelectric.com/About-us.2.html>}

- [24] Hubbell, "Historia de hipotronics," 2023, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.hubbell.com/hipotronics/en/about-us-our-history>}
- [25] X. Test, "Xzh test:sobre nosotros," [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<http://es.xzhtest.com/about-us>}
- [26] H. H. E. Co.Ltd, "Hv hipot "sobre nosotros"," 2010-2023, [Web; accedido el 26-12-2023]. [Online]. Available: {<https://www.hvhipot.com/about-us/>}