



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

**ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE
MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL
CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELÉCTRICIDAD**

AUTORES:

Eduardo David Guerrero Castillo

María José Verdezoto Cuenca

TUTOR:

Ing.M.Sc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

LATACUNGA, ABRIL 202



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **GUERRERO CASTILLO EDUARDO DAVID, VERDEZOTO CUENCA MARÍA JOSÉ** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN** siendo el Ing. **PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Verdezoto Cuenca María José
C.I.1752119139

Guerrero Castillo Eduardo David
C.I.1724036155



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN, de **GUERRERO CASTILLO EDUARDO DAVID** y **VERDEZOTO CUENCA MARÍA JOSÉ** de la carrera de Ingeniería en Electricidad considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto,2024

El Tutor

Ing.M.Sc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

C.C. 0502656424



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes: Eduardo Guerrero y María José Verdezoto con el título de Proyecto de titulación: ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, agosto 2024

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Ing. MSc. Mullo Mauricio

CC: 0503755183

Lector 2

Ing. MSc. Pesántez Gabriel

CC: 0301893889

Lector 3

Ing. MSc. Vázquez Franklin

CC: 1710434497

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la culminación de esta tesis. A mi tutor de tesis Ing. Xavier Proaño, por su invaluable orientación, su paciencia y su tiempo, sin los cuales este trabajo no habría sido posible, en especial mi amiga y compañera de tesis María José por todo el apoyo durante esta trayectoria.

A mis amigos y colegas David, Jefferson, Diego, Jhoao, quienes me acompañaron durante este arduo proceso, ofreciéndome su apoyo, su amistad y siempre un consejo oportuno. Su compañía fue esencial para superar los desafíos que se presentaron en el camino.

A mi familia, especialmente a mi madre Martha, por su apoyo incondicional y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. A mis hermanos Christian, Mayra, Juan, Verónica y Lorena, por su aliento constante y por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo en todo momento. Y, en especial, a la memoria de mi abuelita Teresa, quien con su sabiduría y sus memorables consejos siempre creyó en mi potencial y me enseñó que con esfuerzo y constancia se puede llegar lejos.

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo compartido, y a todos ustedes les debo un profundo agradecimiento por su contribución a este logro.

Eduardo Guerrero

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Martha, quien ha sido mi guía, mi apoyo incondicional y mi mayor ejemplo de perseverancia. A mis hermanos Christian, Mayra, Juan, Verónica y Lorena, por su constante aliento y por estar a mi lado en cada paso de este camino. A la memoria de mi abuelita Teresa, cuya sabiduría y amor me han acompañado siempre, motivándome a dar lo mejor de mí. Este logro es para ustedes, por todo lo que han hecho por mí.

Eduardo Guerrero

AGRADECIMIENTOS

Quisiera aprovechar este espacio para expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mi madre Margarita Cuenca, cuya fortaleza y sacrificio han sido la base de todo lo que soy hoy. Cada gesto de amor, sacrificio y palabras de aliento fueron motivación para alcanzar uno de mis objetivos de vida.

A mi hermana, mi compañera de vida y mi segunda madre, que, a pesar de las adversidades, siempre ha estado pendiente de mí, y me ha enseñado a superar los desafíos que he encontrado en este camino.

Finalmente, no puedo dejar de mencionar a mis amigos Eduardo, David, Jefferson, Diego, Jhoao y Erik. Gracias por cada risa compartida, por cada consejo, por cada momento de compañía en este arduo camino. Su apoyo y su amistad han sido parte de mi crecimiento tanto personal como académico.

María José Verdezoto

DEDICATORIA

A mi querida madre, Margarita Cuenca por ser mi guía, mi fortaleza y mi ejemplo a seguir

A mi figura paterna, Víctor Sarango por su apoyo incondicional

A mi hermana, Diana Verdezoto por estar siempre conmigo a pesar de la distancia y a mi sobrin@ mi pequeño rayo de luz que viene en camino.

María José Verdezoto

TITULO: “ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN”

Autores

Eduardo David Guerrero Castillo

María José Verdezoto Cuenca

RESUMEN

Hoy en día, la necesidad de mantener altos niveles de confiabilidad y continuidad en el suministro eléctrico es un tema de relevancia en la sociedad siendo los conductores uno de los elementos los más propensos a generar complicaciones en el sistema sobre todo en el aislamiento del mismo, es por ello que el proyecto realizado en la provincia de Orellana En el sector petrolero presenta el proceso que se lleva a cabo para el análisis de descargas parciales (DPs) off-line en conductores monopolares de media tensión tipo XLPE de 35kV previos a su instalación, donde cabe destacar que los tres conductores anteriormente han tenido un uso por ende el propósito de estudio es evaluar la integridad del aislamiento de estos utilizando el método de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR) para la localización de DPs a lo largo del cable. Para ello se identificó el tipo de patrón (DP interna, superficial o tipo corona) por medio de las gráficas y datos cuantitativos arrojados por el software BAUR SW4, los parámetros de tiempos y niveles de aceptación de DP estandarizadas por la normativa IEEE 400.3. 2022. Con este tipo de pruebas se pudo determinar la eficacia e integridad del aislamiento de los cables antes de su instalación.

Palabras Clave: Descargas parciales, cables de media tensión, TDR.

TITLE: “ANALYSIS OF PARTIAL DISCHARGES IN MEDIUM VOLTAGE CONDUCTORS FOR THE EVALUATION OF THE CONDITION OF THE CONDUCTOR PRE-INSTALLATION”

Authors

Eduardo David Guerrero Castillo

María José Verdezoto Cuenca

ABSTRACT

Nowadays, the need to maintain high levels of reliability and continuity in the electrical supply is a topic of great importance in society. Conductors are among the elements most prone to causing complications in the system, particularly in insulation. Therefore, the project carried out in the province of Orellana in the oil sector presents the process for offline partial discharge (PD) analysis in 35kV XLPE medium-voltage monopolar conductors prior to their installation. It is important to note that the three conductors have previously been used; hence, the purpose of the study is to evaluate the integrity of their insulation using the Time Domain Reflectometry (TDR) method for locating PDs along the cable. The type of pattern (internal, surface, or corona PD) was identified through graphs and quantitative data provided by the BAUR SW4 software, along with the timing parameters and PD acceptance levels standardized by IEEE 400.3-2022. These tests helped determine the effectiveness and integrity of the cable insulation before installation.

Keywords: Partial discharges, medium voltage cables, TDR.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD


Nombre del estudiante: **Eduardo David Guerrero Castillo, María José Verdezoto Cuenca**

AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo

Cindy Justyn Illingworth Salgado con cédula de identidad número: 171362101-7 Magíster en: Educación Media y Superior, Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: 8201R-13-9074 CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES EN CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL CONDUCTOR PRE-INSTALACIÓN** de: **Eduardo David Guerrero Castillo, María José Verdezoto Cuenca**, egresado/a de la carrera de **Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la Facultad de: **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, agosto, 2024


Cindy Justyn Illingworth Salgado, Mg.
CI: 1713621017

Índice de contenido

1	INFORMACIÓN GENERAL	1
2	ABREVIATURAS	2
3	INTRODUCCIÓN	3
3.1	Situación Problemática	3
3.2	Formulación del Problema.....	4
3.3	Objeto y campo de acción	4
3.3.1	Objeto de Investigación	4
3.3.2	Campo de acción	4
3.4	Beneficiarios	4
3.4.1	Directo	4
3.4.2	Indirecto.....	4
3.5	Justificación	4
3.6	Objetivos.....	5
3.6.1	General.....	5
3.6.2	Específicos.....	5
3.7	Sistema de actividades.....	6
4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
4.1	Antecedentes.....	7
4.2	Sistema de Distribución Subterránea.....	8
4.2.1	Elementos que constituyen la red de distribución subterránea.....	8
4.2.1.1	Elementos eléctricos.....	8
4.2.1.2	Elementos Mecánicos.....	9
4.2.2	Causas del deterioro de los cables subterráneos	10
4.3	Pruebas de diagnóstico en cables subterráneos	11
4.3.1	Prueba de Tensión Soportada (Very Low Frequency)	11
4.3.2	Prueba de tangente delta	12
4.3.3	Descargas Parciales	12
4.4	Tipos de mediciones de descargas parciales.....	13
4.4.1	Mediciones de descargas parciales off-line	13
4.4.2	Medición de descargas parciales on-line	13
4.5	Normativas	14
4.6	Tipos de descargas Parciales	15
4.6.1	Descargas Parciales internas.....	15
4.6.2	Descargas Parciales superficiales	15
4.6.3	Descargas Parciales Efecto Corona	16

4.7	Métodos no convencionales.....	17
4.7.1	Método de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR)	17
4.8	Modelo matemático para la localización de fallas en cables (TDR)	18
5	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	19
5.1	Metodología.....	19
5.1.1	Recolección de datos	20
5.1.2	Normativas de seguridad OSHA 1910.132	21
5.1.3	Preparación del área de trabajo.....	21
5.1.4	Conexión del equipo	22
5.1.5	Realizar Pruebas de DPs.....	26
5.1.6	Tabulación de datos	27
5.1.7	Interpretación de datos.....	27
5.1.7.1	Niveles de aceptabilidad.....	27
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
6.1	Selección de cables.....	29
6.2	Recolección de datos	29
6.2.1	Datos de la L1 fase A	29
6.2.2	Datos de la L2 fase C.....	31
6.2.3	Datos de la L3 de la fase A.....	33
6.3	Interpretación de datos.....	35
6.3.1	Análisis de la L1 de la fase A	35
6.3.2	Análisis de la L2 de la fase C.	36
6.3.3	Análisis de la L3 de la fase A.....	37
7	CONCLUSIONES	38
8	RECOMENDACIONES	39
9	REFERENCIAS	40

Índice de Figuras

Figura 1.Cable subterráneo [6]	8
Figura 2.Descarga parcial interna [18].	15
Figura 3.Descarga parcial tipo corona[18].	16
Figura 4.DP a lo largo del conductor[21]	17
Figura 5. Procedimiento de las pruebas de DPs	19
Figura 6.Representación gráfica de la terna	21
Figura 7.Estado del conductor posterior a la prueba hi-pot (L2 fase C).	21
Figura 8. Equipo de calibración PD Calibrators [24].	22
Figura 9.Circuito de medición para DPs [24].	23
Figura 10.Diagrama simplificado de conexión del equipo.	23
Figura 11. Equipos para el análisis de DPs[24].....	24
Figura 12.Pruebas de DPs.....	26
Figura 13.Representación gráfica basada en la Tabla 10	29
Figura 14.Etapa de medición Ramp up	30
Figura 15. Nivel de DP lineal de la L1	31
Figura 16.Nivel de DP lineal de la L2	33
Figura 17.Nivel de DP lineal de la L3	34
Figura 18. DP del segmento de 548m a 556m (L1)	36
Figura 19.Gráfica del análisis de DPs en el segmento 0 – 5m (L2)	36
Figura 20.DP del segmento 531 – 538m (L2)	37
Figura 21.Análisis de DP en el segmento 537 – 544m (L3).....	37

Índice de tablas

Tabla 1. Sistema de Actividades.....	6
Tabla 2. Accesorios para la conexión de cables subterráneos[8]	9
Tabla 3. Descargadores en el sistema de distribución subterránea[8]	9
Tabla 4. Ductos, pozos y cámaras eléctricas [9].....	10
Tabla 5. Causas típicas del deterioro de los cables subterráneos[10].....	10
Tabla 6. Ventajas de la medición de DP on-line [14].....	14
Tabla 7. Tipo de Descarga Parcial [3]	16
Tabla 8. Características proporcionada por PETROECUADOR EP de la terna a evaluar	20
Tabla 9. Nombres de los equipos [24].....	24
Tabla 10. Carga Máxima de las ternas analizadas.....	27
Tabla 11. Valores estadístico de BAUR [25]	28
Tabla 12. Características correspondientes a la L1	30
Tabla 13. Datos de DP total de la L1	31
Tabla 14. Características correspondientes a la L2	31
Tabla 15. Datos de DP total de la L2.....	32
Tabla 16. Datos de DP en el tramo de 0 a 5 m de la L2	32
Tabla 17. Datos de DP en el tramo de 531 a 538 m de la L2	33
Tabla 18. Características correspondientes a la L3	33
Tabla 19. Datos de DP total de la L3.....	34
Tabla 20. Resumen de los resultados.....	35

1 INFORMACIÓN GENERAL

Tema del Proyecto: Análisis de descargas parciales en conductores de media tensión para la evaluación del estado del conductor pre-instalación.

Modalidad de Titulación:

Propuesta Tecnológica

Proyectos de Investigación

Fecha de inicio: Octubre 2023

Fecha de finalización: Julio 2024

Lugar de ejecución: Provincia de Orellana, Cantón Aguarico.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Carrera de Electricidad

Proyecto de investigación vinculado

Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

Equipo de Trabajo

Ing. Xavier Proaño M.Sc

Sr. Guerrero Castillo Eduardo David

Srta. Verdezoto Cuenca María José

Área de Conocimiento

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación el área de conocimiento se encuentra bajo 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Diseño, construcción y explotación eficiente de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa.

2 ABREVIATURAS

MT: Media tensión

BT: Baja tensión

VLf: Frecuencia muy baja

XLPE: Aislamiento de polietileno reticulado

DPS: Descargas parciales

U_0 : Voltaje de fase

PDIV: Voltaje de inicio de descargas parciales

NPF: Fuente de voltaje sinusoidal cerca de la frecuencia de potencia.

TDR: Reflectometría en el Dominio del Tiempo

3 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las medidas de descargas parciales no se limitan únicamente a entorno de laboratorio, sino también se realizan en campo especialmente durante pruebas de puesta en servicio debido al crecimiento y evolución de la demanda de energía en sectores estratégicos. Esto resulta especialmente beneficioso para empresas eléctricas, grandes consumidores de energía y sectores donde la confiabilidad y continuidad del sistema es primordial como la industria petrolera ya que les brinda una ventaja significativa, al permitir detectar puntos con alta probabilidad de falla a corto, mediano y largo plazo que puedan ocasionar daños importantes provocando interrupciones graves en el suministro de energía y por consiguiente en pérdida de producción y dinero. Este artículo tiene la finalidad de analizar el fenómeno físico de descargas parciales en cables previo a la puesta en servicio de cables de media tensión [1].

Según la IEEE 400.2-2013[2], [3] previo a la puesta en servicio de cables de MT es recomendable realizar pruebas de VLF (Very Low Frequency) para reducir el riesgo de fallo en la puesta en servicio, sin embargo, al ser una prueba de aceptación bajo el criterio Pasa/No Pasa, no se puede detectar los tipos de defectos del aislamiento y la localización precisa de los posibles problemas a comparación de las DP que pueden cuantificar, evaluar la calidad y la integridad del aislamiento.

El presente documento muestra pruebas de descargas parciales (DP) realizadas en campo a cables aislados tipo XLPE de 35[kV] pre-instalación y previa puesta en servicio, en las cuales se utilizó una fuente tipo VLF sinusoidal, a una frecuencia de 0.1Hz a una tensión de hasta 1,5 veces el voltaje de servicio U_0 .

3.1 Situación Problemática

Hoy en día, la necesidad de mantener altos niveles de confiabilidad y continuidad en el suministro eléctrico es un tema de relevancia. Un factor clave que afecta este suministro son las fallas en los equipos, responsables de aproximadamente el 48% de las interrupciones, con un énfasis particular en las líneas de transmisión de media tensión [1]. La evaluación de la calidad e integridad del aislamiento de estas líneas es esencial para identificar y localizar defectos potenciales.

Detectar de manera temprana los puntos con alta probabilidad de falla representa un reto significativo, ya que las interrupciones graves en el suministro de energía pueden tener consecuencias económicas sustanciales. Estas interrupciones afectan negativamente a empresas

eléctricas, grandes consumidores de energía y sectores críticos como la industria petrolera, donde la continuidad de la producción es vital. Las fallas en cables soterrados no solo causan apagones, sino que también interrumpen servicios esenciales y afectan la operatividad de infraestructuras críticas, como sistemas de transporte y servicios de emergencia.

3.2 Formulación del Problema

Desconocimiento del estado de aislamiento de los cables de media tensión en la industria Petrolera, ubicado en la provincia de Orellana, Cantón Aguarico.

3.3 Objeto y campo de acción

3.3.1 Objeto de Investigación

Cable de media tensión XLPE 35[kV] 500MCM.

3.3.2 Campo de acción

Descargas parciales.

3.4 Beneficiarios

La evaluación del estado de los cables de media tensión XLPE 35[kV] en la provincia de Orellana se involucra con el rendimiento adecuado del activo para garantizar el servicio eléctrico en el sector petrolero.

3.4.1 Directo

Empresa contratante Pretroecuador EP.

3.4.2 Indirecto

Empresa contratada High Power Energy CIA LTDA.

3.5 Justificación

El análisis de descargas parciales en conductores es la solución para mejorar el rendimiento de la red eléctrica. Estas pruebas permiten la monitorización continua y precisa de las descargas parciales, identificando de manera temprana cualquier anomalía o deterioro en los conductores. Al detectar descargas parciales de forma oportuna, se pueden tomar medidas preventivas para evitar fallos mayores y reducir el riesgo de interrupciones en el suministro eléctrico.

El presente estudio se centra en conductores XLPE de 35[kV] evaluados, utilizando una fuente VLF sinusoidal a una frecuencia de 0.1Hz y una tensión de hasta 1.5 veces el voltaje de servicio U_0 según la norma IEEE 400.3 2022[2]. Esta metodología permite una evaluación exhaustiva de los conductores antes de su instalación, garantizando que cualquier defecto potencial sea identificado y mitigado. La justificación de este enfoque radica en la necesidad de asegurar que los componentes de la red eléctrica estén en óptimas condiciones antes de ser puestos en servicio.

La importancia de este estudio hace énfasis en la evaluación pre-instalación de conductores XLPE de 35[kV] con las características mencionadas. Los beneficios prácticos son evidentes al identificar y corregir defectos antes de la instalación, se mejora la fiabilidad del suministro eléctrico y se prolonga la vida útil de los conductores. Esto no solo reduce costos asociados con el mantenimiento y reemplazo de conductores defectuosos, sino que también minimiza las interrupciones en el servicio eléctrico, mejorando la satisfacción y seguridad de los usuarios.

Además, esta investigación establece la práctica de pruebas de descargas parciales, utilizando una tensión de prueba significativamente mayor que el voltaje de servicio. Esto garantiza una detección más rigurosa de posibles defectos, contribuyendo tanto al conocimiento académico como a la industria eléctrica. Los resultados permitirán a los operadores de redes implementar estrategias de mantenimiento preventivo más efectivas, consolidando así la relevancia y necesidad de este estudio

3.6 Objetivos

3.6.1 General

- Analizar descargas parciales en conductores de media tensión a través de una fuente de voltaje tipo VLF para la evaluación del estado del conductor pre-instalación.

3.6.2 Específicos

- Realizar una revisión del estado del arte sobre las descargas parciales en conductores de media tensión.
- Ejecutar las pruebas de DPs en los cables de MT para la toma de datos de las mediciones.
- Interpretar los datos obtenidos en las pruebas realizadas.

3.7 Sistema de actividades

En este apartado se detalla el sistema de actividades que se realizara mediante el enfoque establecido por los objetivos, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Sistema de Actividades.

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Técnica e instrumentos
Realizar una revisión del estado del arte sobre las descargas parciales en conductores de media tensión.	-Revisión de artículos. -Revisión de proyectos de investigación. -Revisión de libros.	-Metodología. -Formulación matemática. -Fundamentación teórica.	Google académico, Scielo, IEEE, etc. Revisión sistemática
Ejecutar las pruebas de DPs en los cables de MT para la toma de datos de las mediciones.	-Identificar la localidad donde se va a ejecutar el trabajo. -Preparación de los conductores (libres de impurezas). -Conexión de los equipos	-Características de la zona de trabajo. -Caracterización de los conductores -Metodología para aplicarse en la prueba Registros de resultados.	Equipo fuente VLF, acoplador capacitivo, Software BAUR SW4.
Interpretar los datos obtenidos en las pruebas realizadas.	-Preparación de información de tablas comparativas -Análisis de datos comparando con los patrones característicos de DPs	-Tablas comparativas que determinen el estado del cable -Recomendaciones en función de los datos analizados	Normativas vigentes (IEEE.400.3,), Valores estadísticos (BAUR).

4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este capítulo aborda los aspectos fundamentales del análisis de descargas parciales en cables de media tensión, centrado en las siguientes temáticas, el sistema de distribución subterránea, las pruebas de diagnóstico en cables soterrados, y los distintos tipos de mediciones de descargas parciales. Se examinarán las normativas aplicables y los tipos de descargas parciales que pueden presentarse, así como los métodos no convencionales utilizados en su detección. Además, se incluirá el modelo matemático para la localización de fallas en cables, específicamente utilizando la Reflectometría de Dominio del Tiempo (TDR).

4.1 Antecedentes

En investigaciones previas se toma como referencia a Jorge A. [3], quien implementó un método de análisis del envejecimiento de cables subterráneos con aislamiento de polietileno reticulado, desarrollando un prototipo (consta del circuito de tensión aplicada y el circuito de inducción de corriente) que permite verificar la presencia de descargas parciales mediante el monitoreo del comportamiento que tiene el aislamiento.

En dicha investigación el autor se basa en la normativa IEC 60840:2020[4]. La norma de la Comisión Electrotécnica Internacional especifica métodos de prueba y requisitos para sistemas de cables de alta tensión, cables individuales y accesorios, destinados a instalaciones fijas y con voltajes nominales superiores a 30 kV hasta 150 kV o que destaca la importancia de regirse bajo la normativa para este tipo de pruebas.

Por otro lado, la investigación realizada por [5], llevaron a cabo un estudio comparativo de las mediciones de descargas parciales a cables subterráneos de alta tensión (CSAT) mediante el método estadístico utilizando medidas como la media, varianza, sesgo, etc, los cuales le permitieron conocer el tipo de descarga más frecuente entre los activos.

El análisis de descargas parciales (DPs) tienden a tener varios métodos para su evaluación, en [6] utiliza el método eléctrico con acoplamiento capacitivo mediante el TDR (Reflectometría en el dominio del tiempo), en donde las descargas parciales son medidas por pulsos debido al acoplamiento capacitivo.

4.2 Sistema de Distribución Subterránea

El sistema de distribución subterránea son aquellas redes que se encuentra bajo tierra mediante ductos, sus conductores son aislados y las subestaciones de transformación MT/BT se instalan en cámaras o gabinetes[7].

4.2.1 Elementos que constituyen la red de distribución subterránea

4.2.1.1 Elementos eléctricos

- **Cable subterráneo**

El elemento fundamental que lleva la energía eléctrica y se extiende por toda la red subterránea, en media tensión se utilizan cables unipolares del tipo concéntrico con un conductor central, aislamiento en XLPE con capas semiconductoras debajo y sobre el aislamiento, blindaje metálico en hebras de cobre y una envoltura global de PVC (cubierta) tal como se muestra en la Figura 1 [6].

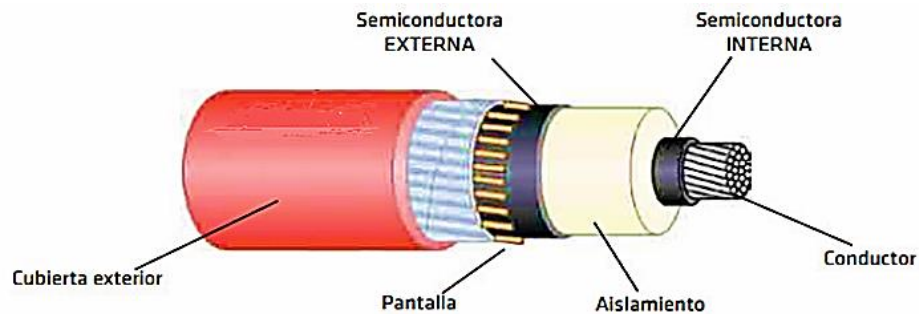


Figura 1. Cable subterráneo [6]

En la Tabla 2 se presentan los accesorios que comúnmente se emplean para la instalación de una red subterránea. Estos accesorios desempeñan un papel importante en las diferentes etapas de la instalación, desde la preparación inicial y la colocación de cables hasta la protección y el mantenimiento continuo de la red subterránea.

Tabla 2. Accesorios para la conexión de cables subterráneos[8]

Accesorios para cables	
Terminales	Se usan en las puntas de los cables para instalaciones de transición aérea-subterránea
Empalmes	Elementos que se utilizan para las uniones entre dos o más cables eléctricos.
Conectores aislados separables	Son dispositivos de seccionamiento manual para operación con y sin carga, permiten la interconexión de cables a equipos (transformador, interruptor, celdas y barras de derivación).

- **Descargadores**

En la Tabla 3 se puede apreciar los dispositivos utilizados para prevenir daños en equipos y sistemas eléctricos al disipar o redirigir las sobretensiones peligrosas en el sistema.

Tabla 3. Descargadores en el sistema de distribución subterránea[8]

Descargadores de sobretensión	Los descargadores de sobretensión son dispositivos de protección eléctrica utilizados para mitigar los eventos de sobretensión causados por rayos y otros transitorios.
Electrodos a tierra	Componentes destinados a la conexión a tierra, diseñados para garantizar una vinculación óptima y continua entre los terminales de equipos, cámaras eléctricas y puntos de la red con el sistema de puesta a tierra.

4.2.1.2 *Elementos Mecánicos*

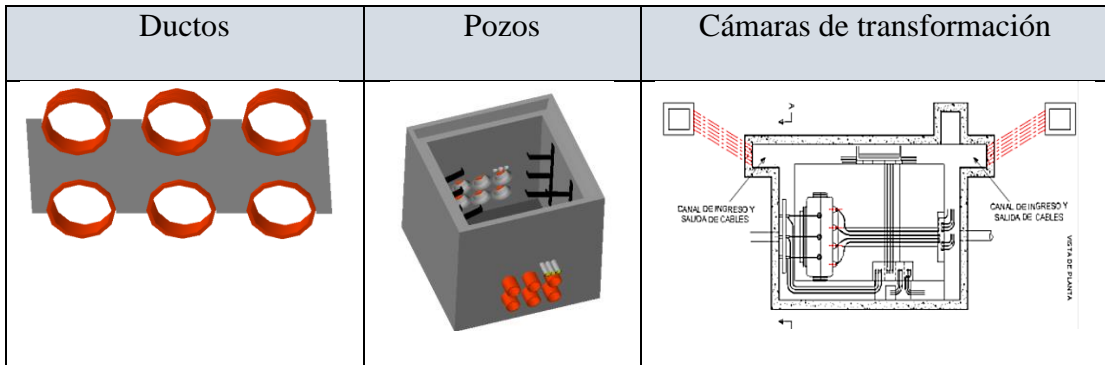
- **Transformadores tipo pedestal**

Se refieren a los transformadores de distribución tipo pedestal, contruidos especialmente para ser instalados a nivel del suelo, y los gabinetes o celdas de seccionamiento tipo pedestal que funcionan como una combinación de interruptores y dispositivos de seccionamiento para la derivación de alimentadores[7].

- **Ductos, pozos y cámaras eléctricas**

Otro de los elementos que caracterizan a un sistema de distribución subterráneo son las estructuras de obra civil (Ver en la Tabla 4) las mismas que se encuentran normalizadas por el Ministerio de Energía y Minas.

Tabla 4. Ductos, pozos y cámaras eléctricas [9]



4.2.2 Causas del deterioro de los cables subterráneos

Según [10] El deterioro de los cables subterráneos es un fenómeno que puede ser atribuido a varias causas interrelacionadas que afectan tanto la integridad estructural como el rendimiento eléctrico de los cables durante su vida útil. Algunas de las principales causas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Causas típicas del deterioro de los cables subterráneos [10]

Causas	Definición
Humedad	La Infiltración de agua puede entrar en los cables a través de juntas o daños en el aislamiento, provocando fallos en el mismo.
Corrosión	En suelos subterráneos corrosivos, los conductores y las estructuras metálicas de los cables subterráneos pueden sufrir corrosión. Esto puede debilitar los cables y afectar su capacidad para transmitir energía.
Presión del suelo	Los cables subterráneos deben resistir la presión ejercida por el suelo que los rodea. Si no se instalan

	correctamente, el estrés mecánico resultante puede comprometer su integridad.
Contaminantes del suelo	Los contaminantes químicos presentes en el suelo, tales como residuos industriales o productos químicos, pueden tener un impacto negativo en los cables subterráneos, dañando tanto su aislamiento como su cubierta.
Daños mecánicos	Durante las fases de instalación, excavación o mantenimiento, los cables subterráneos pueden sufrir daños mecánicos, como cortes o perforaciones accidentales, lo cual podría comprometer su integridad y rendimiento

Durante las fases de instalación, excavación o mantenimiento, los cables subterráneos pueden sufrir daños mecánicos, como cortes o perforaciones accidentales, lo cual podría comprometer su integridad y rendimiento.

4.3 Pruebas de diagnóstico en cables subterráneos

Estas pruebas permiten identificar posibles fallas, daños o degradación en los cables antes de que provoquen interrupciones o accidentes. Cabe recalcar que las pruebas descritas a continuación se rigen bajo la normativa IEEE 400.3 2022.[11].

4.3.1 Prueba de Tensión Soportada (Very Low Frequency)

Las pruebas VLF operan típicamente a frecuencias de entre 0.01 Hz y 0.1 Hz, en contraste con la frecuencia estándar de 50/60 Hz de los sistemas de energía eléctrica. Esta prueba consta de la aplicación de tensión alterna (AC) de muy baja frecuencia al cable que se está probando, la tensión aplicada es aumentada gradualmente hasta alcanzar el nivel de prueba deseado, que suele ser varias veces la tensión operativa nominal del cable generalmente entre $1,5U_0$ y $3U_0$, dicha tensión es aplicado por una hora en pruebas de instalación o aceptación, mientras que en mantenimiento es aplicado por 15 o 30 minutos. Este proceso simula las condiciones de tensión que el cable puede experimentar durante su vida útil [8].

4.3.2 Prueba de tangente delta

La prueba de tangente delta ($\tan \delta$) es un parámetro que mide la relación entre la corriente de pérdida (corriente resistiva) y la corriente capacitiva en el aislamiento de un cable (ecuación 1). Esta relación indica las pérdidas dieléctricas del material aislante un valor alto de $\tan \delta$ puede indicar la presencia de humedad, contaminantes o envejecimiento del material aislante, es decir, detecta este cambio en el ángulo de desfase de la corriente, indicando anomalías que comprometen las propiedades de aislamiento[8].

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} \quad (1)$$

Donde:

I_R = Corriente resistiva

I_C = Corriente capacitiva

4.3.3 Descargas Parciales

Las descargas parciales también conocidas como (DP) constituyen un indicador medible de la evolución de defectos del aislamiento en los cables eléctricos, las DP hacen que las áreas dañadas crezcan con el tiempo debilitando el aislamiento hasta el punto de que falle.

Las pruebas de descargas parciales son por lo tanto un método importante para evaluar la calidad del aislamiento de los sistemas de cables de media y alta tensión. Las pruebas de DP en los cables de media y alta tensión comienzan en fábrica ya que revelan claramente los defectos del aislamiento relacionados con la fabricación, durante las pruebas de aceptación en fábrica las mediciones de DP se realizan fuera de línea de acuerdo con las normas internacionales [12].

El objetivo de la prueba es determinar si el aislamiento del cable está libre de descargas parciales antes de que se ponga en servicio incluso cuando el cable pasa la prueba de DP en fábrica pueden producirse daños durante la instalación del cable en los empalmes o terminaciones y como consecuencia pueden producir actividad de DP, es por eso por lo que estas pruebas también son importantes durante su etapa de aceptación en campo para evaluar la integridad [13].

Las mediciones periódicas de descargas parciales a lo largo del tiempo se pueden comparar con mediciones anteriores para evaluar la tendencia del estado del aislamiento. Para lograrlo, es

esencial detectar rápidamente la ubicación de las descargas y realizar las reparaciones necesarias antes de que ocurra una falla.

4.4 Tipos de mediciones de descargas parciales

4.4.1 Mediciones de descargas parciales off-line

La prueba fuera de línea es una herramienta para la detección de descargas parciales (DP). En este método, el equipo se desconecta de la carga y la alimentación y se encuentra fuera de servicio. Para llevar a cabo la prueba, se emplean equipos especializados de inyección e instrumentos de detección.

Para ello se aplica un voltaje de prueba que es ligeramente superior al voltaje de funcionamiento normal. La actividad de DP detectada en niveles de voltaje de prueba predefinidos se registra en cada sensor de medición y se almacena para su análisis.

Criterios que considerar para evaluar las DPs son:

- Nivel de carga, medido en picoculombios (pC) o nanoculombios (nC)
- Posición de fase relacionada con el voltaje aplicado
- Tasa de repetición de pulso

Un aumento en cualquiera de estos criterios entre mediciones de PD indica la presencia de puntos débiles localizados en el aislamiento, lo que puede provocar mayores daños y eventuales falla.

La prueba se considera exitosa si el valor de DP medido por los sensores es inferior al límite especificado y no se observa una tendencia creciente durante la prueba.

Si se detecta una actividad de DP creciente, se puede utilizar un sistema de monitoreo de DP en línea para observar su desarrollo a lo largo del tiempo[14].

4.4.2 Medición de descargas parciales on-line

En [14] menciona que los sistemas de monitoreo de descargas parciales (DP) en línea permiten recopilar continuamente una gran cantidad de datos de medición de DP sin interrumpir el servicio normal. Estos sistemas registran datos sobre el estado del aislamiento bajo condiciones de carga reales. Se pueden elegir entre sistemas de monitoreo de DP temporales o permanentemente instalados. Ambos tipos de sistemas ofrecen evaluaciones continuas en línea de los niveles de actividad de DP y del estado del aislamiento.

En la Tabla 6 se presentan las ventajas de utilizar el tipo de medición en línea para los equipos a ser puestos en pruebas.

Tabla 6. Ventajas de la medición de DP on-line [14]

Ventajas	
Detección temprana de fallas	Es posible identificar problemas en el aislamiento antes de que se conviertan en fallas catastróficas
Reducción de costos de mantenimiento	La detección temprana y la evaluación precisa del estado del aislamiento permiten planificar el mantenimiento de manera más eficiente, reduciendo costos y evitando paradas no planificadas
Optimización de la vida útil del equipo	Al mantener un registro continuo del estado del aislamiento, se pueden tomar medidas preventivas para prolongar la vida útil del equipo.

4.5 Normativas

Al igual que muchos equipos eléctricos, los cables de media tensión se rigen principalmente por las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), las cuales son ampliamente reconocidas y aplicadas a nivel internacional. Sin embargo, también existen otras normas y recomendaciones que se utilizan en pruebas de cables en servicio. Para el análisis de descargas parciales las normativas a considerar son: IEC 60270 y IEEE 400.3, las cuales tienen por definición los siguientes argumentos.

- **Definición según IEC 60270:2000**

Descarga eléctrica puntual que no atraviesa completamente el espacio entre dos conductores y que puede ser o no adyacente a un conductor

- **Definición según IEEE 400.3:2022**

Pequeñas descargas que ocurren en defectos en el aislamiento no ocurren un puente total entre dos conductores, los defectos pueden ser:

- a) Completamente dentro del aislamiento (Cavidades)
- b) En las interfaces entre materiales aislantes (Accesorios)
- c) A lo largo de la superficie (Terminaciones)[7].

En el contexto de las pruebas de cables subterráneos, se emplea el estándar IEEE 400.3 debido a su relevancia y rigurosidad en la evaluación de la integridad del aislamiento mediante técnicas de (VLF). Este estándar proporciona directrices específicas para la realización de pruebas VLF, garantizando que las tensiones aplicadas simulen de manera adecuada las condiciones operativas a largo plazo a las que están expuestos los cables. La elección del IEEE 400.3 se basa en su enfoque sistemático para evaluar el rendimiento del aislamiento a frecuencias bajas,

lo que permite detectar defectos potenciales que podrían comprometer la vida útil del cable en servicio. La normativa asegura la estandarización y consistencia en los procedimientos de prueba, lo cual es crucial para obtener resultados confiables y comparables, y para adherirse a las mejores prácticas internacionales en la evaluación de sistemas eléctricos.

4.6 Tipos de descargas Parciales

Los tipos de descargas parciales de acuerdo con su origen se clasifican en: DP internas, DP superficiales y DP corona[15],[16].

4.6.1 Descargas Parciales internas

Las descargas internas en un dieléctrico ocurren en materiales de baja rigidez dieléctrica. El material se perfora con un campo eléctrico de baja intensidad, comparado con el nivel de perforación del material del dieléctrico, en pocas palabras son pequeñas imperfecciones que en ocasiones suelen ser burbujas existentes en el aislamiento durante el proceso de fabricación o vacíos en el mismo[17].

En la Figura 2 se muestra el patrón característico de una DP interna las cuales se presentan tanto en el semiciclo positivo como el semiciclo negativo.

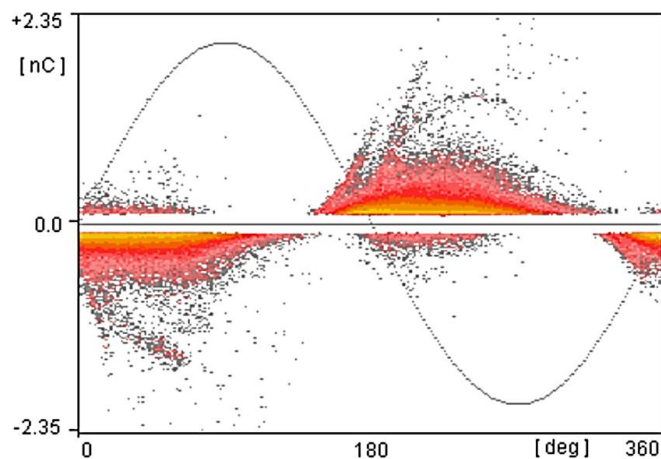


Figura 2.Descarga parcial interna [18].

4.6.2 Descargas Parciales superficiales

Las descargas superficiales ocurren cuando existe una componente del campo eléctrico paralela a la superficie del dieléctrico. Esto ocurre en aisladores, atravesadores, terminación de cables y superficies exteriores. Las descargas afectan al campo eléctrico y en general se extiende más allá de la región donde se origina la elevada componente del campo eléctrico que las causó[19], para el caso de los cables se pueden presentar en puntos de empalmes.

4.6.3 Descargas Parciales Efecto Corona

Las descargas de coronas se presentan alrededor de una punta aguda. Aparecen antes con tensión negativa que con tensión positiva. En corriente alterna ocurren a menudo durante el semiciclo negativo de la onda sinusoidal únicamente (Figura 3), en otras palabras, se puede decir que la DP efecto corona es cuando se ioniza el aire que está circundante a un electrodo sometido a una tensión, para el caso de los cables es común que se presenten en puntas terminales aisladas en aire.

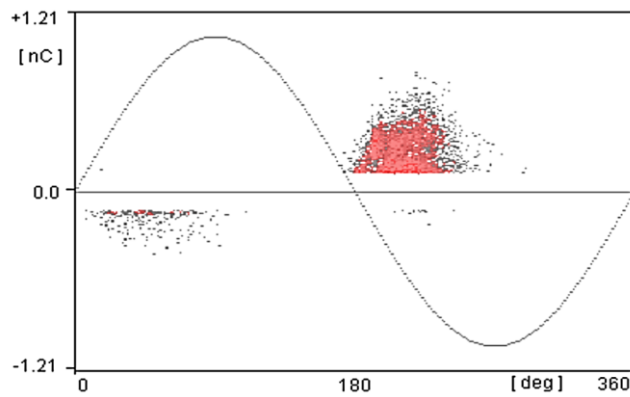


Figura 3.Descarga parcial tipo corona[18].

De acuerdo con la Tabla 7 se muestra algunas de las causas para identificar el tipo de descarga parcial en función de su ubicación, ya sea en terminaciones, cables o empalmes[3].

Tabla 7.Tipo de Descarga Parcial [3]

Terminaciones		
Causa	Efecto	Tipo de DP
Acumulación de suciedad, oxidación	Descargas en la superficie	DP superficiales
Problemas en el montaje, problemas en la fabricación	Descargas parciales dentro del aislamiento	DP internas
Cables		
Grietas, burbujas de aire, suciedad	DP, poco daño en el aislamiento	DP internas
Arborescencias eléctricas	DP, pequeña ruptura del aislamiento	DP internas
Empalmes		

Problemas en la instalación, problemas en la fabricación, envejecimiento	DP, poco daño en el aislamiento	DP internas
Humedad	DP, pequeña ruptura del aislamiento entre el conductor y la pantalla	DP superficiales

4.7 Métodos no convencionales

4.7.1 Método de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR)

El método utilizado para la localización de DPs se basa en el principio de operación de la Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).

El principio de funcionamiento consiste en la emisión de un pulso de baja tensión a lo largo del cable, que luego retorna a la fuente. Durante este proceso, el TDR detecta la impedancia como la diferencia entre los dos conductores (el conductor central y la pantalla metálica). Esto refleja los cambios de impedancia como ondas con reflexiones. En otras palabras, el TDR mide el tiempo total entre la propagación y el retorno del pulso, lo que permite determinar la distancia a la que se encuentra las DPs[20].

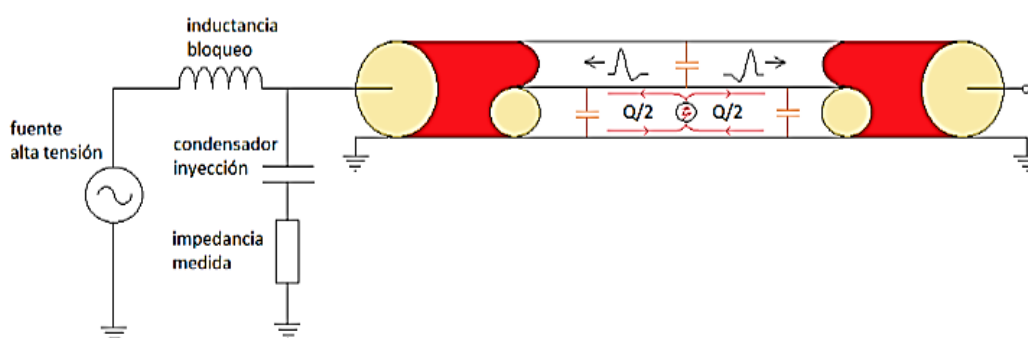


Figura 4. DP a lo largo del conductor[21]

La Figura 4 se representa el comportamiento de un DP a lo largo del conductor, es decir, la carga de la DP se divide en dos partes iguales. Estas partes se propagan a una velocidad aproximada de 160 m/ μ s. Al llegar a los extremos del cable, se producen reflexiones de los pulsos, lo que permite la localización precisa del pulso mediante técnicas de reflectometría[21].

4.8 Modelo matemático para la localización de fallas en cables (TDR)

El método TDR utiliza la ecuación 2 para calcular la distancia a la irregularidad de impedancia conociendo datos como la velocidad de propagación de la onda electromagnética a través de la línea y el tiempo de retraso de la señal reflejada (medido por el dispositivo)[22].

$$L = v * \frac{t_d}{2} = c * \frac{1}{PF} * \frac{t_d}{2} = c * \frac{V_0P}{100} * \frac{t_d}{2} \quad (2)$$

Donde:

L = Distancia a la irregularidad de la impedancia, [m]

v = Velocidad de propagación de la onda electromagnética en la línea, [$m/\mu s$];

PF = Factor de propagación, c/v

V_0P = Velocidad de propagación, $(v/c) * 100\%$

t_d = Retardo del tiempo medido de la señal reflejada, [μs];

c = Velocidad de luz es igual a 299,8 [$m/\mu s$]

5 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En esta sección se especificará la metodología aplicada para el análisis de las descargas parciales a cables XLPE de 35[kV].

Estas pruebas se llevaron a cabo en la Provincia de Orellana, Cantón Aguarico en una terna de 1,1 km, la cual fue segmentada en dos secciones mediante un empalme, en cables que habían sido previamente puestos a pruebas de alta tensión (hipot). La evaluación fue ejecutada para Petroamazonas EP a través de la empresa contratista High Power Energy CIA LTDA. De las seis pruebas realizadas, se seleccionaron y analizaron detalladamente tres casos de estudio, como se describe en la sección correspondiente 6.1.

5.1 Metodología

El diagrama de flujo presentado describe el procedimiento para la realización de pruebas de descargas parciales (DPs) en cables eléctricos (Figura 5). A continuación, se detalla cada paso del procedimiento.

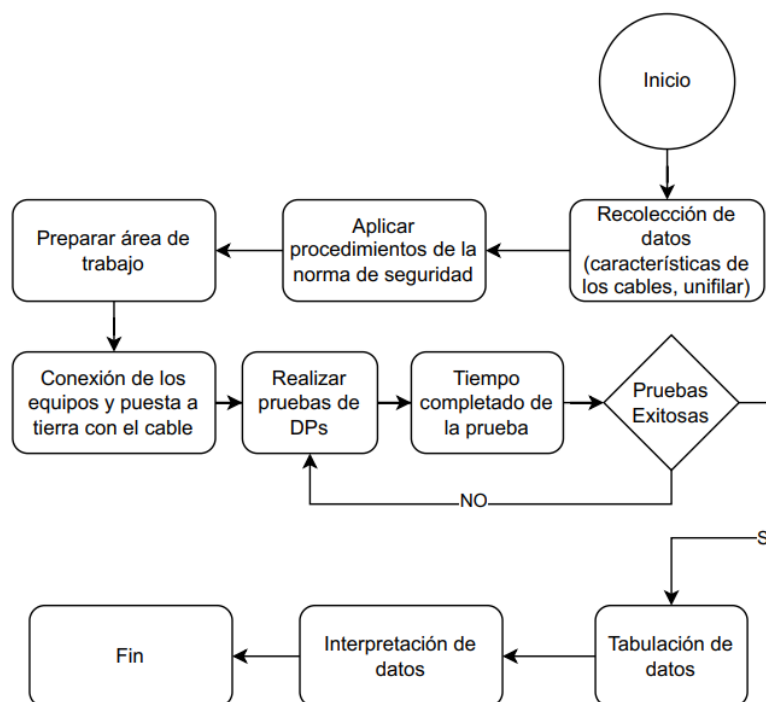


Figura 5. Procedimiento de las pruebas de DPs

5.1.1 Recolección de datos

En primera instancia, la ejecución de trabajos en campo está estrechamente ligada a las características específicas del cable que se evaluará, así como a las particularidades y requerimientos del sistema eléctrico al que está conectado. Es fundamental disponer de información detallada sobre el cable, incluyendo su tipo, longitud, material, y las condiciones de operación a las que ha estado expuesto.

En este caso particular, el diagrama unifilar no fue facilitado, solo se proporcionaron los datos técnicos relacionados con las características del cable que se presentan en la Tabla 8 .

Tabla 8. Características proporcionada por PETROECUADOR EP de la terna a evaluar

Tensión nominal [kV]	35
Aislamiento	XLPE
Longitud [km]	1,10
Velocidad de propagación [m/ μ s]	81
Número de fases	3
Propiedades de cubierta	PVC
Calibre del cable	500MCM

Lo único que se conoce del sistema es que se trata de una red de distribución subterránea de media tensión, compuesta por cables monopolares aislados de polietileno reticulado (XLPE) con una tensión nominal de 35 [kV]. La red evaluada tiene una longitud de 1,10 kilómetros de longitud que incluye un empalme, como se muestra en la Figura 6. En este esquema, las líneas L1 y L3 corresponden a la fase A, L4 y L5 a la fase B, y L2 y L6 a la fase C, cabe destacar que la sección se encontraba desenergizada (no instalada).

Los cables evaluados están diseñados para ser instalados en zanjas subterráneas y cuentan con empalmes y terminaciones a lo largo de su recorrido, siendo estos puntos críticos donde es más probable que ocurran descargas parciales.

Debido a una deficiente ejecución en los empalmes de los cables de 35 [kV] XLPE de 500 MCM en el Oriente en la provincia de Orellana, las pruebas de Hi-Pot realizadas por una empresa externa resultaron en la destrucción del aislamiento de los cables (Figura 7). Ante esta situación, se decidió llevar a cabo pruebas de descargas parciales para evaluar el estado de los cables.

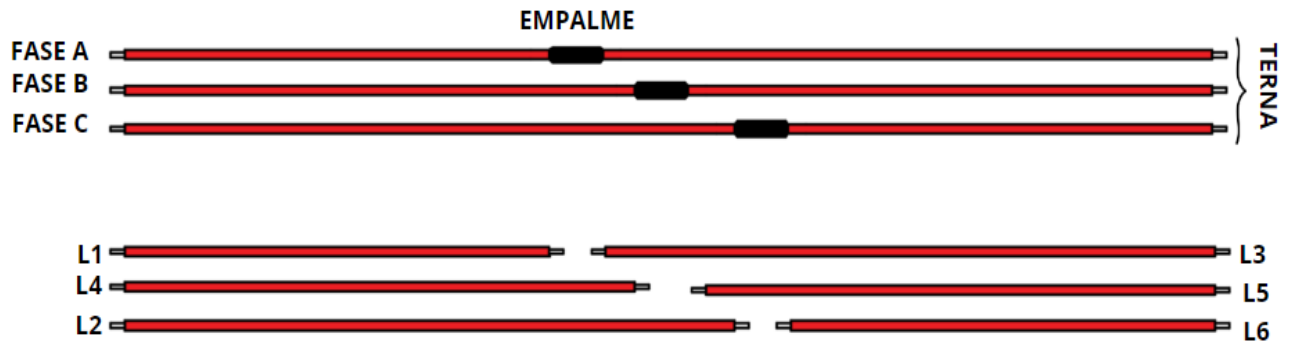


Figura 6.Representación gráfica de la terna



Figura 7.Estado del conductor posterior a la prueba hi-pot (L2 fase C).

5.1.2 Normativas de seguridad OSHA 1910.132

Como segundo punto es necesario implementar procedimientos referentes a la norma OSHA 1910.132 que establece los requisitos generales para el uso de Equipos de Protección Personal (EPP) en el lugar de trabajo. Esta norma sirve para garantizar que los empleadores seleccionen el EPP adecuado en función de los riesgos presentes en el entorno laboral, asegurando así una protección efectiva de los trabajadores. Además, prohíbe el uso de EPP defectuoso o dañado para evitar la exposición a peligros y exige que los empleados reciban formación adecuada sobre el uso correcto del equipo. Estas disposiciones son cruciales para mantener un ambiente de trabajo seguro, minimizando riesgos y promoviendo la salud y seguridad de los empleados [23].

5.1.3 Preparación del área de trabajo

Antes de realizar las pruebas ya mencionadas, se procede a cercar la zona con cinta de peligro para restringir el acceso no autorizado y alertar sobre las pruebas eléctricas en curso. Luego, se debe realizar una inspección detallada para identificar posibles puntos de peligro, como cables

expuestos o superficies húmedas, y mitigar cualquier riesgo antes de proceder. A continuación, se prepara los extremos del cable, acondicionándolo adecuadamente para la conexión a los equipos de prueba.

5.1.4 Conexión del equipo

Previo a la realización de las pruebas, los equipos son calibrados conforme a la normativa IEC 60270 utilizando los calibradores de descargas parciales (PD Calibrators). Este equipo tiene la función de ajustar la carga aparente que se presentará en el punto de medición, permitiendo obtener una carga eléctrica de referencia conocida en picoculombios (pC).

Esta calibración es crucial para asegurar que las mediciones de descargas parciales sean precisas y reflejen fielmente las condiciones reales del cable. La conexión del PD Calibrators debe ser tal como se indica en la Figura 8 de esta manera el acoplador capacitivo recepta la señal de la carga que es inyectada hasta llegar a un valor que identifique tanto el inicio como el final del cable.

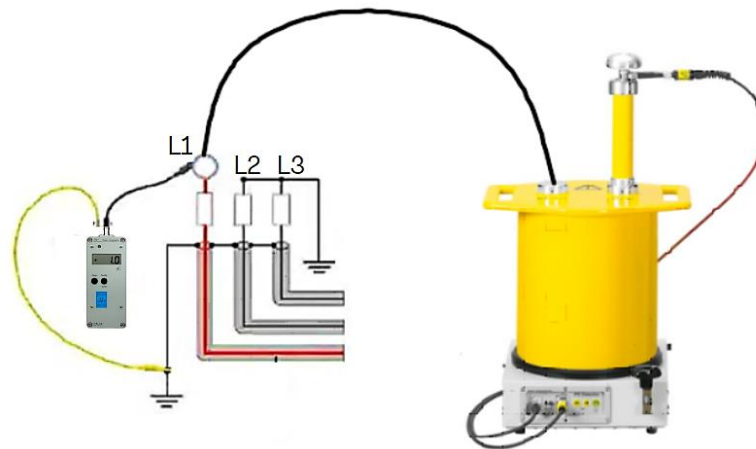


Figura 8. Equipo de calibración PD Calibrators [24].

Una vez calibrado, se procede a la conexión de los equipos necesarios para realizar la medición de descargas parciales. Es fundamental seguir cuidadosamente el esquema de conexión mostrado en la Figura 9, asegurando que todos los componentes estén correctamente conectados y configurados. Esto incluye la verificación de las conexiones del generador de voltaje tipo VLF, el acoplador capacitivo y los sensores de medición. Además, es importante asegurarse que las conexiones a tierra sean adecuadas para evitar interferencias y garantizar la seguridad del personal y del equipo.

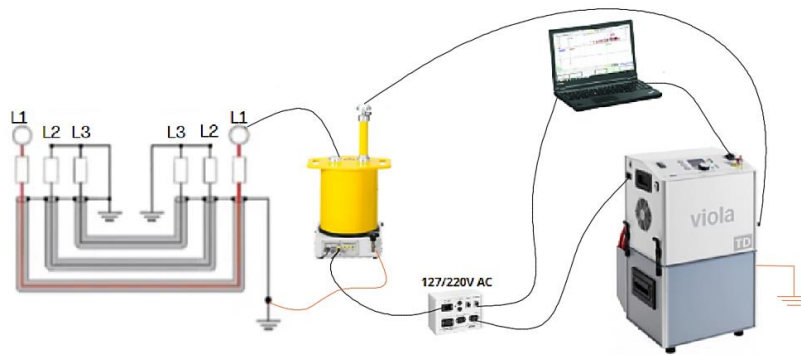


Figura 9. Circuito de medición para DPs [24].

En la Figura 10 se muestra el diagrama de flujo donde se detalla el procedimiento que permite la correcta instalación del equipo. Adicional en la Figura 5 se muestra el proceso para poder localizar y analizar las descargas parciales.



Figura 10. Diagrama simplificado de conexión del equipo.

Para evaluar si los elementos contienen fallas en el aislamiento debido a descargas parciales se emplearon los equipos mostrados en la Figura 11 y en la Tabla 9 se detallan las principales características de cada elemento.



Figura 11. Equipos para el análisis de DPs[24]

Tabla 9. Nombres de los equipos [24]

Designación	Equipo	Características
1	PD Calibrators	<p>Adecuado para calibrar configuraciones de prueba para cables.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apropiado para 50 y 60 Hz, conmutables ▪ Doble pulso con retardo de tiempo ajustable (para la serie CAL1) ▪ Entrada de energía remota para suministro mediante un voltaje externo de 12 a 24 V DC ▪ Interruptor de selección para pulso único o pulsos continuos (permite la salida de pulsos únicos disparados manualmente)
2	Acoplador Capacitivo (PD TaD 62)	<p>Condensador de acoplamiento incluido con impedancia de medición y unidad de medición de descargas parciales en un solo dispositivo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtro integrado para suprimir señales de ruido ▪ Transmisión de datos y suministro de energía estables a través de Power over Ethernet (PoE); no se necesitan baterías ▪ Excelente supresión de ruido debido a: diseño compacto, aislamiento galvánico entre la unidad de medición de descargas parciales y el portátil, suministro de energía central. ▪ Montaje de prueba fácil: montaje de prueba idéntico para medición de descargas parciales y factor de disipación.

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dispositivo integrado para detectar corrientes de fuga para la medición del factor de disipación ▪ Interfaz de usuario intuitiva en múltiples idiomas adaptada al flujo de trabajo
3	VIOLA TD	<p>Medición del factor de disipación en cables de media tensión de hasta 35 kV</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de Tensión Soportada Monitorizado MWT según IEEE 400.2 – MWT con medición del factor de disipación – Full MWT con medición del factor de disipación y medición DP ▪ Medición del factor de disipación altamente precisa: exactitud de 1×10^4 ▪ Detección de corrientes de fuga mediante unidad VSE (opcional) ▪ Diagnósticos totalmente automáticos y programables individualmente, incluida la evaluación
4	Software BAUR SW4	<p>Interfaz de usuario intuitiva y adaptada a la secuencia de trabajo en varios idiomas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mínimo tiempo de aprendizaje ▪ Novedoso concepto de manejo que asiste óptimamente al usuario tanto en el mantenimiento operativo como en las mediciones in situ ▪ Procesos más seguros gracias a la unificación de las secuencias de trabajo y a la eliminación de fallos al configurar y evaluar mediciones
5	Tomacorriente común de equipos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltaje de entrada: 90 – 264 V, 47 – 63 Hz ▪ Consumo de energía: Máx. 3500 VA ▪ Corriente máxima: 16 A ▪ Interfaz PD-TaD: Ethernet (PoE) Dimensiones (A x A x P): 160 x 120 x 240 mm ▪ Peso: Aprox. 1.7 kg

Para la detección de las descargas parciales este equipo comienza con la aplicación de alta tensión mediante un generador específico, seguido de una fuente de frecuencia muy baja (VLF) para reducir el estrés sobre el aislamiento. Un acoplador capacitivo se utiliza para medir las señales de descargas parciales sin interferir con la tensión aplicada. El sistema se calibra para asegurar mediciones precisas, y se realiza una medida de ruido para eliminar interferencias externas. Luego, se efectúa el ensayo de descargas parciales, registrando y monitoreando las

descargas dentro del cable empleando el método TDR. Los datos obtenidos se analizan para identificar y localizar defectos específicos, proporcionando un diagnóstico detallado del estado del aislamiento. Finalmente, el proceso concluye con la documentación de resultados y la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento o reemplazo del cable, garantizando la fiabilidad y continuidad del sistema eléctrico.

Es importante que al brindar este tipo de servicio los equipos garanticen su calidad para lo cual el primer paso es contar con un equipo calibrado, así como el que se utilizó para estas pruebas, el certificado de calibración se observa en el Anexo 1.

5.1.5 Realizar Pruebas de DPs

Una vez delimitada el área, tomadas las precauciones correspondientes y conectado el equipo, se procede a realizar las pruebas, identificando y registrando los datos proporcionados por el software BAUR SW4(Figura 12). Este proceso se repite para cada una de las líneas (L1, L2, L3, L4, L5, L6) en un tiempo de 15 minutos respectivamente.

Si en el tiempo establecido de 15min la prueba no se completa se tiene que verificar nuevamente el conexionado y reiniciar nuevamente la prueba de DPs (Anexo 2).



Figura 12. Pruebas de DPs

5.1.6 Tabulación de datos

Para la obtención de datos, se tomaron rango de longitudes en los extremos iniciales y finales de los cables (Tabla 10), dado que estos puntos son más propensos a la ocurrencia de descargas parciales (DPs). Este enfoque permite determinar si existen fallas mecánicas, como antes del empalme o en las terminales del cable, que podrían inducir DPs. Dichas fallas pueden originarse por una manipulación inadecuada o por defectos en la instalación. Esta metodología es crucial para identificar y mitigar posibles defectos que afecten la integridad del sistema.

Tabla 10.Carga Máxima de las ternas analizadas

TERNA	FASE	LONGITUD INICIAL [m]	LONGITUD FINAL [m]	MÁXIMA CARGA[pC]
L1	A	0	10	0
		548	556	3552,1
L2	C	0	5	244,9
		531	538	3755,1
L3	A	0	7	0
		537	544	488,7
L4	B	0	3	2347,2
		541	544	2363,8
L5	B	0	6	0
		535	539	2976,2
L6	C	0	3	0
		539	542	3436,2

5.1.7 Interpretación de datos

Para realizar la interpretación de datos efectivo en pruebas de descargas parciales (DPs) en cables eléctricos, se debe considerar los niveles de aceptabilidad de la carga máxima de los resultados arrojados por el equipo.

5.1.7.1 Niveles de aceptabilidad

Para establecer las condiciones del cable, se utiliza como referencia estadística la Tabla 11, elaborada por el fabricante de equipos BAUR. Esta tabla proporciona valores tipificados para cables de potencia con aislamiento XLPE, basados en un extenso conjunto de datos obtenidos a partir de miles de pruebas realizadas en campo. Estos valores tipificados se han generado a lo largo de numerosos ensayos en diferentes condiciones operativas, lo que garantiza una base sólida y confiable para evaluar el estado del cable.

Tabla 11. Valores estadístico de BAUR [25]

Nivel de descargas	Acción recomendada
0 a 500 pC	NIVEL ACEPTABLE, NINGUNA ACCIÓN REQUERIDA
500 a 1000 pC	SE RECOMIENDA COMENZAR EL MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES PARA OBSERVAR SU EVOLUCIÓN
1000 a 2500 pC	RIESGO POTENCIAL, SE RECOMIENDA MONITOREO PERIÓDICO Y PRE-LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE DESCARGAS PARCIALES
≥ 2500 pC	RIESGO MUY ALTO, SE RECOMIENDA LA LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE DESCARGAS PARCIALES Y REPARACIÓN INMEDIATA

Cabe destacar que los valores son referenciales y no son los únicos que deben considerarse para la evaluación integral de la prueba, se debe incluir también la experiencia del operador para la interpretación final.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Selección de cables

Tras obtener varios datos, el estudio se centra en el análisis de los cables más afectados y uno de estos cables presentó mejores condiciones, dicho análisis tiene el objetivo de estudiar el comportamiento de ellos.

Para la presente investigación, se seleccionaron dos cables afectados L1 y L2 correspondientes a la fase A y fase C respectivamente y el menos afectado L3 de la fase C, cuyas cargas máximas se muestran en la Figura 13.

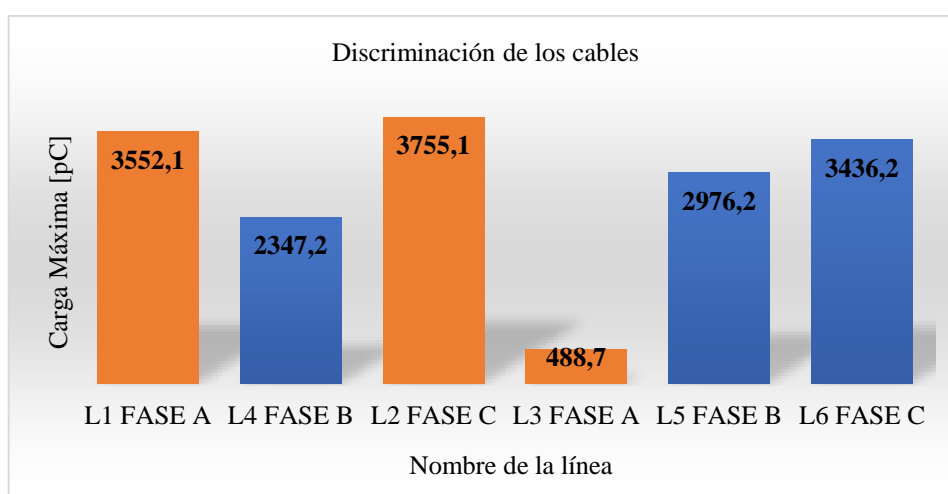


Figura 13. Representación gráfica basada en la Tabla 10

6.2 Recolección de datos

La recolección de datos consta de mediciones de descargas parciales a cables de MT de 35kV XLPE previos a ser puestos en servicio, para este caso se ha tomado 3 cables que se consideran como relevantes o que evidencian la presencia de descargas. Estos cables, considerados como los más relevantes, son aquellos que exhiben las mayores descargas parciales entre los seis cables sometidos a las pruebas de descargas parciales DPs.

6.2.1 Datos de la L1 fase A

En este caso se seleccionó este cable para el análisis debido a la especulación de que en su puesta en servicio pudo haber resultado afectada. Por esta razón, se decidió someterlo a un estudio de descargas parciales. En la Tabla 12 se observa las características con las que cuenta el primer cable puesto a prueba.

Aunque el cable es nuevo, ha sido sometido a pruebas de alta tensión (hi-pot) que podrían catalogarlo como viejo. Sin embargo, según la normativa 400.3 2022(**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), un cable no puede ser clasificado como "viejo" a menos que haya estado en servicio durante al menos cinco años. Por esta razón, se ha seguido el protocolo normativo de aplicar la rampa de tensión hasta $1,5 U_0$, como se especifica en la normativa ya mencionada. Además de ello el tiempo de prueba al que se somete es de 15min estipulado por la misma normativa.

Tabla 12. Características correspondientes a la L1

Tensión nominal [kV]	35
Aislamiento	XLPE
Longitud [m]	556
Velocidad de propagación [m/ μ s]	81
Número de fases	1
Propiedades de cubierta	PVC
Calibre del cable	500MCM

La Figura 14 indica los valores de tensión inyectados al cable los cuales comienza en $0,5U_0$ hasta $1,5U_0$ debido a que en la norma IEEE 400.3 establece en el punto 8.5.1.3.1 que “*los incrementos de voltaje pueden realizarse en cualquier intervalo conveniente, pero se recomienda determinar el PDIV (voltaje de inicio de descargas parciales) con una resolución del 10% de U_0* ”[11] . Cada uno de estos valores constan de 6 períodos de mediciones para evaluar si existen defectos de aislamiento con PDIV superior al voltaje de operación normal[7].

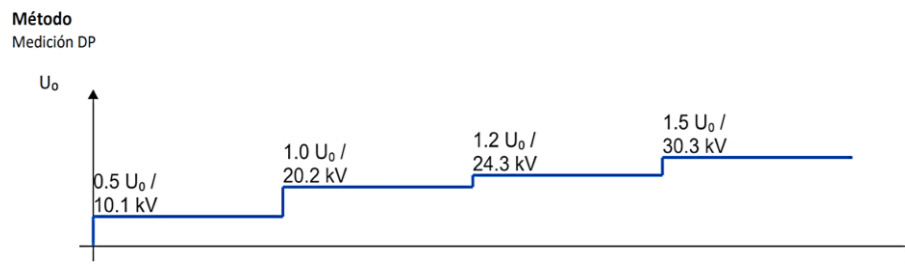


Figura 14. Etapa de medición Ramp up

Para la evaluación de DP en la L1 de 556 m, las pruebas se interpretan de la siguiente manera, longitud de medición va desde los 0m hasta los 10 m y por último de 548 m hasta 556 m como se indica en la Figura 15. Adicional en la Tabla 13 se muestran los resultados arrojados por el software BAUR SW4 a lo largo de su longitud total.

Tabla 13. Datos de DP total de la L1

Longitud total del cable (0-556 m)	DP confirmada	Máx. Carga [pC]
0,5 U ₀ / 10,1 kV		
1,0 U ₀ / 20,2 kV	396	3456,6
1,2 U ₀ / 24,3 kV	562	3519,1
1,5 U ₀ / 30,3 kV	793	3552,1
Suma DP: 1751		Max. Carga [pC]: 3552,1

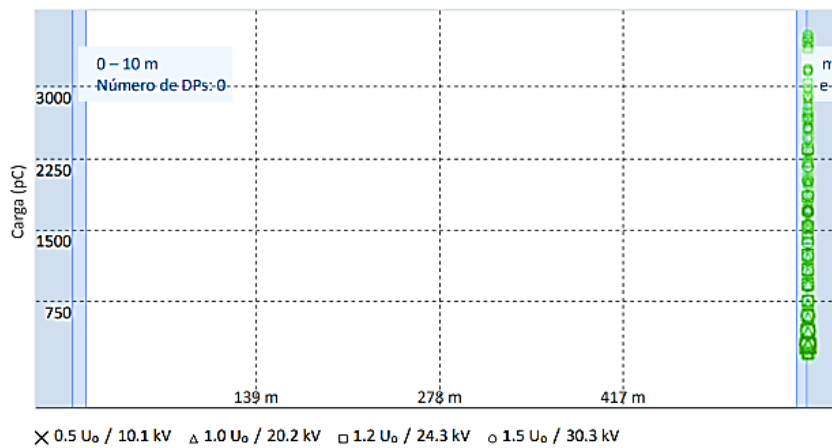


Figura 15. Nivel de DP lineal de la L1

En la Figura 15 se observa el nivel de DP a lo largo del cable, en donde se detecta la aparición de descargas en el tramo de 548m a 556m, es decir, en la terminal. Por el contrario, a una distancia de 0 a 10m se puede visualizar la inexistencia de DP.

6.2.2 Datos de la L2 fase C.

Por consiguiente, la L2 presenta las características descritas en la Tabla 14. Esta tabla detalla las especificaciones del cable, incluyendo su tipo de aislamiento, longitud, tensión nominal.

Tabla 14. Características correspondientes a la L2

Tensión nominal [kV]	35
Aislamiento	XLPE
Longitud [m]	538
Velocidad de propagación [m/μs]	81
Número de fases	1
Propiedades de cubierta	PVC
Calibre del cable	500MCM

Al igual que el caso de estudio detallado en el apartado 6.2.1 sigue los mismos parámetros en el nivel de voltaje inyectado ($1,5U_0$).

En este caso las distancias examinadas son las siguientes:

- 0 – 538 m
- 0 – 5 m
- 531 – 538 m

Los datos de la longitud total del cable (0 – 538 m) obtenidos mediante el software BAUR SW4 se presentan en la Tabla 15, en donde la suma de DP confirmada es de 1651 pulsos, lo que significa que mientras mayor sea el número de pulsos, existe mayor probabilidad de posibles problemas en el cable de potencia de la L2.

Por otro lado, la máxima carga registrada de 3755,1pC indica el punto más alto de actividad de descargas parciales durante el período de prueba. Un valor alto podría indicar la presencia de defectos significativos en el cable de potencia.

Tabla 15. Datos de DP total de la L2

Longitud total del cable (0-538 m)	DP confirmada	Máx. Carga [pC]
0,5 U ₀ / 10,1 kV	152	142,9
1,0 U ₀ / 20,2 kV	305	1295,9
1,2 U ₀ / 24,3 kV	439	3530,6
1,5 U ₀ / 30,3 kV	755	3755,1
	Suma DP: 1651	Max. Carga [pC]: 3755,1

Los resultados de 0 a 5 m (Tabla 16) indican que en dicho tramo existen DP dando una suma de 470, este valor resulta inferior comparado con los datos del tramo 531 -538 m (Tabla 17), es decir, en esa distancia se presenta un alto nivel de descargas.

Tabla 16. Datos de DP en el tramo de 0 a 5 m de la L2

Zona (0-5 m)	DP confirmada	Máx. Carga [pC]
0,5 U ₀ / 10,1 kV	134	122,4
1,0 U ₀ / 20,2 kV	134	132,7
1,2 U ₀ / 24,3 kV	90	173,5
1,5 U ₀ / 30,3 kV	112	244,9
	Suma DP: 470	Máx. Carga [pC]: 244,9

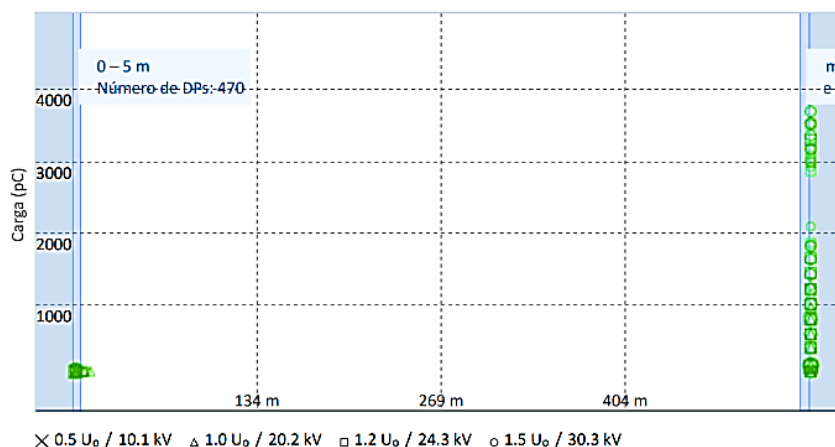


Figura 16. Nivel de DP lineal de la L2

La Figura 16 muestra los puntos de color verde los cuales son DP que existe entre 0-5m y de 531-538m utilizando la teoría de la Reflectometría en el Dominio del Tiempo.

Tabla 17. Datos de DP en el tramo de 531 a 538 m de la L2

Zona (531-538 m)	DP confirmada	Máx. Carga [pC]
0,5 U0 / 10,1 kV	12	142,9
1,0 U0 / 20,2 kV	167	1295,9
1,2 U0 / 24,3 kV	346	3530,6
1,5 U0 / 30,3 kV	639	3755,1
Suma DP:	1164	Máx. Carga [pC]: 3755,1

6.2.3 Datos de la L3 de la fase A.

Por último, se finalizó con la prueba realizada a la L3 que consta de las características detalladas en la Tabla 18.

Tabla 18. Características correspondientes a la L3

Tensión nominal [kV]	35
Aislamiento	XLPE
Longitud [m]	544
Velocidad de propagación [m/μs]	81
Número de fases	1
Propiedades de cubierta	PVC
Calibre del cable	500MCM

Los tres conductores sometidos a la prueba demuestran un diagrama idéntico (Figura 14) debido que son del mismo nivel de voltaje de 35kV(U_0 equivale a 20,2kV) por lo tanto los valores de 10,1kV, 20,2kV, 24,3kV y 30,3kV se mantienen.

La Tabla 19 expone los valores totales de DP confirmada de 79 pulsos y máxima carga de 488,7pC a lo largo del cable según los niveles de voltaje aplicados en la prueba, bajo este contexto se puede decir que no existe riesgos significativos en el cable , pero antes de llegar a esta conclusión es necesario analizar tanto los datos(6.2.3) y gráficas (6.3.3)como la opinión y experticia del operador a cargo.

Tabla 19. Datos de DP total de la L3

Longitud total del cable (0-544 m)	DP confirmada	Máx. Carga [pC]
0,5 U_0 / 10,1 kV		
1,0 U_0 / 20,2 kV	1	208,7
1,2 U_0 / 24,3 kV	6	207
1,5 U_0 / 30,3 kV	72	488,7
	Suma DP: 79	Max. Carga [pC]: 488,7

En el tramo 0 -7 m los valores de la Figura 17 muestran que no hay rasgos de descargas parciales por ende las DPs pertenecen únicamente a la zona de 537m a 544m. Estas DP como se observa en la Figura 17 solo existe en la punta terminal del cable, no representa un riesgo para la instalación.

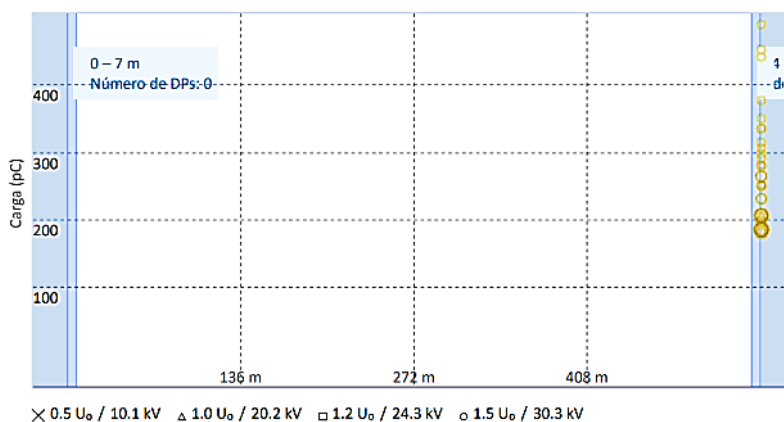


Figura 17. Nivel de DP lineal de la L3

6.3 Interpretación de datos

Con base en los datos obtenidos, como se muestra en la Tabla 20, se procedió a la interpretación de datos en los tres cables evaluados.

Tabla 20. Resumen de los resultados

DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES		
Análisis de la L1	3552,1 pC	En riesgo
Análisis de la L2	3755,1 pC	En riesgo
Análisis de la L3	488,7 pC	Aceptable

6.3.1 Análisis de la L1 de la dase A

Los resultados obtenidos en función del ensayo (Figura 18) el tramo afectado del cable XLPE de 35kV (L1) empieza en 548m a 556m lo que demuestra que se trata de una DP interna debido a que las descargas se presentan tanto en el semiciclo positivo como en el semiciclo negativo, en tanto se puede decir, que si existe DPs a la tensión de inicio o de inyección (PDIV) el cual comienza en 10,1 kV puede existir un problema en el aislamiento del cable según la IEEE 400.3-2022.

Basado en los valores experimentales de la Tabla 11 , en la Tabla 13 se observa a un nivel $1,0 U_0$ existe presencia de 396 pulsos confirmado con una DP de 3496,6pC siendo así un valor no aceptable dentro de los parámetros. Sin embargo, en $1,2 U_0$ y $1,5 U_0$ según los valores estadísticos de BAUR son un riesgo muy alto y se recomienda desplazarse al sitio previamente identificado por el equipo de medición, que indica la ubicación exacta de la descarga parcial y su reparación inmediata.

Considerando los datos en cada una de las etapas descritas, la suma total de descargas parciales en la L1 toma un valor de 3552,1pC confirmadas lo que significa que el cable está en riesgo y necesita ser reparado.

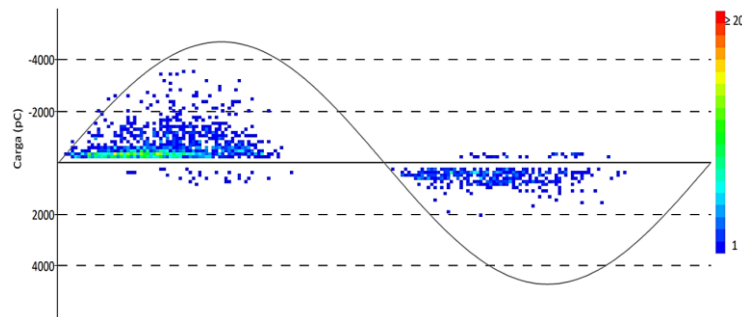


Figura 18. DP del segmento de 548m a 556m (L1)

6.3.2 Análisis de la L2 de la fase C.

El tramo 0 – 5 m presenta un patrón relacionado a ruido (Ver en la Figura 19), este ruido puede asociarse a punta terminal o por la variación de voltaje en rampa o punta terminal debido al ensayo realizado, por tanto, no afecta al aislamiento del cable según norma IEEE 400.3-2022.

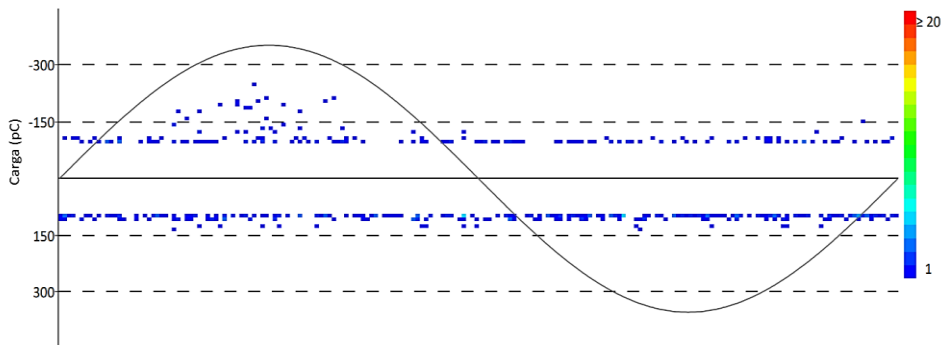


Figura 19. Gráfica del análisis de DPs en el segmento 0 – 5m (L2)

Prosiguiendo, en la Figura 20 se deduce que se trata de un patrón relacionado a efecto corona, con acción sobre el aislamiento descarga superficial de acuerdo con los patrones de [6].

En otra estancia su nivel de DPs va aumentando gravemente conforme aumenta su nivel de tensión en $0,5U_0 / 10,1$ kV su DP es $142,9\text{pC}$ lo cual no representa un riesgo y está en el rango aceptable, pero de $1,0U_0$ a $1,5U_0$ sus niveles son alto llegando a tener una carga máxima de DPs de $3755,1\text{pC}$ lo cual según la tabla especificada de BAUR establece que el cable analizado debe repararse inmediatamente, es decir, genera un riesgo muy alto.

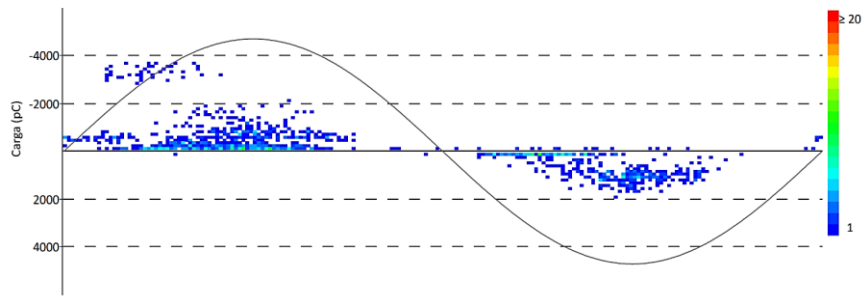


Figura 20.DP del segmento 531 – 538m (L2)

6.3.3 Análisis de la L3 de la fase A

Como se puede apreciar en la Figura 21 se hace referencia a un patrón relacionado de efecto corona dicho efecto puede deberse a la punta terminal que está cerca o en contacto con una parte metálica esto puede crear una capacitancia en ese punto y tratan de descargarse, sin acción sobre el aislamiento, además de ello coincide con el valor total de la suma de DP igual a 488,7pC que cumple con lo establecido en la Tabla 11 , dicho en otra manera, el valor de descargas en la L3 es aceptable y no requiere de ninguna acción de por medio.

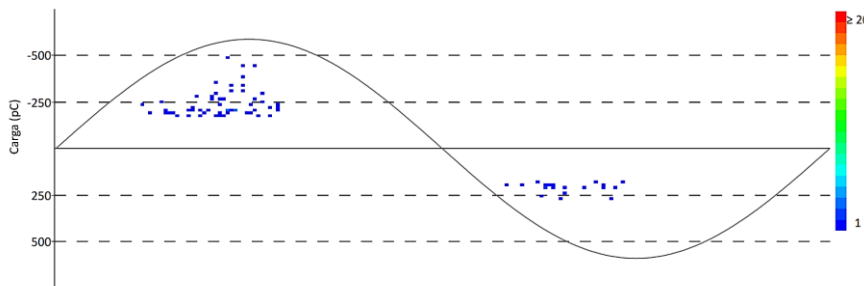


Figura 21.Análisis de DP en el segmento 537 – 544m (L3)

7 CONCLUSIONES

- La aplicación de pruebas de descargas parciales en campo a cables monopolares de 35kV XLPE demostró ser efectiva gracias al análisis cuantitativo y cualitativo realizado en los tres cables sujetos a prueba. Se empleó la teoría TDR para determinar con precisión la ubicación de las fallas, así como para identificar los patrones de descargas parciales, proporcionando una evaluación integral del estado de cada cable.
- El análisis de las pruebas de descargas parciales, realizado con el software BAUR SW4, identificó fallas significativas en los cables L1 y L2. Para el cable L1, con una longitud total de 556 m, la descarga parcial interna se localizó en el rango de 548 m a 556 m, sugiriendo que la falla probablemente se encuentra en el terminal del cable, ya que no se detectaron otros puntos con descargas parciales.
- En el caso del cable L2, que tiene una longitud total de 538 m, la descarga parcial se detectó entre 531 m y 538 m, exhibiendo características de descarga interna combinada con corona, influenciada por factores externos como el contacto con superficies externas.
- Los resultados también revelaron que ambos cables superaron los límites admisibles establecidos por los niveles de aceptabilidad de BAUR, basados en miles de ensayos realizados por personas con experiencia según la norma IEEE 400.3-2022. Los valores registrados fueron 3552,1 pC para L1 y 3755,1 pC para L2, lo que indica un riesgo significativo para la confiabilidad del sistema. En consecuencia, se concluye que las descargas parciales detectadas en ambos cables se originan en sus puntas terminales asociados al empalme.
- Por otro lado, en el caso de L3, se determinó que las descargas parciales a 488,7 pC que presenta un patrón de DP efecto corona se encuentran dentro de los límites aceptables según las normativas mencionadas.

8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que futuros estudios incluyan comparaciones de datos utilizando diferentes tecnologías, como fuentes de voltaje sinusoidal cerca de la frecuencia de potencia (NPF) y fuentes de voltaje alternativas con diversas formas de onda. Esto permitirá evaluar las variaciones entre las tecnologías y su precisión en la medición de datos.
- Las descargas parciales detectadas en las puntas terminales de los cables L1 y L2 están asociadas al empalme existente. Por lo tanto, se recomienda cortar el segmento afectado, donde se han registrado las descargas parciales, y realizar un nuevo empalme. Esta medida es de suma importancia para mitigar el riesgo de fallos futuros y asegurar la integridad y confiabilidad del sistema.
- Se sugiere realizar inspecciones periódicas anuales o cada dos años, así como establecer una planificación para el mantenimiento futuro en la L3 correspondiente a la fase A.

9 REFERENCIAS

- [1] Jaime Pilatásig and Diego Carrión, “Resiliencia de Sistemas Eléctricos de Potencia mediante la Conmutación de Líneas de Transmisión.” Accessed: Jul. 19, 2024. [Online]. Available: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2834/3507>
- [2] IEEE SA, “IEE SA - IEEE 400.3 2022.” Accessed: Apr. 04, 2024. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/400.3/5316/>
- [3] Jorge Luis 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,” 2021.
- [4] IEC 60840:2020 | IEC, “Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) - Test methods and requirements.” Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/63025>
- [5] Fernando Figueroa, José García, Jacinto Torres, and Mónica Zuñiga, “Análisis de dos tipos de mediciones de Descargas Parciales utilizando el método estadístico,” *Artículo Revista de Sistemas Experimentales Junio*, vol. 3, pp. 1–9, 2016, Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: www.ecorfan.org/bolivia
- [6] Pablo Antonio Stratta Angeloni and Daniel Slomovitz, “Localización de descargas parciales en terminales de cables por análisis de forma de onda,” 2018, Accessed: Mar. 14, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8756364>
- [7] D. Gabrieli and S. 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 S.A.,” Oct. 2023, Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24979>
- [8] D. Gabrieli and S. 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 S.A.,” Oct. 2023, Accessed: Jul. 27, 2024. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24979>

- [9] Ministerio de Energía y Minas, “MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS.” Accessed: Jul. 27, 2024. [Online]. Available: https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/Subterranas/Manual%20de%20Construccion%20Rev_02.pdf
- [10] Dávila Benalcázar Juan Sebastián, “Pruebas en cables subterráneos: análisis de los equipos de prueba y diagnóstico de cables subterráneos.” Accessed: Jul. 27, 2024. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25406>
- [11] IEEE SA, “IEEE 400.3 2022:IEEE Guide for Partial Discharge Field Diagnostic Testing of Shielded Power Cable Systems.” Accessed: Apr. 04, 2024. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/400.3/5316/>
- [12] V. D. C. Guerrero Cogollo, “Diseño de un banco de pruebas de aceptación en fábrica (FAT) para la empresa APSI S.A.S. con evaluación de aplicabilidad en la Universidad de la Costa.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6334>
- [13] Oscar Núñez Mata and Jonathan Rodríguez Campos, “Caracterización de descargas parciales en ranuras y por vibración presentadas en estatores de hidrogenadores,” vol. 32, pp. 35–35, 2022, doi: 10.15517/ri.v32i1.48667.
- [14] O. Kessler, “The Importance of Partial Discharge Testing: PD Testing Has Proven to Be a Very Reliable Method for Detecting Defects in the Insulation System of Electrical Equipment and for Assessing the Risk of Failure,” *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 18, no. 2, pp. 62–65, Mar. 2020, doi: 10.1109/MPE.2020.2974599.
- [15] A. A. Torresi, *Mediciones en alta tensión*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas, 2013. Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/78896?fs_q=mediciones__en__alta__tensi%C3%B3n&prev=fs
- [16] A. Expósito Cordo, “Descargas parciales: métodos de medida y detección,” 2019, Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/175770>
- [17] Electrical Testing Group Inductor, “Ensayos de descargas parciales in-situ, en cables de distribución y potencia ineficiencia de la técnica de ondas oscilantes amortiguadas (OSW

- Oscillating Wave Testing-DAC: Damped Alternating Voltage)”, Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: www.inducor.com.ar
- [18] Josué Quiroga and Juan Segura D’Rouvel, “Análisis de las técnicas neuronales utilizadas en aislantes de transformadores,” pp. 15–16, 2020, doi: 0.47460/athenea.v1i2.7.
- [19] J. Kim and C. H. Park, “Partial Discharge Detection Based on Anomaly Pattern Detection,” *Energies 2020, Vol. 13, Page 5444*, vol. 13, no. 20, p. 5444, Oct. 2020, doi: 10.3390/EN13205444.
- [20] Juan C.Colombo, “Reflectometría en el Dominio del Tiempo-TDR,” 2011.
- [21] Armando Rodrigo Mor, “Nueva metodología de la medida de descargas parciales en cables de alta tensión.,” Apr. 2012.
- [22] TECHNO-AC, “Cable fault locator TDR-TA4.7 USER MANUAL.” Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.indomultimeter.com/Pdf/TECHNO-TDR-TA4.7-Manual.Pdf>
- [23] Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, “EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA LA INDUSTRIA GENERAL,” 2010.
- [24] BAUR, “Ensayo y diagnóstico de cables: PD-TaD 62.” Accessed: Aug. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.baur.eu/es/pd-tad-62>
- [25] BAUR, “Predicción fiable de la vida útil residual de cables de media tensión,” 2019.