

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



“DIAGNOSTICO DE AISLAMIENTO EN CABLES DE ENERGIA EN MEDIA TENSION A PARTIR DE PRUEBAS DE ALTO POTENCIAL Y PRUEBA DE TANGENTE DELTA”

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

AUTORES:

**CASAS FIGUEROA JORGE ARTURO
NAJARRO GUTIERREZ AXEL GUSTAVO
SOLANO SUAREZ FREDY MARTÍN**

ASESOR:

Dr. Ing. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA

Callao – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



"DIAGNOSTICO DE AISLAMIENTO EN CABLES DE ENERGIA EN MEDIA TENSION A PARTIR DE PRUEBAS DE ALTO POTENCIAL Y PRUEBA DE TANGENTE DELTA"

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

AUTORES:

CASAS FIGUEROA JORGE ARTURO
NAJARRO GUTIERREZ AXEL GUSTAVO
SOLANO SUAREZ FREDY MARTÍN

ASESOR:

Dr. Ing. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA

CALIFICACIÓN: 16 (DIECISEIS)


Dr. Ing. Fernando Oyanguren Ramirez
Presidente


Mg. Ing. Carlos Huayllasco Montalva
Secretario


Ing. Ernesto Ramos Torres
Vocal

Callao – Perú
2018

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACION

Dr. Ing. Fernando José Oyanguren Ramírez	Presidente
Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva	Secretario
Ing. Ernesto Ramos Torres	Vocal
Ing. Pedro Antonio Sánchez Huapaya	Suplente
Dr. Ing. Juan Herber Grados Gamarra	Asesor

DEDICATORIA

Con todo cariño y amor a nuestros padres que estuvieron y aún están siempre a nuestro lado, desde que iniciamos nuestra etapa universitaria hasta este mismo momento, en el cual pasamos a ser los profesionales de los cuales ellos están y estarán eternamente orgullosos.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA	5
INDICE DE CONTENIDOS	6
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
1. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. Identificación del problema	14
1.2. Formulación del problema.....	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas Específicos	14
1.3. Objetivos de la investigación	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivo Especifico.....	15
1.4. Justificación	15
1.4.1. Justificación tecnológica	15
1.4.2. Justificación económica.....	16
1.4.3. Justificación medioambiental	16
1.5. Importancia.....	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes del estudio.....	17
2.2. Marco Teórico	18
2.2.1. Cables	18
2.2.2. Conductor.....	21
2.2.3. Aislamiento	25
2.2.4. Apantallamiento.....	27
2.2.5. Cubierta.....	29
2.2.6. Capacitancia	30
2.2.7. Reactancia Capacitiva	31
2.2.8. Capacitancia Inductiva Específica	32
2.2.9. Constante dieléctrica	32
2.2.10. Parámetros Eléctricos.....	33

2.2.11.	Pruebas Hipot.....	33
2.2.12.	Pruebas Tan δ	37
2.2.13.	Prueba de Rigidez Dieléctrica (Megado)	39
2.2.14.	Aplicación de Pruebas Hipot.....	39
2.2.15.	Pruebas Hipot a cables de potencia	40
2.2.16.	Aplicación de pruebas tan δ	40
2.2.17.	Pruebas Tan δ a cables de potencia.....	40
2.2.18.	Aplicación de prueba de Rigidez Dieléctrica	41
2.2.19.	Pruebas de Rigidez Dieléctrica a cables de potencia.....	41
2.3.	Definición de términos básicos.....	42
2.3.1.	Glosario.....	42
2.3.2.	Abreviaturas utilizadas.....	46
3.	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	47
3.1.	Variables de la Investigación.....	47
3.1.1.	Variable Dependiente:.....	47
3.1.2.	Variable Independiente:.....	47
3.2.	Operacionalización de variables.....	47
3.3.	Hipótesis general e hipótesis específicas.....	47
3.3.1.	Hipótesis General.....	47
3.3.2.	Hipótesis Secundarias.....	48
4.	METODOLOGÍA.....	48
4.1.	Tipo de Investigación.....	48
4.2.	Diseño de la Investigación.....	48
4.3.	Población y muestra.....	49
4.3.1.	Población.....	49
4.3.2.	Muestra.....	49
4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
4.4.1.	Técnicas de Recolección de datos.....	49
4.4.2.	Instrumentos de Recolección de Datos.....	50
4.5.	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	62
	Procedimiento Pruebas Hipot:.....	62
	Procedimiento Tangente Delta:.....	78
	Procedimiento Rigidez Dieléctrica (Megado):.....	83
4.6.	PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	86

5.	RESULTADOS	87
5.1.	Resultados de Prueba Hipot VLF a Cables de MT de S.E. Principal "Refinería la Pampilla"	87
5.2.	Resultados de Prueba Hipot DC a Cables de MT de S.E. Particular – Cliente "Inversiones Larco – Miraflores"	89
5.3.	Resultados de Prueba de Tangente δ a Cables de MT de S.E. Principal "Condorcocha - UNACEM"	89
5.4.	Resultados de Prueba de Resistencia de Aislamiento a Cables de MT de S.S.E.E. Particulares – Cliente "Operaciones Funerarias – Jardines de la Paz"	97
6.	DISCUSION DE RESULTADOS	103
6.1.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS	103
6.2.	CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES	104
7.	CONCLUSIONES	108
8.	RECOMENDACIONES	111
8.1.	Preliminares	111
8.2.	Medidas de Control	111
8.3.	Seguridad y Precauciones	112
8.4.	Protección de puntas de cables subterráneos expuestos a la intemperie	113
8.5.	Preparación De Cable Seco N2XSY / NA2XSY (XLPE)	114
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	115
	ANEXOS	116
	• Matriz de Consistencia	116
	• NTP-IEC60502-2	117
	• IEEE Std. 400.2 – 2004	118

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS COMO CONDUCTORES	21
TABLA 2. EQUIVALENCIAS MM2 - AWG.	22
TABLA 3. CONFORMACIÓN DEL CONDUCTOR DE ALUMINIO	23
TABLA 4. DIMENSIONES DEL CABLE DE ALUMINIO	23
TABLA 5. CONFORMACIÓN DEL CONDUCTOR DE COBRE	23
TABLA 6. DIMENSIONES DEL CABLE DE COBRE	24
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE AISLAMIENTO DE CABLES PARA MEDIA TENSIÓN. ..	27
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA CHAQUETA	29
TABLA 9. VALORES DE LA CONSTANTE INDUCTIVA ESPECÍFICA (SIC) Y TAN σ PARA AISLAMIENTOS EMPLEADOS USUALMENTE	32
TABLA 10. PARÁMETROS ELÉCTRICOS CABLE NA2XS_Y 18/30 KV	33
TABLA 11. PARÁMETROS ELÉCTRICOS CABLE N2XS_Y 18/30 KV	33
TABLA 12. TENSIÓN DE PRUEBA VLF PARA ONDA DE COSENO RECTANGULAR	68
TABLA 13. TENSIÓN DE PRUEBA VLF PARA FORMA DE ONDA SINUSOIDAL	68
TABLA 14. TENSIÓN DE PRUEBA PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN (1)	76
TABLA 15. TENSIÓN DE PRUEBA PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN (2)	76
TABLA 16. VALORES TÍPICOS DE FACTOR DE DISIPACIÓN (TAN DELTA) Y CONSTANTE DIELECTRICA	82
TABLA 17. VALORES DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN SISTEMAS Y APARATOS ELÉCTRICOS	85
TABLA 18. RESULTADOS TANDELTA FASE R (1)	89
TABLA 19. RESULTADOS TANDELTA FASE R (2)	90
TABLA 20. RESULTADOS TANDELTA FASE R (3)	90
TABLA 21. RESULTADOS TANDELTA FASE R (4)	90
TABLA 22. RESULTADOS TANDELTA FASE R (5)	91
TABLA 23. RESULTADOS TANDELTA FASE R (6)	91
TABLA 24. RESULTADOS TANDELTA FASE S (1)	91
TABLA 25. RESULTADOS TANDELTA FASE S (2)	92
TABLA 26. RESULTADOS TANDELTA FASE S (3)	92
TABLA 27. RESULTADOS TANDELTA FASE S (4)	92
TABLA 28. RESULTADOS TANDELTA FASE S (5)	93
TABLA 29. RESULTADOS TANDELTA FASE S (6)	93
TABLA 30. RESULTADOS TANDELTA FASE T (1)	93
TABLA 31. RESULTADOS TANDELTA FASE T (2)	94
TABLA 32. RESULTADOS TANDELTA FASE T (3)	94
TABLA 33. RESULTADOS TANDELTA FASE T (4)	94
TABLA 34. RESULTADOS TANDELTA FASE T (5)	95
TABLA 35. RESULTADOS TANDELTA FASE T (6)	95
TABLA 36. VALORES DE CAPACITANCIA Y TANGENTE DELTA (%)	95
TABLA 37. EVALUACIÓN DE RESULTADOS TANDELTA.	96
TABLA 38. TRABAJOS EN TENSIÓN, GUANTES ELÉCTRICOS	112

INDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESTRUCTURA BÁSICA DE CABLE NA2XSY (ALUMINIO)	19
IMAGEN 2. ESTRUCTURA BÁSICA DE CABLE N2XSY (COBRE)	20
IMAGEN 3. DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO PARA UN CABLE RECUBIERTO CON BLINDAJE SEMICONDUCTOR	25
IMAGEN 4. CAPACITANCIA DEL CABLE	30
IMAGEN 5. CIRCUITO EQUIVALENTE PARALELO DE UN AISLAMIENTO	38
IMAGEN 6. INSTRUMENTO DE PRUEBA KPG 36KV VLF	51
IMAGEN 7. ELEMENTOS DE CONTROL E INDICADORES	52
IMAGEN 8. UNIDAD DE ALTA TENSIÓN	52
IMAGEN 9. UNIDAD DE OPERACIÓN	53
IMAGEN 10. COMPONENTES FUNCIONALES CPC 100+TD1	54
IMAGEN 11. COMPONENTES FUNCIONALES DE LA CPC 100	55
IMAGEN 12. SALIDAS DE ALTA TENSIÓN Y CORRIENTE	56
IMAGEN 13. INSTRUMENTO DE PRUEBA MD10KVX	58
IMAGEN 14. DISPLAY DE EQUIPO DE PRUEBA MD10KVX	58
IMAGEN 15. MEGOHMETRO ELECTRÓNICO MD 10KV	59
IMAGEN 16. PORTABLE DC HIPOTS 40-200 KV - MODEL 475-20	59
IMAGEN 17. ELEMENTOS DE CONTROL E INDICADORES	60
IMAGEN 18. CONEXIONADO PARA PRUEBA VLF (1)	63
IMAGEN 19. CONEXIONADO PARA PRUEBA VLF (2)	63
IMAGEN 20. CONEXIONADO PARA PRUEBA VLF (3)	64
IMAGEN 21. MÉTODO DE PRUEBA	64
IMAGEN 22. FRECUENCIA DE LA PRUEBA	64
IMAGEN 23. MODO DE OPERACIÓN	64
IMAGEN 24. TENSIÓN DE PRUEBA	65
IMAGEN 25. TIEMPO DE LA PRUEBA	65
IMAGEN 26. OPCIÓN DE GUARDAR	65
IMAGEN 27. CONFIGURACIÓN DE LAS FASES	65
IMAGEN 28. PARÁMETROS SELECCIONADOS	66
IMAGEN 29. INICIAR PRUEBA	66
IMAGEN 30. RESULTADOS	67
IMAGEN 31. ESQUEMA DE CONEXIÓN EQUIPO HIPOT DC	69
IMAGEN 32. CONEXIONADO PARA PRUEBA HIPOT DC	70
IMAGEN 33. CONEXIONADO PARA PRUEBA HIPOT DC	70
IMAGEN 34. PREPARACIÓN DE CABLES DE MT A PROBAR	71
IMAGEN 35. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO PORTABLE DC HIPOT 40-200 KV	71
IMAGEN 36. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO PORTABLE DC HIPOT 40-200 KV (2)	72
IMAGEN 37. PÉRTIGA DE ATERRAMIENTO	73
IMAGEN 38. CABLE DE PRUEBA, UNA SOLA FASE	73
IMAGEN 39. INSTALACIÓN DE CABLE DE PRUEBA	73
IMAGEN 40. ATERRAMIENTO DEL CIRCUITO	74
IMAGEN 41. CONEXIÓN A FUENTE EXTERNA DEL EQUIPO DE PRUEBA	74
IMAGEN 42. REVELADO DE TENSIÓN RESIDUAL	75
IMAGEN 43. CONEXIÓN DE PRUEBA CPC100 + CPTD1 + CABLE 50MM2 18/30KV (XLPE)	78
IMAGEN 44. PRUEBA TAN DELTA CABLE 50MM2 18/30KV (XLPE)	78
IMAGEN 45. PANTALLA PRINCIPAL TARJETA DE PRUEBA CP TANGENTE DELTA (1)	79
IMAGEN 46. PANTALLA PRINCIPAL TARJETA DE PRUEBA CP TANGENTE DELTA (2)	80

IMAGEN 47. AJUSTES TARJETA DE PRUEBA CP TANGENTE DELTA (1)	80
IMAGEN 48. AJUSTES TARJETA DE PRUEBA CP TANGENTE DELTA (2)	81
IMAGEN 49. CONEXIÓN DE PRUEBA MEGOHMETRO + CABLE NA2XSY 50MM2 18/30KV XLPE	83
IMAGEN 50. PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA CABLE NA2XSY 50MM2 18/30KV (XLPE)	83
IMAGEN 51. DISPLAY DE EQUIPO MD 10KV	84
IMAGEN 52. INFORME ENSAYO DE CABLE (1)	87
IMAGEN 53. INFORME ENSAYO DE CABLE (2)	88
IMAGEN 54. BOLETA DE CONFORMIDAD DE PRUEBA DE CABLE	89
IMAGEN 55. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE1 →SE2–FASE “R”	97
IMAGEN 56. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE1 →SE2–FASE “S”	98
IMAGEN 57. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE1 →SE2–FASE “T”	99
IMAGEN 58. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE2 →SE3–FASE “R”	100
IMAGEN 59. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE2 →SE3–FASE “S”	101
IMAGEN 60. VALORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRAMO SE2 →SE3–FASE “T”	102
IMAGEN 61. PROTOCOLO DE PRUEBAS	103
IMAGEN 62. MEMORÁNDUM PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS	104
IMAGEN 63. CABLE EN CONDICIONES SUB ESTÁNDAR.	105
IMAGEN 64. CABLE CON CORROSIÓN EN EL CONDUCTOR.	105
IMAGEN 65. PRUEBA HIPOT A CABLE DE MEDIA TENSIÓN.	106
IMAGEN 66. BOLETA DE CONFORMIDAD DE PRUEBA.	106
IMAGEN 67. EQUIPO DE UBICACIÓN DE FALLAS	107
IMAGEN 68. BOLETA DE CONFORMIDAD DE PRUEBA.	107
IMAGEN 69. PROTECCIÓN DE PUNTAS DE CABLES SECOS	113
IMAGEN 70. PROTECCIÓN DE PUNTAS DE CABLES SECOS	114
IMAGEN 71. PREPARACIÓN DE CABLES	114

RESUMEN

Ante la demanda de energía eléctrica cada vez mayor, se incrementa la necesidad y la importancia de mantener un servicio ininterrumpido y de buena calidad al consumidor, lo cual implica redoblar esfuerzos a la hora de evitar fallas en el sistema, monitoreando los elementos que lo componen, para detectar anomalías, analizarlas y repararlas con la mayor brevedad posible. Las pruebas eléctricas son la base principal para verificar y apoyar los criterios de aceptación o para analizar estas anomalías, cuando sucedan cambios o variaciones con respecto a los valores iniciales de puesta en servicio o de la última prueba.

El presente estudio detalla varios métodos para el análisis y diagnóstico del nivel de aislamiento en cables de energía utilizados en Media Tensión.

El estudio ha sido desarrollado considerando normativa nacional, normativa internacional, datos técnicos de fabricante, así como manuales de los equipos utilizados durante las pruebas en campo. La aplicación de los métodos descritos en el presente informe permitirá al profesional de Ingeniería Eléctrica, desempeñar un rol más activo en la supervisión y ejecución de ensayos eléctricos, para juzgar la calidad de los elementos sometidos a prueba y de esta manera contribuir a la mejora y la continuidad del servicio.

ABSTRACT

Given the growing demand for electricity, the need and importance of maintaining uninterrupted and high-quality service to the consumer is increasing, which means redoubling efforts to avoid failures in the system, monitoring the elements that compose, to detect anomalies, analyze them and repair them as soon as possible. The electrical tests are the main basis to verify and support the acceptance criteria or to analyze these anomalies, when changes or variations occur with respect to the initial values of commissioning or the last test.

The present study details different methods for the analysis and diagnosis of insulation level in energy cables used in Medium Voltage.

The study has been developed considering national regulations, international regulations, manufacturer's technical data, as well as manuals of the equipment used during the electrical test. The application of the methods described in this report allows the Electrical Engineering professional, the most active role in the supervision and execution of electrical tests, to judge the quality of the elements under test and in this way, contribute to the improvement and the continuity of the service.

1. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Ningún aislamiento es perfecto, de manera que una mínima parte de la corriente circula por el aislamiento o a través de él hacia la tierra. Tal corriente puede ser muy pequeña para la mayoría de los fines prácticos, pero es la base del funcionamiento de los equipos de prueba de aislamiento.

El problema objeto de estudio a ser investigado, es la determinación de los parámetros que nos permitan verificar la capacidad que tiene el sistema de aislamiento de los cables de Media Tensión para soportar esfuerzos eléctricos, por tal motivo se plantea una metodología para estimar dichos parámetros que están definidos como la cantidad de corriente que circula desde el interior del conductor hacia el exterior generando fallas severas en el aislamiento y la medida de las pérdidas eléctricas por envejecimiento y la descomposición del aislamiento, o la entrada de agua, la cual aumentan las pérdidas y por lo tanto una mayor cantidad de energía se convierte en calor en el aislamiento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la falta de un diagnóstico eficiente y periódico puede generar fallas severas en el aislamiento y por ende en el funcionamiento del sistema eléctrico?

1.2.2. Problemas Específicos

PE1: ¿Cómo la falta o mala interpretación de los resultados de las pruebas afecta al aislamiento y al sistema eléctrico?

PE2: ¿Es posible que un procedimiento de pruebas bien elaborado nos permita obtener datos importantes y necesarios en campo para decidir si el sistema eléctrico necesita de un mantenimiento?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Elaborar una metodología para lograr una correcta realización de pruebas en campo, interpretación y evaluación de resultados, teniendo en cuenta para la correcta aplicación de las mismas, normativa nacional e internacional aplicables a Cables de Energía.

1.3.2. Objetivo Especifico

OE1: Evaluar con criterio los resultados mostrados en los equipos de prueba, para brindar una información correcta con relación al estado del aislamiento.

OE2: Establecer lineamientos para una correcta realización de pruebas en campo para una futura toma de decisiones respecto al estado del aislamiento y por ende del sistema eléctrico.

1.4. Justificación

La ejecución del presente proyecto de tesis, tiene las siguientes justificaciones:

1.4.1. Justificación tecnológica

La versatilidad y las excelentes características de los dispositivos de pruebas para diagnóstico eléctrico, hacen que sea una alternativa muy moderna, de calidad, confiable, práctica y de fácil transporte para la realización de pruebas en campo, siendo avalado por certificaciones otorgadas por prestigiosas entidades internacionales de estandarización.

1.4.2. Justificación económica

El dispositivo de pruebas universal para diagnóstico eléctrico reemplaza varios dispositivos de prueba individuales. Esto reduce los costos de capacitación y transporte, además del tiempo dedicado a las pruebas.

1.4.3. Justificación medioambiental

La prioridad al momento de realizar las pruebas es ver el estado del aislamiento del cable y sus accesorios, al estar expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, llámese humedad, presión y rayos solares, el aislamiento puede presentar pérdida de masa, envejecimiento, fisuras y desgaste que pueden producir recalentamiento por fugas de corriente y en casos críticos propagación de llama, trayendo como consecuencia derretimiento de los polímeros utilizados para el aislamiento y de la cubierta de PVC, generando gases tóxicos que contaminan el medio en que se encuentra la instalación, por ello se realizan los ensayos para determinar si el cable es apto o no y así evitar este tipo de impactos al medio ambiente.

1.5. Importancia

El aislamiento eléctrico se degrada a lo largo del tiempo debido a las diferentes condiciones a las cuales es sometido durante su vida útil normal. El aislamiento se diseña para soportar estas condiciones durante una cantidad de tiempo, que es considerada como la vida útil del mismo.

Las condiciones anormales pueden acelerar el proceso natural de envejecimiento y acortar severamente la vida útil del aislamiento.

Debido a esto, es importante realizar pruebas regularmente para determinar si ocurre un envejecimiento acelerado y de ser posible, identificar si los efectos se pueden revertir o no. El propósito de las pruebas es el de detectar un envejecimiento acelerado, identificar la causa de dicho envejecimiento de ser posible y tomar las acciones más apropiadas para corregir la situación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En esta era moderna, la creciente industrialización lleva consigo un incremento en la demanda de energía que trae nuevos retos a muchas de las áreas de conocimiento de la ingeniería eléctrica. En el ambiente industrial actual, el ingeniero de pruebas de campo y de laboratorio requiere realizar mediciones durante los programas de mantenimiento que permitan identificar el estado de los sistemas, teniendo cuidado de no llegar a dañar tanto a los equipos bajo prueba como a los equipos con los que se realiza la prueba. Una de las causas de salida más comunes en equipos eléctricos es causada por la falla del sistema de aislamiento. El sistema de aislamiento de equipo eléctrico es afectado por envejecimiento, humedad, polvo, condiciones ambientales, parámetros operacionales e incluso por malas prácticas de mantenimiento o limpieza. Los cambios en el valor de la resistencia de aislamiento, por ejemplo, son una de las mejores y más rápidas indicaciones de que está ocurriendo una degradación en el aislamiento.

Los métodos para el uso de pruebas Hipot DC de cables se han desarrollado principalmente para las pruebas a sistemas de cable laminados, cables aislados con papeles cubiertos de plomo y cubiertos con papel impregnado en aceite.

Las normas actuales prevén la utilización de las pruebas Hipot para la aceptación de los cables con extrusión (polietileno reticulado [XLPE], caucho etileno Propileno [EPR] o cables aislantes laminados, pero la mayoría de las normas industriales, en particular la IEEE 400, ya no recomienda probar Hipot DC para las pruebas de mantenimiento de cables envejecidos en XLPE o cables EPR, por esto se publicó la norma IEEE 400.2, donde se recomienda la utilización de pruebas Hipot con tensión VLF a cables de potencia.

Los detractores de los ensayos de medición de aislamiento o rigidez dieléctrica de un conductor con corriente continua, dicen que este tipo de ensayo, son perjudiciales para el conductor, pero lo cierto es que es una

prueba perfectamente válida para ensayar un conductor antes de su puesta en servicio, donde una avería conllevaría a un retraso en la puesta en marcha de la instalación y paro de procesos productivos. Desde la década de los 90's cuando se concluyó que las pruebas Hipot DC no solo eran perjudiciales para los aislamientos termoplásticos, sino que también eran un método ineficaz para su análisis, fue hasta entonces cuando buscando entre las diferentes fuentes de tensión disponibles, se concluye que las pruebas Hipot VLF, tanto de soporte como de diagnóstico cumplen con los requerimientos de la industria, que es tener equipos fáciles de transportar, con bajo consumo de potencia durante la prueba y totalmente a automatizado.

2.2. Marco Teórico

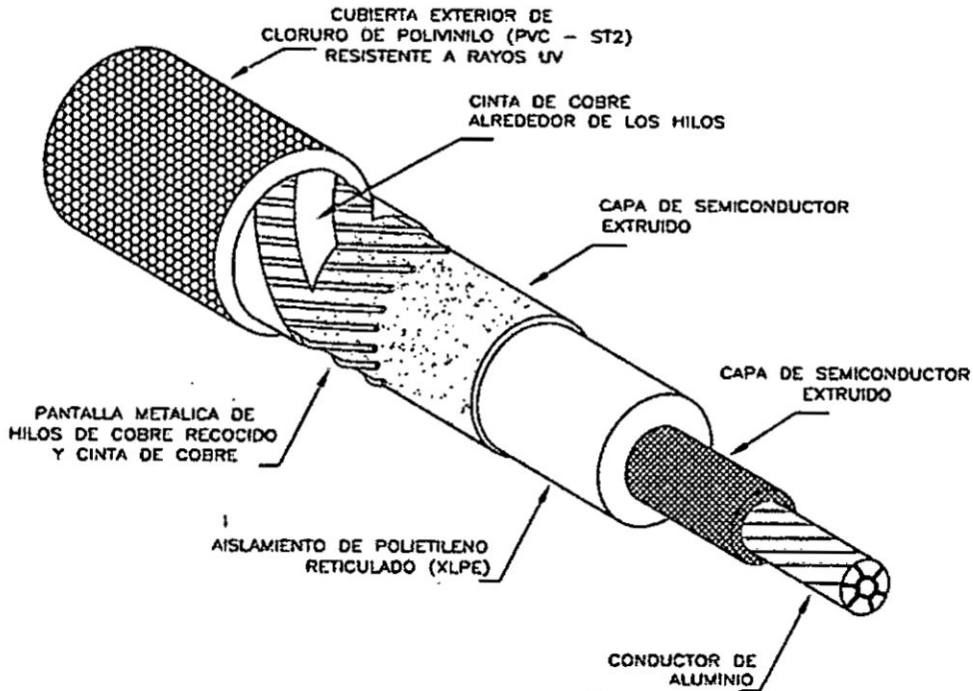
2.2.1. Cables.

Los cables de potencia son parte de los elementos de un sistema eléctrico de potencia, que al igual que los circuitos aéreos tiene como función la transmisión de energía eléctrica. Debido a su diseño, los cables son conectados a otros equipos (transformadores, Interruptores, circuitos aéreos, etc.) mediante terminales y terminaciones. Estos accesorios deben ser diseñados, fabricados e instalados en forma rápida y eficiente para asegurar un período prolongado de vida útil en beneficio de la continuidad del servicio.

La función primordial de un cable de energía aislado es la de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas, durante cierto tiempo. Es por ello que sus elementos constitutivos primordiales deben estar diseñados para soportar el efecto combinado producido por estos parámetros.

Los elementos que constituyen la estructura básica del cable son: el conductor, el aislamiento, las pantallas (semiconductoras y metálicas) y la cubierta. Los cables pueden ser unipolar o tripolar, pero en general su construcción es la misma.

Imagen 1. Estructura básica de cable NA2XSY (Aluminio)

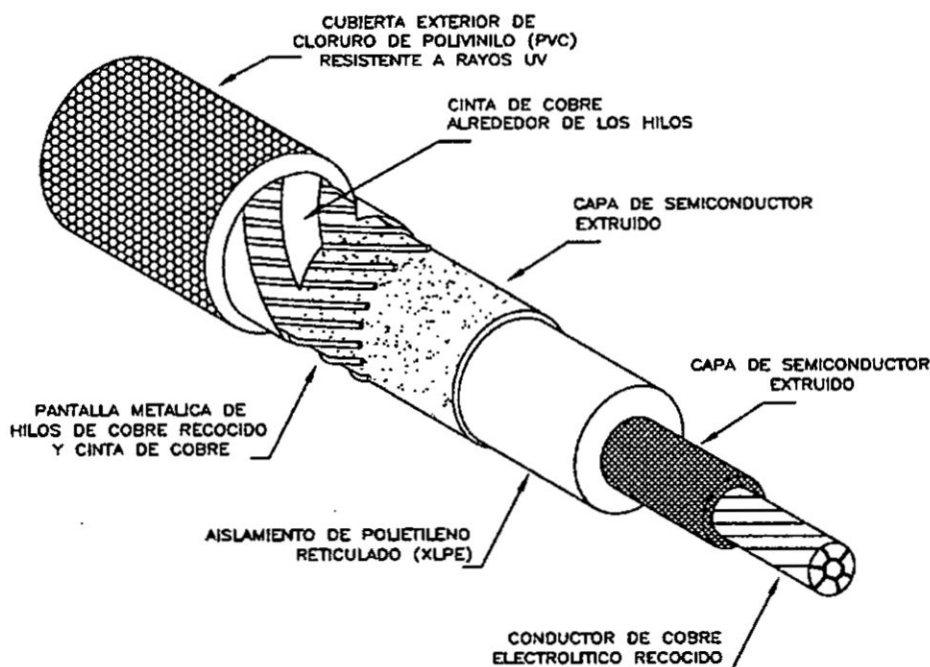


Fuente: Norma de Distribución CE-9-320 – Luz del Sur S.A.A

Características Básicas

- Conductor de aluminio clase 2, cableado concéntrico, redondo compactado de sección circular.
 - Capa de semiconductor extruido sobre el conductor
 - Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) con grado de aislamiento $E_0/E = 18/30kV$.
 - Capa de semiconductor extruido sobre la aislación
 - Pantalla metálica constituida por un conjunto de hilos de cobre recocido y una cinta helicoidal de cobre aplicada en hélice abierta (discontinua) en contraespira alrededor de los hilos.
- El conjunto no debe superar los siguientes valores de resistencia eléctrica:
- * 1,2 Ohm/km para 50, 95, 120mm²
 - * 0,75 Ohm/km para 185 y 400mm²
- Cubierta externa de cloruro de polivinilo PVC tipo ST2, color rojo, resistente a rayos ultravioletas.

Imagen 2. Estructura básica de cable N2XSY (Cobre)



Fuente: Norma de Distribución CE-9-310 – Luz del Sur S.A.A

Características Básicas

- Conductor de electrolítico recocido, cableado redondo compactado de sección circular.
- Capa de semiconductor extruido sobre el conductor
- Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) con grado de aislamiento $E_0/E = 18/30kV$.
- Capa de semiconductor extruido sobre la aislación
- Pantalla metálica constituida por un conjunto de hilos de cobre recocido y una cinta helicoidal de cobre aplicada en hélice abierta (discontinua) en contraespira alrededor de los hilos.

El conjunto no debe superar los siguientes valores de resistencia eléctrica:

*1,2 Ohm/km para 50, 70, 120mm²

*0,75 Ohm/km para 240 y 300mm²

- Aditivos de protección longitudinal contra la humedad entre el semiconductor y pantalla metálica y entre la pantalla y cubierta externa.
- Cubierta externa de cloruro de polivinilo PVC tipo ST2, color rojo, resistente a rayos ultravioletas.

Condiciones Normales de Instalación de Cables Directamente Enterrados

- a) Resistencia térmica del terreno : 15°C-cm/W
- b) Temperatura del terreno : 25°C
- c) Profundidad de la instalación : 1.00m
- d) Cantidad de cables en la zanja : 3
- e) Separación entre cables : 70 mm
- f) Conexión a tierra de la pantalla de cable : En ambos extremos y en Los empalmes

2.2.2. Conductor

Su función es la de transmitir la corriente a través del cable y dar resistencia a la tracción. Las cuatro características del conductor son el tipo de materiales, la flexibilidad, la forma y las dimensiones.

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque el primero es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos.

Tabla 1. Propiedades de los materiales empleados como conductores

		COBRE SUAVE	ALUMINIO 1350
Densidad	g/cm ³	8,89	2,705
Resistividad	Ω - mm ² /km	17,241	28,172
Conductividad	(%IACS)	100,0	61,2
Tensión de Rotura	MPa	220	155 - 200
Elongación a Rotura	%	25 - 30	1,4 - 2,3
Norma ASTM (NTC)		B3 (359)	B230 (360)
Resistencia a la Corrosión		Excelente	Buena

Fuente: Boletín Técnico CABLES y TECNOLOGIA – CENTELSA

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman.

La operación de reunir los cables da lugar a diferentes flexibilidades, de acuerdo con el número de alambres, el paso o longitud del torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

Las formas de los conductores de uso más general en cables de media tensión son: la Redonda (normal o compacto) y el Sectorial.

La escala más usada para los calibres en los Estados Unidos es la "American Wire Gage" (AWG). La escala se formó fijando dos diámetros y estableciendo una ley de progresión geométrica para diámetros intermedios. Los diámetros base seleccionados son 0.46 pulgadas (calibre 4/0) y 0.0050 (calibre 36) y hay 39 dimensiones entre estos dos. Es decir:

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[39]{92} = 1.229 \quad ; \quad D_n = 1.229^n \times D_0$$

Donde $D_0 = 0.127mm$ (0.005 in) y $D_n =$ el enésimo calibre de la escala y "n" va desde 0 a 39.

Tabla 2. Equivalencias mm² - AWG.



EQUIVALENCIAS mm ² - AWG		
SECCIÓN mm ²	SECCIÓN NOMINAL mm ²	CALIBRE AWG ó kcmil
0.75	0.653	19 AWG
	0.823	18
1.5	1.04	17
	1.31	16
2.5	1.05	15
	2.06	14
4.0	2.62	13
	3.31	12
6.0	4.17	11
	5.26	10
10.0	6.63	9
	8.37	8
15.0	10.55	7
	13.30	6
25.0	16.77	5
	21.15	4
35.0	26.67	3
	33.63	2
50.0	42.41	1
	53.48	1/0
70.0	67.43	2/0
	85.03	3/0
95.0		4/0
120.0	107.20	
150.0	126.64	250 kcmil
185.0	152.00	300
240.0	177.00	350
300.0	202.71	400
350.0	253.35	500
400.0	304.00	600
450.0	354.71	700
500.0	405.35	800
625.0	506.71	1000

Fuente: Folleto General Cable

La escala de la IEC ("International Electrotechnical Comisión") es la más usada en la actualidad con excepción de los Estados Unidos y países latinoamericanos.

La escala consiste en proporcionar la medida directa de área transversal de los calibres en milímetros cuadrados.

En la Tabla 2 se muestran por orden de tamaño las escalas antes mencionadas con su área de la sección transversal en milímetros cuadrados.

Las dimensiones de los cables que se utilizarán en la presente investigación son:

Tabla 3. Conformación del Conductor de Aluminio

SECCION (mm ²)	50	95	120	185	400
CONFORMACION DEL CONDUCTOR	ALUMINIO, CABLEADO REDONDO COMPACTADO (CLASE 2) (sentido de la mano izquierda)				

Fuente: Norma de Distribución CE-9-320 – Luz del Sur S.A.A

Tabla 4. Dimensiones del cable de Aluminio

SECCIÓN (mm ²)	Ø CONDUCTOR (mm)	ESPEJOR AISLAMIENTO XLPE (mm)	DIÁMETRO SOBRE EL AISLAMIENTO (mm)	ESPEJOR CUBIERTA PVC (mm)	Ø EXTERIOR (mm)
50	8.6	8,0	24.6	1,8	32,0
95	12,0	8,0	28,0	1,9	35,5
120	13.5	8,0	29.5	2,0	38,0
185	16,8	8,0	32,8	2,1	40,5
400	24.6	8,0	40.6	2,3	49,0

Fuente: Norma de Distribución CE-9-320 – Luz del Sur S.A.A

Tabla 5. Conformación del Conductor de Cobre

SECCIÓN mm ²	50	70	120	240	300
CONFORMACIÓN DEL CONDUCTOR	COBRE ELECTROLITICO RECOCIDO, CABLEADO REDONDO COMPACTADO (CLASE 2) (sentido de la mano izquierda)				

Fuente: Norma de Distribución CE-9-310 – Luz del Sur S.A.A

Tabla 6. Dimensiones del cable de Cobre

SECCIÓN mm ²	Ø CONDUCTOR (mm)	ESPEJOR AISLAMIENTO (mm)	Ø SOBRE EL AISLAMIENTO (mm)	ESPEJOR PVC (mm)	Ø EXTERIOR (mm)
50	8,0	8,0	25.1	2,0	31,0
70	10,0	8,0	27.0	2,2	33,0
120	13,0	8,0	30.5	2,2	37,0
240	19,0	8,0	36,6	2,4	43,5
300	21,0	8,0	37,0	2,5	47,1

Fuente: Norma de Distribución CE-9-310 – Luz del Sur S.A.A

➤ Elementos de la Triple Extrusión

En un cable para Media Tensión el aislamiento juega un papel importante en lo que compete al desempeño del mismo, su funcionalidad y vida útil está sujeta en gran parte a las características del aislamiento. Con el desarrollo de materiales de aislamiento de mayor resistencia a la temperatura (materiales termoestables), se pudo incrementar la capacidad de transporte de energía que se alcanzaba con materiales termoplásticos.

El proceso de aplicación del material de aislamiento sobre un conductor se conoce como proceso de extrusión. En los cables para Media Tensión, tanto el aislamiento como el blindaje del conductor y blindaje del aislamiento son aplicados de forma simultánea formando tres capas concéntricas, en su orden: blindaje del conductor, aislamiento y blindaje del aislamiento. Este proceso es conocido como Triple Extrusión Simultánea y garantiza tanto la pureza de los materiales como el contacto entre capas.

➤ Blindaje del Conductor

Esta capa de material se encuentra en contacto directo con el conductor, está conformado por un material termoestable (generalmente Polietileno con característica semiconductor) que se encarga de recubrir al conductor cableado, penetrando en los intersticios entre los hilos de la capa exterior del conductor para darle una forma circular al mismo. Esta capa de material también es conocida como Primera Capa Semiconductor.

Este primer material semiconductor se encarga de que el campo eléctrico sea radial a partir de su superficie, evitando concentraciones puntuales de campo, obteniéndose así una superficie equipotencial (equilibrio de cargas eléctricas) alrededor de esta primera capa. Si se aplicara el aislamiento directamente sobre el conductor sin el material semiconductor, éste sufriría los efectos del elevado campo eléctrico en los intersticios del conductor, lo cual no es un efecto deseable en el aislamiento, pues disminuiría la capacidad del mismo.

Imagen 3. Distribución del Campo Eléctrico para un Cable Recubierto con Blindaje Semiconductor



*Líneas de Campo
Eléctrico*

Fuente: Boletín Técnico CABLES y TECNOLOGIA – CENTELSA

2.2.3. Aislamiento

La función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa. En ese sentido los factores que deben ser considerados en la selección de los aislamientos son las características eléctricas y mecánicas del material.

Los aislamientos se pueden dividir en dos grupos principales, los de papel impregnado y los de tipo seco. A continuación, se describen sus características.

De papel impregnado. En este caso se emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera, formado con celulosa de fibra larga. El cable aislado con papel sin humedad se impregna con una sustancia para mejorar las características del aislante. Las sustancias más usuales son: el aceite viscoso, el aceite viscoso con resinas refinadas, el aceite viscoso con polímeros de hidrocarburos, aceite de baja viscosidad y las parafinas micro cristalinas del petróleo. La selección de cualquiera de estas sustancias

dependerá de la tensión y de la instalación del cable. El compuesto ocupa todos los intersticios, eliminando las burbujas de aire en el papel y evitando la ionización en servicio.

Aislamientos de tipo seco. En este tipo se utilizan compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos y se clasifican en termoplásticos y termoestables.

Los termoplásticos son aquellos que, al calentarse, su plasticidad permite deformarlos a voluntad, recuperando sus propiedades iniciales al enfriarse, pero manteniendo la forma que se les imprimió, aislamientos tales como Cloruro de Polivinilo (PVC), Polietileno (PE) y Nylon.

Por otra parte, los termoestables a diferencia de los anteriores, al calentarse no presentan plasticidad, ya que siempre mantienen su forma original.

El hule Etileno Propileno (EPR - EPDM) y el polietileno de cadena cruzada o Polietileno Reticulado (XLPE) son los principales materiales empleados en la actualidad para cables de energía con aislamiento extruido.

La presencia de arborescencias (degradación del material por el constante paso de corriente debido a la formación de caminos conductivos) en el aislamiento es causada por tres factores, el agua en el aislamiento, la tensión aplicada de CA y las irregularidades (cavidades, impurezas, protuberancias en las pantallas semiconductoras). En general, la presencia de estos tres factores causa una disminución en la vida del cable y es más pronunciada para el XLP que para el EPR.

El espesor del aislamiento es determinado por la tensión entre fases y las características del sistema. Generalmente se especifica el nivel de voltaje que el cable puede soportar durante cierto tiempo, en la norma ANSI/IEEE se establece el porciento de nivel de aislamiento y los cables se subdividen en:

- a) 100%: Cables que no pueden operar más de un minuto con falla a tierra en el sistema.
- b) 133%: Cables que no pueden operar más de una hora con falla a tierra en el sistema.

Las pantallas en los cables de energía pueden ser, dependiendo de su localización y función, de dos tipos; a) pantalla semiconductora sobre el conductor y b) pantalla sobre el aislamiento.

➤ **Pantalla sobre el conductor**

En circuitos con tensiones de 2 kV y mayores se utiliza la pantalla semiconductora a base de cintas o extruida. Los materiales de la pantalla dependen del diseño del cable, ya que en cables con aislamiento de papel impregnado se usan cintas de papel CB (Carbón Black), en cables con aislamiento sólido se utilizan pantallas extruidas del material compatible con el aislamiento.

La función básica de este tipo de pantallas es la de evitar concentraciones de esfuerzos eléctricos que se presentan en los hilos del conductor. La inclusión de este elemento en el diseño del cable es con el fin de obtener una superficie equipotencial uniforme, a la cual las líneas de fuerza del campo eléctrico sean perpendiculares.

➤ **Pantallas sobre el Aislamiento (Electrostática)**

En cables de 5 kV y mayores se utilizan la pantalla electrostática sobre el aislamiento que está conformada de una pantalla Semiconductora y una pantalla Metálica.

La pantalla electrostática sobre el aislamiento seco, puede estar constituida por una capa de materiales termoplástico o termo fijo semiconductor, o bien, por cinta semiconductora y/o barniz semiconductor. Para cables con papel impregnado en aceite se emplean cintas de papel CB (Carbón Black) semiconductoras.

La pantalla metálica puede constar de alambres, cintas planas o corrugadas o combinación de alambres y cintas. El diseño de la pantalla metálica se debe efectuar de acuerdo al propósito de diseño, que puede ser para propósito electrostático, para conducir corriente de falla y como pantalla neutro.

2.2.5. Cubierta.

La función primordial de las cubiertas en sus diferentes combinaciones es la de proteger al cable de los agentes externos del medio ambiente que lo rodea, tanto en la operación, como en la instalación del cable.

Los tipos de cubiertas más utilizados son los siguientes:

- ✓ Metálicas. El material normalmente usado es el plomo y sus aleaciones, y en una escala menor el aluminio.
- ✓ Termoplásticas. Las más usuales son fabricadas con PVC (cloruro de polivinilo) y polietileno de alta y baja densidad.
- ✓ Elastoméricas. Básicamente se utiliza el neopreno (poli cloropreno) y el Hypalon (polietileno clorosulfonado)
- ✓ Cubiertas textiles. Se emplea una combinación de yute impregnado en asfalto y recubierto con baño final de cal y talco, con el fin de evitar que se adhieran las capas adyacentes

Para definir el material de la cubierta es necesario conocer los agentes externos a que pueden quedar expuestos los cables de energía en el medio ambiente (térmica, química y mecánica). En general la cubierta más común es la de PVC.

La tabla 8 presenta el comparativo entre los diferentes materiales empleados en la fabricación de la chaqueta de los cables para Media Tensión:

Tabla 8. Características de los Materiales para Chaqueta

PROPIEDADES	PVC	PE
Eléctricas	B	E
Flamabilidad	MB	R
Flexibilidad	E	B
Bloqueo Humedad	B	E
Resistencia al Agua	MB	E
Resistencia a la Abrasión	MB	MB
Resistencia a los Hidrocarburos	MB	MB

E: Excelente MB: Muy Bueno B: Bueno R: Regular D: Deficiente

Fuente: Boletín Técnico CABLES y TECNOLOGIA – CENTELSA

$$C = \frac{0.0241SIC \times 10^{-6}}{\log \frac{D_a}{D_e}} \text{ F/km}$$

Donde:

SIC = Capacitancia inductiva específica del aislamiento

D_a = Diámetro sobre el aislamiento [mm]

D_e = Diámetro bajo el aislamiento [mm]

En el caso de un cable tripolar con cubierta común, la capacitancia se da en función del factor geométrico *G*, de la siguiente manera.

$$C = \frac{1.66 \times 10 S I C}{G} \text{ F/km}$$

Una expresión íntimamente relacionada con la capacitancia, es la que se tiene a continuación:

$$I = 2\pi f C L V$$

I = Corriente capacitiva en el cable [A]

f = Frecuencia del sistema [Hz]

L = Longitud del cable [km]

V_o = Voltaje de fase a tierra del sistema [V]

2.2.7. Reactancia Capacitiva

La reactancia capacitiva queda definida por la siguiente ecuación:

$$X_c = \frac{0.0241SIC \times 10^{-6}}{2\pi f c} \text{ F/km}$$

En forma general sería:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \text{ F/km}$$

SIC = Capacitancia inductiva específica del aislamiento

X_c = Reactancia capacitiva [Ω - km]

f = Frecuencia del sistema [Hz]

C = Capacitancia [$\frac{F}{km}$]

2.2.10. Parámetros Eléctricos

Tabla 10. Parámetros Eléctricos Cable NA2XSY 18/30 kV

SECCION (mm ²)	R 20°C (ohm/km)	Re (ohm/km)	X1 (ohm/km)	C (uf/km)	K 3ø (V/A x km)
50	0,641	0,822	0,247	0,1407	1,395
95	0,320	0,410	0,221	0,1571	0,799
120	0,253	0,324	0,213	0,1571	0,670
185	0,164	0,210	0,196	0,1805	0,495
400	0,078	0,100	0,167	0,2416	0,312

Fuente: Norma de Distribución CE-9-320 – Luz del Sur S.A.A

Tabla 11. Parámetros Eléctricos Cable N2XSY 18/30 kV

SECCIÓN mm ²	R 20°C ohm/km	Re ohm/km	X1 ohm/km	C uf/km	K 3ø (V/A x km)
50	0.387	0,493	0,252	0,1238	0,946
70	0.268	0,342	0,235	0,1394	0,718
120	0.153	0,195	0,215	0,1696	0,494
240	0.0754	0,096	0,187	0,2204	0,327
300	0.0601	0,077	0,179	0,2280	0,293

Fuente: Norma de Distribución CE-9-310 – Luz del Sur S.A.A

2.2.11. Pruebas Hipot

Hipot es la abreviatura de High potencial (alta tensión o alto potencial), tradicionalmente el termino Hipot se les ha otorgado a los equipos que realizan las pruebas de sobretensión (de igual manera como tradicionalmente se le da el nombre de Megger a las pruebas de resistencia de aislamiento). Se recuerda que a medida que la tensión de prueba es incrementada también aumenta la corriente de fuga, ya que los materiales dieléctricos tienen una componente resistiva, este exceso de corriente podría causar daños en los equipos bajo prueba u ocasionar la muerte al personal que este en contacto con el dieléctrico.

Las pruebas Hipot también son conocidas como prueba de rigidez dieléctrica, ya que su finalidad es proporcionar información acerca de esta característica en el dieléctrico.

La rigidez eléctrica de un material aislante se define como el gradiente de potencial máximo que este puede soportar sin que se produzca la ruptura.

Es decir, las pruebas Hipot reflejan la capacidad del sistema de aislamiento para soportar esfuerzos eléctricos, por esto algunos les llaman a estas pruebas como pruebas de soporte.

La prueba consiste en aplicar deliberadamente una tensión superior a la tensión nominal de operación del elemento bajo prueba. Dicha tensión es aplicada con incrementos ya sea de manera constante (rampa) o de manera escalonada.

La idea de la prueba es que, si el aislamiento soporta esta tensión durante cierto tiempo y no se produce ninguna evidencia de daño tal como una ruptura, una excesiva corriente de fuga o una perforación del material aislante, se asume entonces que será capaz de soportar sin peligros la tensión nominal al momento de estar en servicio.

La prueba se fundamenta en que la sobretensión ocasionará una perforación en cualquier punto débil al interior del aislamiento, por lo tanto, es importante elegir una tensión de prueba de modo tal que:

- ✓ Un aislamiento en buen estado puede soportar el esfuerzo eléctrico y de esta forma decir que paso la prueba.
- ✓ Un aislamiento dañado no soportara el esfuerzo eléctrico y no pasara la prueba o presentara una falla.

Los resultados de estas pruebas son de tipo binario determinándose simplemente si pasó o fallo, lo cual no implica ningún diagnóstico de las condiciones del elemento bajo prueba. Por esto es que la pruebas Hipot son divididas en dos tipos de prueba:

- ✓ Las pruebas de soporte.
- ✓ Las pruebas de diagnóstico.

La prueba Hipot se puede realizar con tres tipos de tensión, tensión DC, tensión AC a frecuencia industrial y tensión VLF, pero en la presente investigación las pruebas de soporte que se estudiarán serán las de tensión DC y VLF.

Detractores de estas pruebas también indican que, si bien los elementos pueden soportar las pruebas de rigidez dieléctrica, el simple hecho de haberlas expuesto a dichos esfuerzos eléctricos les causa debilidades que reducen la vida útil de los elementos.

Los niveles de tensión para las pruebas Hipot dependen de la señal utilizada, variando si la tecnología de inyección es en AC, DC o VLF. El nivel de tensión de prueba también varía dependiendo de la muestra (cable de MT, transformadores o maquinas rotativas) y en algunos casos la relación entre la tensión de prueba y la tensión nominal de la muestra, no es directamente proporcional a nada o no se contarán con fórmulas que permitan su determinación, simplemente se cuentan con valores que han sido largamente probados en laboratorios de alta tensión y con los cuales se han llevado a cabo las pruebas Hipot exitosamente.

Así mismo los diagramas de conexión varían según el elemento bajo prueba, lo importante es tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ La idea de la prueba es tener dos puntos, a manera de dos electrodos a los cuales se les aplicara la diferencia de tensión.
- ✓ Reconocer las posibles rutas de fuga de la corriente que pueden circular ya sea a través o sobre la superficie del aislamiento.

Por lo tanto, cuando se aborde en profundidad cada uno de los elementos bajo prueba que le competen a esta investigación se resaltarán que partes del elemento forman cada electrodo y la posible ruta que puede tomar la corriente de fuga o la trayectoria que podría tener una ruptura total del aislamiento.

Si bien el conocimiento de los circuitos, que le permiten a los inyectores de alta tensión lograr estas tensiones elevadas es importante, pasa a un segundo plano para este trabajo.

A continuación, se presenta las normas que se tendrán en cuenta en el presente trabajo de investigación:

- ✓ IEEE Std 400-2001. Guía para pruebas de campo y evaluación del aislamiento de cables de potencia apantallados.

En la cual se describen varios métodos de pruebas de campo sobre

cables de potencia apantallados desde 5 kV hasta 500 kV, incluyendo equipos y formas de onda en VLF.

- ✓ IEEE Std 400.1-2007. Guía para pruebas de campo a cables de potencia apantallados usando DC. Describe dos tipos de pruebas el de soporte o tensión resistiva y el de diagnóstico, y como deben ser realizadas las mediciones en campo sobre cables de potencia apantallados, extruidos o laminados.
- ✓ IEEE Std 400.2-2004. Guía para pruebas de campo a cables de potencia apantallados usando VLF. Describe dos tipos de pruebas el de soporte o tensión resistiva y el de diagnóstico, y como deben ser realizadas las mediciones en campo sobre cables de potencia apantallados, extruidos o laminados.

Si se observa las fechas de publicación de las normas son recientes, pero se debe tener en cuenta que las primeras ediciones de estas surgieron años atrás, de lo cual se puede concluir lo siguiente:

- ✓ Es una tecnología exitosa con más de 35 años de experiencia realizando pruebas de aislamiento a máquinas rotativas. No se implementó tanto en cables por los niveles de tensión que debían ser alcanzados, ya que una unidad VLF del mismo tamaño alcanza una tensión menor a la de DC, en una relación próxima al 70%.

Anteriormente se dijo que con tensión DC solo se podían realizar pruebas de soporte. Con la tecnología VLF se pueden llevar a cabo además de las pruebas de rigidez dieléctrica las pruebas de diagnóstico donde las más conocidas son:

- ✓ Pruebas tangente delta ($\text{Tan}\delta$).
- ✓ Pruebas de descargas parciales (DP).

Son este par de pruebas de diagnóstico las que le dan un valor agregado a esta tecnología ya que estas reflejan el estado de la calidad de los aislamientos. A continuación, se da respuesta a una de las preguntas más formuladas por las personas encargadas del mantenimiento de los equipos eléctricos, debido a la desinformación que existe acerca la normatividad vigente y los alcances de las pruebas Hipot.

¿La prueba Hipot es una prueba destructiva?

Depende de su significado, la prueba Hipot VLF no deteriora al cable ensayado, como lo hace la prueba en DC, donde el daño real al aislamiento se produce durante la prueba, aumentando las probabilidades de una futura falla.

Por el contrario, el ensayo en VLF; no causa deterioro al aislamiento por su simple aplicación, ya que se trata de corriente alterna, la misma corriente para la cual ha sido diseñado el aislamiento durante su servicio. De hecho, todo cable, transformador o máquina rotativa es probado en fábrica (ensayo tipo), con tensión AC, a niveles más altos de tensión que en una prueba decampo.

Cuando se dice que las pruebas VLF son destructivas, se tiene razón solo cuando la muestra presenta defectos que necesitan ser reparados, ya que la finalidad de la prueba es forzar a la muestra a que presente una ruptura durante la prueba y no durante su servicio, que es precisamente lo que debe ocurrir tarde o temprano en presencia de un defecto. Por otro lado y para hablar correctamente, todas las pruebas de tensión resistiva, tanto en DC / AC como en VLF; son consideradas pruebas del tipo destructivas por la IEEE, no por el hecho de que su simple aplicación intente destruir a la muestra bajo ensayo, sino porque las conclusiones de estos ensayos estarán siempre referidas a términos de "pasa / no pasa" (soporta ó no soporta), se daña o no se daña, existiendo por lo tanto la posibilidad, que la muestra por su condición defectuosa, falle durante la prueba.

2.2.12. Pruebas Tan δ .

Es la abreviación de tangente delta y representa una medida de las pérdidas eléctricas en un aislamiento. Un sistema de aislamiento se puede considerar como un condensador real, el cual representa la capacitancia propia del elemento al que pertenezca ya sea un cable, una máquina rotativa, un transformador etc., siendo esta capacitancia prácticamente constante en el tiempo, pero tiene otra componente resistiva que depende del estado del aislamiento.

Estas pruebas también se conocen como factor de disipación (DF), en algunos casos como factor de potencia y representan las pérdidas por calentamiento del aislamiento. El nivel de disipación puede incrementarse por varios factores:

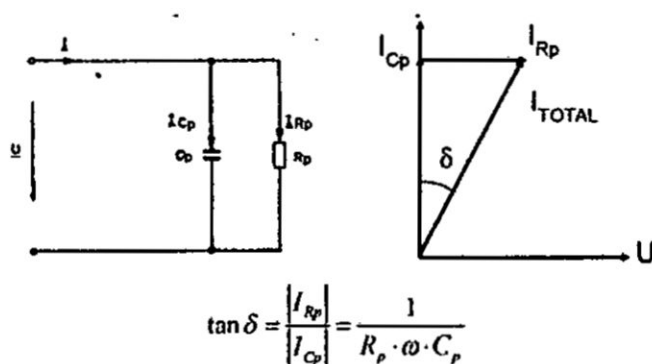
- ✓ Contenido de humedad en el aislamiento.
- ✓ Envejecimiento del aislamiento.
- ✓ Por presencia de descargas parciales.

Un aislamiento perfecto no presenta pérdidas, pero los aislamientos perfectos no existen, o al menos no para aplicaciones industriales. En un condensador ideal el ángulo de desfase entre la tensión y corriente es de 90° . A consecuencia de las pérdidas en un sistema real representado por una resistencia, el ángulo de fase varía un ángulo δ con respecto a 90° .

El factor de disipación (DF) se define como la tangente de este ángulo δ (la tangente del ángulo de pérdidas), de acá su nombre alternativo $\tan \delta$, y este es el nombre adoptado en este trabajo de investigación.

La medida de la $\tan \delta$ es una herramienta de diagnóstico importante para determinar la calidad de un aislamiento. Un aislamiento eléctrico puede ser representado por un modelo en paralelo (ver imagen 5), el cual será analizado a continuación.

Imagen 5. Circuito equivalente paralelo de un aislamiento



Fuente: Entrenamiento CPC100 CP TD1 - Omicron

Del modelo paralelo se puede obtener una expresión matemática, al ver que la relación entre la corriente que circula por la resistencia y la corriente que circula por el condensador ideal.

La mejor manera de representar las pérdidas de conducción que dan lugar a corrientes de fuga de corriente continua es con un circuito equivalente en paralelo.

El ángulo δ puede ser muy pequeño en caso de un aislamiento en buen estado, del orden de 10^{-5} , lo que equivale a mirar un reloj de pulsera desde una distancia de 2,5 km. Por eso resulta útil medir el DF a varias frecuencias. Existen equipos que realizan un barrido en frecuencia para estas mediciones, pero abordar este tema no es parte de esta investigación.

Los resultados que la prueba de tangente delta arroja, nos da un diagnóstico de nuestro objeto de prueba, el cual podría presentar:

- Envejecimiento y descomposición del aislamiento
- Humedad
- Aislamiento resquebrajado (grietas)
- Descargas Parciales
- Ruptura parcial del aislamiento entre capas

2.2.13. Prueba de Rigidez Dieléctrica (Megado)

Antes de conectar una instalación nueva a la tensión de la red se deberá efectuar la medida de resistencia de aislamiento para comprobar el correcto estado de la misma. Igual que las máquinas eléctricas los cables están sometidos a sobrecargas, cortocircuitos y defectos a tierra. Para saber si después de estas incidencias el cable se encuentra en condiciones óptimas de servicio se pueden realizar dos pruebas; medida de la resistencia de aislamiento y medida de la continuidad de cable.

2.2.14. Aplicación de Pruebas Hipot.

En esta parte se profundizará en las temáticas acerca de las pruebas Hipot DC y VLF. Ahora se abordarán uno a uno los elementos bajo prueba que son objeto de la presente investigación.

2.2.15. Pruebas Hipot a cables de potencia

Algunas veces se confunde la prueba de instalación con la prueba de aceptación, si bien ambas son hechas antes de que el elemento sea puesto en marcha, en el caso de los cables de potencia, las pruebas de aceptación se realizan antes de ser tendido el cable en los ductos o canaletas diseñados para este fin y las pruebas de instalación son realizadas una vez tendido el cable, colocados los pre moldeados y sus demás accesorios. Lo que recomienda este trabajo es que la prueba de aceptación sea una prueba de resistencia de aislamiento (conocidas como Megger) y las pruebas de instalación sean con tensiones superiores a la nominal, para no someter dos veces el elemento a los esfuerzos dieléctricos de una prueba Hipot.

2.2.16. Aplicación de pruebas tan δ .

Como se ha indicado a lo largo de este trabajo, entre las pruebas de diagnóstico se resaltan las pruebas Tan δ , las cuales al ser incorporadas en un programa de mantenimiento permiten estimar la vida útil de los equipos eléctricos, disminuyendo la presencia de fallas y evitando inversiones innecesarias. A continuación, abordaremos estas pruebas dirigidas específicamente a los elementos bajo prueba objeto de nuestro trabajo de grado.

2.2.17. Pruebas Tan δ a cables de potencia.

En el caso de los aislamientos para cables eléctricos de tipo polimérico, el principal objetivo es detectar el desarrollo de la arborescencia acuosa (wáter trees), para evitar la instalación de un cable en malas condiciones y poner en servicio un sistema eléctrico con un cable degradado.

¿Qué ventajas y desventajas tiene realizar una prueba Tan δ ?

Algunas de las ventajas y desventajas de realizar pruebas de Tan δ a cables eléctricos de MT serán enunciadas a continuación:

Ventajas:

- ✓ La prueba es un ensayo no destructivo de diagnóstico.
- ✓ Los cables son probados con una tensión alterna igual a la tensión de fase a tierra en la que operan.
- ✓ El sistema de aislamiento de cables se puede supervisar y desarrollar un historial, se puede planificar el remplazo del cable y la prioridad de rejuvenecimiento.
- ✓ Los equipos de prueba son transportables, y los requisitos de energía son menores comparables a los equipos estándar de localización de fallas en cables.

Desventajas:

- ✓ La prueba funciona mejor después de ser realizada al menos dos veces para poder realizar una comparación entre los datos obtenidos al pasar del tiempo.

2.2.18. Aplicación de prueba de Rigidez Dieléctrica

Para la medida de la resistencia de aislamiento antiguamente se utilizaba como fórmula práctica; por cada kilovoltio de tensión de red corresponde $1\text{M}\Omega$ de resistencia de aislamiento, es decir, si la tensión de la red era 380 v para que la resistencia de aislamiento fuese correcta debía dar $0,38\text{M}\Omega$. Esta fórmula se suele aplicar para cables subterráneos de Media Tensión o algún fabricante lo propone para utilizarlo en sus máquinas o cables, pero el valor correcto que debe arrojar está contemplado en la norma ANSI-NETA-MTS 2011.

2.2.19. Pruebas de Rigidez Dieléctrica a cables de potencia.

Comprobación de Cable Seccionado

En un extremo del cable se puentean los tres cables, en el otro extremo con el Megger se hacen parejas de cables, si están bien, en todas las combinaciones el Megger marcará Ω , y si algún cable se encontrase cortado el Megger marcaría ∞ .

Comprobación de Cable Cortocircuitado

En este caso se mide con el Megger haciendo parejas de cables, si los cables se encuentran en perfecto estado todas las combinaciones deben marcar ∞ , si alguna pareja marcara un valor X ohmios o 0Ω es que esa pareja de cables se encuentra derivado entre ellos.

Comprobación entre Conductores y Tierra

En un extremo, el positivo del Megger se conecta a la armadura y a todos los conductores excepto uno que se conectará el negativo, si existiese defecto marcará una baja resistencia, se repite la prueba con el resto de conductores, si están correctamente marcarán una elevada resistencia.

La segunda forma se trata de hacerlo entre la armadura y conductor, si existiese poca resistencia es que el cable está derivado a tierra, si estuviese bien marcará el Megger una elevada resistencia de aislamiento.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Glosario

Falla: Es una alteración o daño permanente o temporal en cualquier parte de un equipo, que varía sus condiciones normales de operación y que generalmente causa un disturbio.

Media Tensión: Nivel de tensión eléctrica comprendido entre 1kV hasta 60kV.

Aislamiento: Un material que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente no permite sus desplazamientos y, por ende, el paso de la corriente eléctrica, cuando se aplica una diferencia de tensión entre dos puntos del mismo.

Perdidas Eléctricas: Defecto en el aislamiento del cable en el cual la corriente que circula por el conductor sale hacia el exterior atravesando las capas de aislamiento del mismo, produciendo una falla a tierra.

Diagnóstico: Es el proceso de reconocimiento, análisis y evaluación de

una serie de resultados para determinar sus tendencias, solucionar un problema o remediar una falla.

Mantenimiento: Procedimiento que tiene como objetivo mantener, restaurar o reemplazar equipos de un sistema eléctrico para la continuidad de su funcionamiento.

Metodología: Una serie de métodos y técnicas que se aplican sistemáticamente para alcanzar un resultado teóricamente válido.

Resistencia de Aislamiento: Esfuerzo máximo al que puede someterse un material eléctrico sin provocar perforación alguna; expresado Ohmios. También llamada resistencia dieléctrica.

Extrusión: El proceso de aplicación del material de aislamiento sobre un conductor

Dieléctrico: Material mal conductor de electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico, y además si es sometido a un campo eléctrico externo, puede establecerse en él un campo eléctrico interno.

Rigidez dieléctrica: Valor máximo de Intensidad de Campo que puede soportar el dieléctrico, antes de ser perforado y perder sus propiedades de aislante y pasar a ser un conductor.

Puesta en Servicio: Conexión y energización de un sistema tras haber cumplido con los requerimientos solicitados por la concesionaria y/o cliente.

Prueba de Soporte: Prueba que solo nos da la certeza de que el objeto sometido a prueba está en óptimas condiciones para su instalación y/o para su funcionamiento o no pasa la prueba.

Prueba de diagnóstico: Prueba utilizada para reconocimiento, análisis y evaluación de resultados con el fin de determinar la condición de un sistema de aislamiento, si es la normalmente esperada, si hay indicios de la ocurrencia de una falla y si esta ya ocurrió sirve para determinar el sector fallado y los componentes afectados.

Prueba de Instalación: Prueba Realizada una vez tendido el cable, colocados los pre moldeados y accesorios

Prueba de Aceptación: Se realizan a todo equipo nuevo y reparado para verificar que no ha sufrido algún desperfecto en el traslado, que cumple con las especificaciones técnicas solicitadas.

Semiconductor: Es un material aislante que, cuando se le añaden ciertas sustancias o en un determinado contexto, se vuelve conductor. Esto quiere decir que, de acuerdo a determinados factores, el semiconductor actúa a modo de aislante o como conductor.

Intersticios: Hendiduras o distancias pequeñas que hay entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.

Campo Eléctrico: Es una propiedad del espacio mediante la cual se propaga la interacción entre cargas. Una región del espacio donde existe una perturbación tal que a cada punto de dicha región le podemos asignar una magnitud vectorial, llamada intensidad de campo eléctrico.

Arborescencia: Es un proceso destructivo progresivo e irreversible debido a descargas parciales, que avanza dentro o en la superficie de un dieléctrico cuando se lo somete a un prolongado estrés eléctrico de alta tensión. El nombre «arborescencia» se debe a que sigue un patrón semejante a las ramificaciones de un árbol.

Capacitancia: Es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial eléctrico dada.

Impedancia: Es la medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica un voltaje. La impedancia extiende el concepto de resistencia a los circuitos de corriente alterna, y posee tanto en magnitud y fase, a diferencia de la resistencia, que sólo tiene magnitud.

Diferencia de Potencial: Tensión entre dos puntos. Es la responsable de que circule corriente por el conductor, para que funcionen los receptores a los que está conectada la línea.

Equipotencial: Es el conjunto de puntos que tienen el mismo potencial.

Coulomb: Unidad de carga eléctrica del Sistema Internacional, de símbolo C, que equivale a la cantidad de electricidad que transporta una corriente de intensidad de 1 ampere en 1 segundo.

Capacitor: Dispositivo que almacena carga eléctrica y está formado (en su forma más sencilla) por dos placas metálicas separadas por una lámina no conductora o dieléctrico. Estos dispositivos se utilizan, entre otras cosas, para reducir caídas de voltaje en el sistema de distribución.

Corriente de Fuga: Defecto en el aislamiento o conductividad de cualquier componente o mecanismo de un circuito eléctrico, que provoca la interrupción de la corriente.

Sobrecarga: Diferencia entre la potencia eléctrica que se suministra y la potencia nominal, cuando la primera es superior a la nominal.

Cortocircuito: Conexión accidental o voluntaria de dos bornes a diferentes potenciales. Lo que provoca un aumento de la intensidad de corriente que pasa por ese punto, pudiendo generar un incendio o daño a la instalación eléctrica.

Continuidad: Es el suministro ininterrumpido del servicio de energía a los usuarios, de acuerdo a las normas y reglamentos aplicables.

Polarización: Se entiende por polarización a la modificación de la distribución de carga que ocurre en un material aislador por efecto de un campo eléctrico, en otras palabras, la presencia de un campo eléctrico suficientemente fuerte produce deformación en las moléculas de los materiales aislantes.

Electrodo: Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

Absorción dieléctrica: Esa propiedad de un dieléctrico imperfecto según la cual existe una acumulación de cargas eléctricas dentro del cuerpo del material cuando se coloca en un campo eléctrico.

2.3.2. Abreviaturas utilizadas

HIPOT: High Potencial

PVC: Material termoplástico obtenido del cloruro de vinilo, cuyo residuo presenta problemas de contaminación.

DC: Corriente Continua

AC: Corriente Alterna.

EPR: Hule Etileno Propileno.

IEEE: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

XLPE: Polietileno reticulado.

VLf: Very Low Frequency.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional.

PE: Polietileno.

ANSI: American National Standart.

NETA: InterNational Electrical Association.

ATS: Accpetance Testing Specifications.

NTP: Norma técnica peruana.

CNE: Código Nacional de Electricidad

NA2XSY: Cable de energía con conductor de aluminio concéntrico compactado de sección circular, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta externa de cloruro de polivinilo

N2XSY: Cable de energía con conductor de cobre electrolítico recocido, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta externa de cloruro de polivinilo

3. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la Investigación

Relacionando las variables más importantes que intervienen en el presente problema de objeto de estudio, que conllevarán a la explicación, demostración de la formulada hipótesis, se han identificado las siguientes variables:

3.1.1. Variable Dependiente:

- Medición del estado del aislamiento en cables de energía.

3.1.2. Variable Independiente:

- Tecnología de equipos de prueba de aislamiento
- Tensión de operación del sistema
- Condiciones ambientales

3.2. Operacionalización de variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis, la operacionalizamos obteniéndose las variables y los indicadores que a continuación se indican:

Variable X = Medición del estado del aislamiento en cables de energía

Variable Y₁ = Tecnología de equipos de prueba de aislamiento

Variable Y₂ = Tensión de operación del sistema

Variable Y₃ = Condiciones ambientales

3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas

3.3.1. Hipótesis General

Mediante la elaboración de una metodología lograremos una correcta realización de pruebas en campo, interpretación y evaluación de resultados, teniendo en cuenta para la correcta aplicación de las mismas, normativa nacional e internacional aplicables a cables de energía.

3.3.2. Hipótesis Secundarias

HS1: A través de un procedimiento bien estructurado y elaborado, basado en normativa aplicable a cables de energía, el procedimiento de pruebas en campo arrojará valores reales y exactos para su posterior evaluación.

HS2: Mediante la evaluación de los resultados mostrados en los equipos de prueba, se brindará una información correcta con relación al estado del aislamiento.

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo descriptivo explicativo, ya que se recolecta datos del problema a investigar, se miden y evalúan para tener una descripción clara del procedimiento de pruebas y tiene como objetivo responder a las causas de los eventos, sucesos o fenómenos físicos.

4.2. Diseño de la Investigación

El enfoque de nuestra investigación es Cuantitativo, ya que se aplica la investigación de las Ciencias Físico-Naturales, estudia y analiza la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición.

Permite un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar ensayos y obtener explicaciones contrastadas a partir de hipótesis y normativa. Sus instrumentos suelen recoger datos cuantitativos los cuales también incluyen la medición sistemática, y se emplea el análisis estadístico como característica resaltante.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Las Unidades de pruebas son utilizadas en puestas en servicio y mantenimiento de cables y equipos de maniobra, protección y medición que conforman un patio de llaves instalados en Empresas de Distribución y grandes complejos Industriales, mineros, comerciales, entre otros dentro del territorio peruano.

4.3.2. Muestra

Nuestras muestras serán:

- ✓ Subestación Eléctrica Principal del Complejo Cementero UNACEM, ubicado en el distrito de La Unión – Tarma, donde se realizaron las pruebas de Tangente Delta y Megado a Cables de Aislamiento termoplástico.
- ✓ Subestación Eléctrica Principal de la Refinería La Pampilla – Repsol, ubicada en el distrito de Ventanilla, provincia del Callao, donde se realizaron pruebas de Alto potencial en VLF a cables de aislamiento termoplástico.
- ✓ Reforma para Cliente “Inversiones Larco II - Miraflores”, donde se realizó la Prueba Hipot DC a cables XLPE de 400mm².
- ✓ Sistema de Utilización en 22.9kV (Operación Inicial 10kV), Operaciones Funerarias Jardines de la Paz La Molina, donde se realizó prueba de Megado de Cables NA2XSY 50mm² XLPE.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.4.1. Técnicas de Recolección de datos

Se proyecta utilizar inicialmente, técnicas documentales de recolección de datos basándonos en la búsqueda de información bibliográfica de artículos, catálogos, manuales recomendaciones del fabricante relacionados a cables eléctricos, publicados físicamente y en bibliotecas virtuales en línea.

Se proyecta utilizar además las técnicas de capacitaciones y asistencia a conferencias. Para ambas se tendrá en cuenta las visitas a algunas empresas que utilizan este tipo de equipos y realizan este tipo de pruebas, proyectando registrar visualmente y de manera escrita, la información concerniente a cables eléctricos y maletas de prueba, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes, la misma que será proporcionada por los encargados de la operación y mantenimiento de este tipo de equipos, teniéndose en cuenta las opiniones, actitudes o sugerencias de los ingenieros de prueba o personal capacitado en el tema. Una vez afianzados nuestros conocimientos, haremos uso de los equipos de prueba para los ensayos de Resistencia de Aislamiento, Hipot DC, Hipot VLF y Tangente Delta.

4.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos

KPG 36kV VLF - Kilovolt

Para la realización de la Prueba VLF, el instrumento o equipo de medición que se utilizó para la presente investigación es el KPG 36kV VLF de la marca Kilovolt. Este equipo es utilizado para generar altos voltajes, para pruebas de aislamiento de cables, instalaciones eléctricas o partes de equipos eléctricos mediante la medida de corriente y tensión, lo cual significa una integración de dispositivos de medida, es así que la resistencia de aislamiento del equipo bajo prueba puede ser medida.

El KPG está conformado por una unidad de operación y una unidad de alto voltaje, y gracias a que posee pequeñas dimensiones y un relativo bajo peso es fácilmente transportable y puede ser usado directamente en el equipo que va ser sometido a prueba.

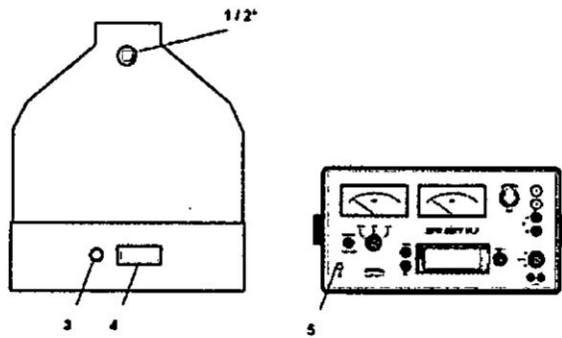
El uso de este instrumento es el indicado para realizar pruebas en cables de Media Tensión del tipo extruido (XLPE, EPR, etc.), y está fabricado cumpliendo los requerimientos de la norma europea DIN VDE 0276-621 para pruebas de voltaje a través del aislamiento. Usado tanto para pruebas Hipot DC, tanto como para pruebas Hipot VLF, cada uno de ellos posee un procedimiento diferente ya que hay normativa diferente para estas dos pruebas de soporte.

Para la operación del equipo, la unidad de operación y la unidad de alta tensión deben estar apropiadamente aterrizadas. La unidad esta provista con un circuito interno de seguridad a tierra, el cual permite a la unidad operar solamente si existe una suficientemente baja resistencia en la conexión entre la tierra de protección y la tierra local.

En la unidad de Alto voltaje, la prueba de voltaje es llevada a cabo por la acción de un transformador de alta tensión, un rectificador y un interruptor de alto voltaje. Este voltaje puede incluso ser alterno de baja frecuencia (0.1Hz) o voltaje directo con polaridad positiva o negativa.

Una vez completada la prueba, el equipamiento sometido a prueba es además automáticamente descargado a través del dispositivo de descarga, el cual además viene integrado en la unidad de alto voltaje.

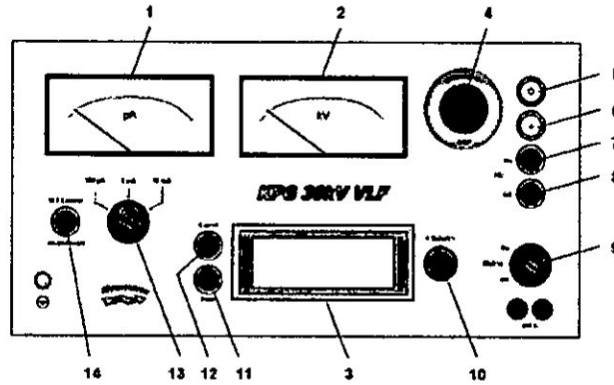
Imagen 6. Instrumento de prueba KPG 36kV VLF



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- (1) Socket para conexión de Alto Voltaje
- (2) Pantalla de Nivel de Aceite
- (3) Terminal de tierra de la unidad de Alto Voltaje
- (4) Socket para cable de conexión entre Unidad de Operación y Unidad de Alto Voltaje
- (5) Terminal de tierra para unidad de Operación (Tierra de protección)

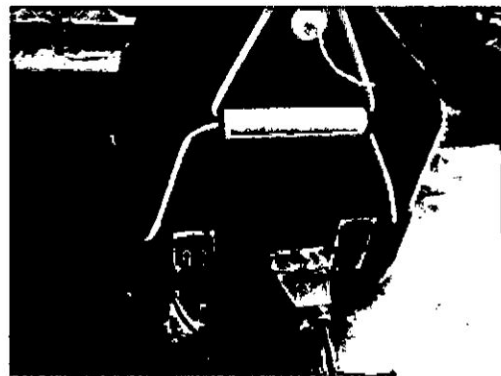
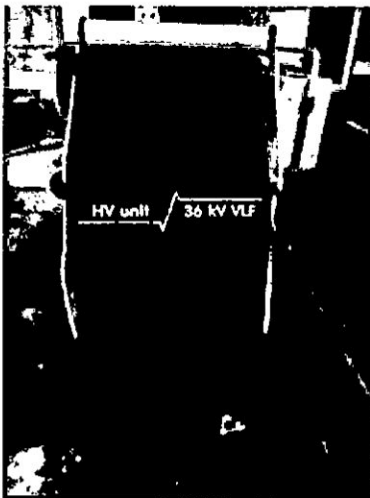
Imagen 7. Elementos de Control e Indicadores



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

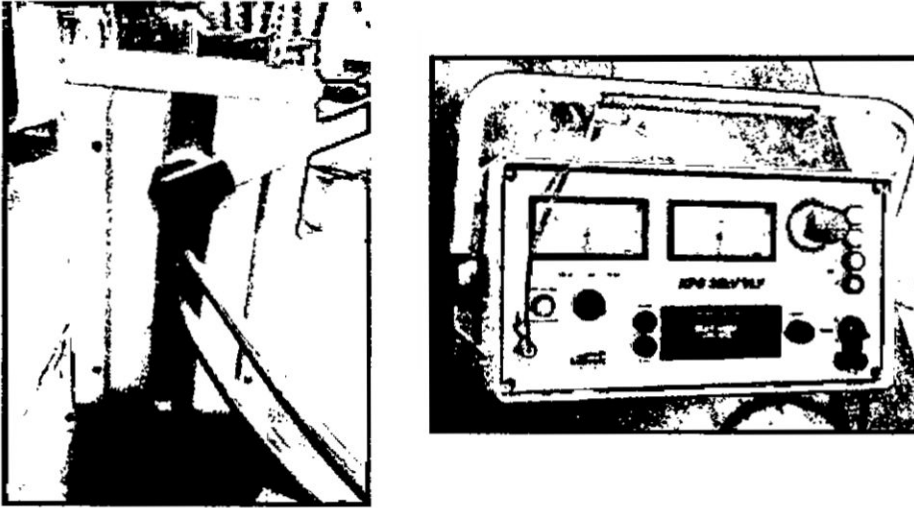
- (1) Amperímetro
- (2) Voltímetro
- (3) Display
- (4) Botón de parada de emergencia
- (5) Lámpara señalizadora, Encendido (Blanco)
- (6) Lámpara señalizadora, conexión a tierra (Amarillo)
- (7) Pulsador Lumínico, HV Encendido (Verde)
- (8) Pulsador Lumínico, HV Apagado (Rojo)
- (9) Interruptor
- (10) Selector para selección de funciones
- (11) "Enter" botón para control del menú
- (12) "Cancel" botón para control del menú
- (13) Selector de Rango para el amperímetro
- (14) Botón medición de corriente VLF

Imagen 8. Unidad de Alta Tensión



Fuente: Propia - Laboratorio de Pruebas I&T Electric.

Imagen 9. Unidad de Operación

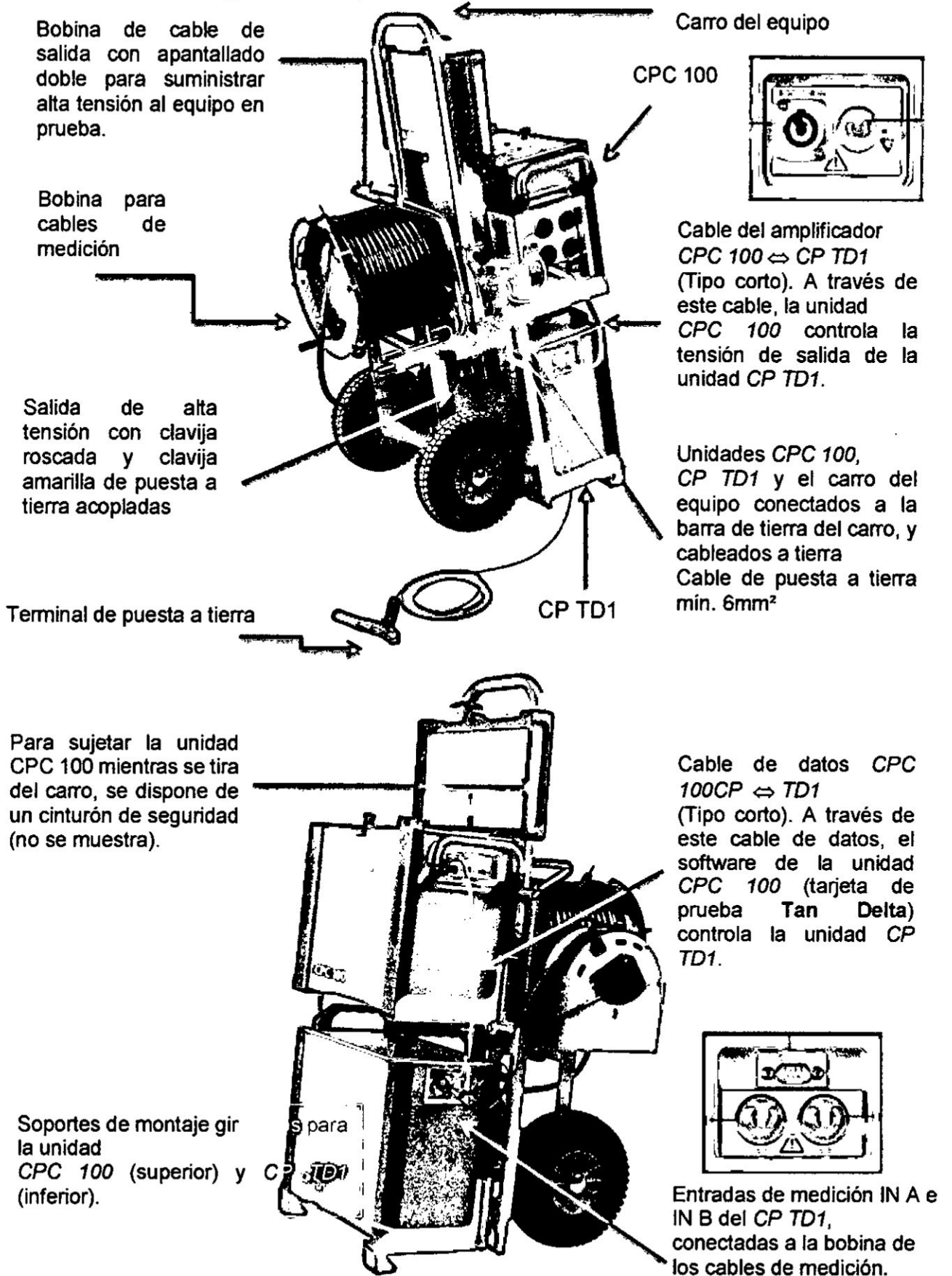


Fuente: Propia - Laboratorio de Pruebas I&T Electric.

CPC 100 + TD1 – Omicron

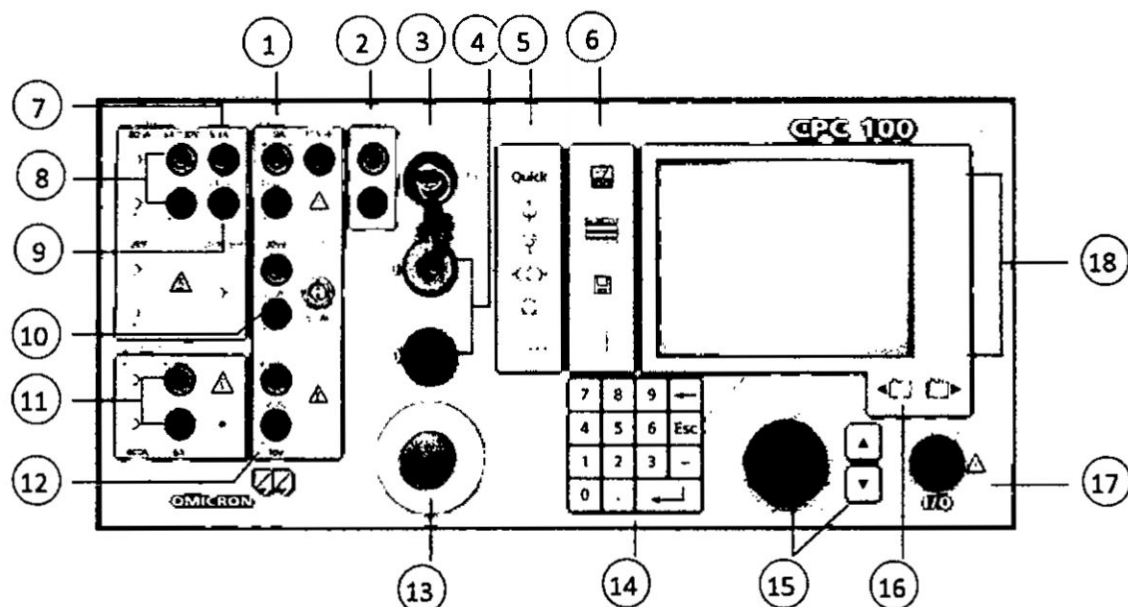
La unidad CPC 100, conjuntamente con sus accesorios o como unidad autónoma, es una unidad de prueba primaria polivalente para puesta en servicio y mantenimiento de equipos de subestación. El CP TD1 es un sistema de pruebas opcional de alta precisión para pruebas de aislamiento en planta de sistemas de alta tensión como transformadores de potencia y medición, interruptores de potencia, condensadores y aisladores. Con el dispositivo añadido CP TD1, la unidad CPC 100 aumenta su gama de posibles aplicaciones, incorporando las mediciones de alta tensión. El amplificador interno de potencia en modo conmutado permite medir con distintas frecuencias sin interferencias con la frecuencia de la red. Los procedimientos de prueba automáticos reducen al mínimo el tiempo de prueba. El CP TD1 incorpora su propia tarjeta de prueba, llamada Tan Delta, que proporciona mediciones de gran precisión de la capacitancia C_x y del factor de disipación $\tan\delta$ (DF) o del factor de potencia $\cos\phi$ (PF), respectivamente. Tanto el factor de disipación como el factor de potencia suministran información sobre posibles pérdidas en el material aislante, que aumentan con el envejecimiento y la humedad. Una alteración del C_x es un indicador que advierte de posibles roturas parciales entre las capas de una borne o un condensador.





Imagen 10. Componentes Funcionales CPC 100+TD1



Fuente: Manual Usuario CPC 100 + TD1 Omicron Electronics

Imagen 11. Componentes Funcionales de la CPC 100

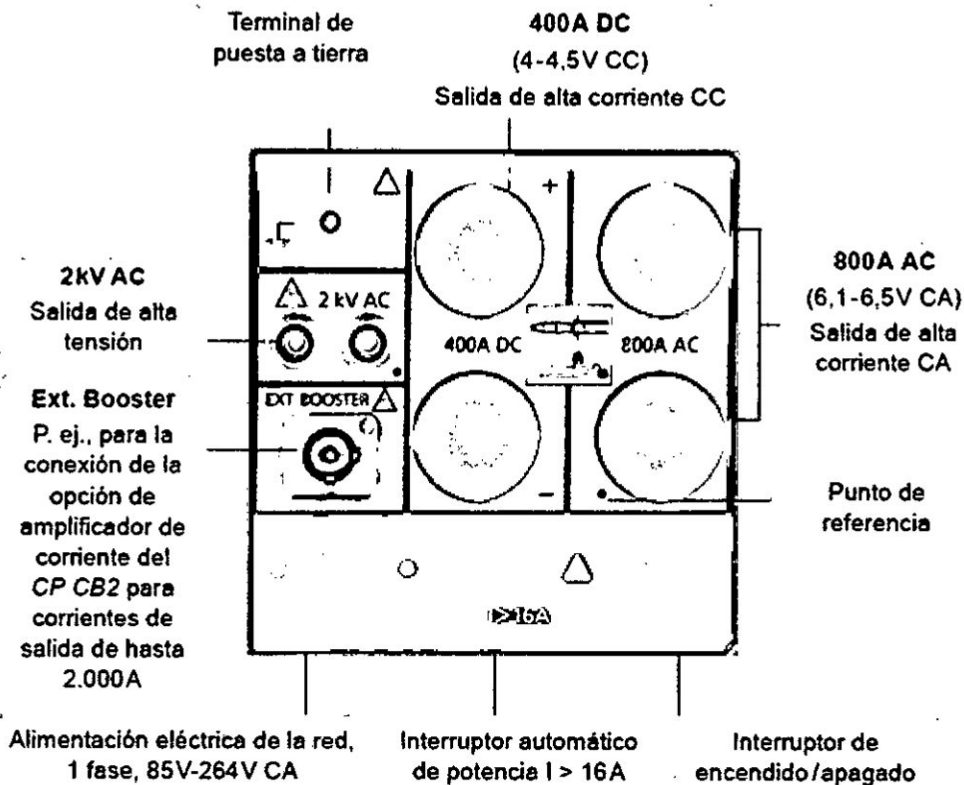


- ENTRADA IAC/DC**
1. Protegida con un fusible de acción muy rápida de 10A.
- BIN IN**
2. Entrada binaria de trigger, contacto seco o húmedo.
- Bloqueo mediante llave de seguridad**
3. Bloquea el funcionamiento del panel frontal.
- Luces de aviso I / 0**
4. Indican un funcionamiento seguro, es decir, inexistencia de tensión en las salidas de la unidad **CPC 100** (piloto verde "0" encendido), funcionamiento con niveles de tensión y/o corriente potencialmente peligrosos en las salidas de la unidad **CPC 100** (piloto rojo "I" encendido o parpadeando).
- Adición de tarjetas de prueba**
- Se recomienda no usar más de 15 tarjetas de prueba o 50 resultados de prueba en un solo documento de prueba.
5.
 -  **Vista de la tarjeta de prueba:** vista para configurar tarjetas de prueba, elaborar documentos de prueba, introducir ajustes de prueba, definir tarjetas de prueba o el documento de prueba por defecto, iniciar pruebas, etc.
 -  **Vista general del documento de prueba:** ofrece una vista general mejorada de todas las tarjetas de prueba del documento de prueba activo en ese momento. Define el documento de prueba por defecto.
 -  **Operaciones de archivo:** permite guardar, cargar, borrar, copiar y cambiar el nombre de documentos de prueba.
 -  **Opciones:** permite especificar parámetros generales.
6. Fusible 6,3A T (fusible de acción lenta de alambre de 5x20 mm) Para 3A CA, 6A CA, 130V CA y 6A CC.
- AC OUTPUT**
8. Salida de 6A, 3A o 130V.
 9. Fusible 3,15A (fusible de acción lenta de alambre de 5x20 mm) Para 3A CA y 130V CA.

- 10. **Entrada V1 AC** **Entrada V2 AC**
Entrada de 300V CA. Entrada de 3V CA.
- 11. **DC OUTPUT**
Salida de 6A CC (protegida mediante un fusible de 6A).
- 12. **ENTRADA VDC**
Entrada de 10V CC o resistencia de 2 hilos.
- 13. **Botón de parada de emergencia**
Desconecta inmediatamente todas las salidas
(podría saturar el transformador).
- 14. **Teclado**
- 15. **Elementos de navegación**
- 16. **Selector de ficha**
Permite cambiar entre las distintas tarjetas de prueba individual
de un documento de prueba.
- 17. **I/O**
Se usa para iniciar o detener una prueba.
- 18. **Teclas de menú dependientes del contexto**
Invocan directamente comandos específicos asociados al control
seleccionado en ese momento de la tarjeta y vista de prueba.

Fuente: Manual Usuario CPC 100

Imagen 12. Salidas de Alta tensión y corriente



Fuente: Manual Usuario CPC 100

MD-10KVe - Megabrass Insulations tester

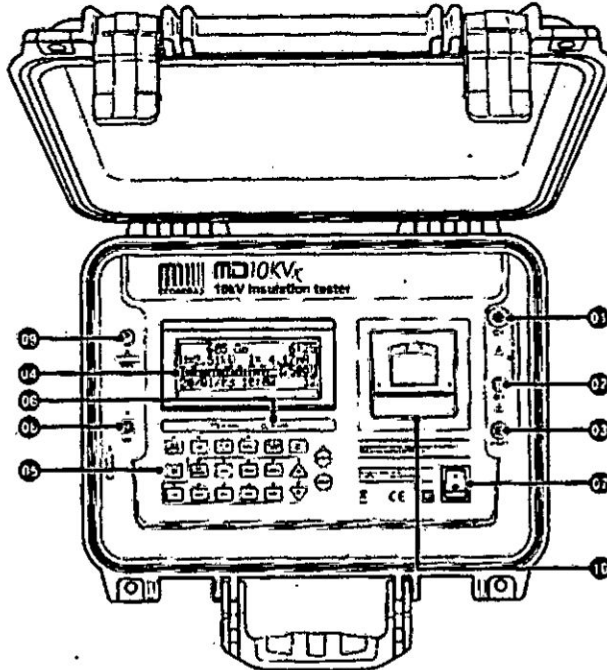
El Megohmetro digital modelo MD-10KVx es uno de los equipos más avanzados de la línea MEGABRAS de analizadores de aislación y uno de los más completos y sofisticados del mercado internacional. Emplea una tecnología de probada eficacia, que proporciona mediciones seguras, confiables y precisas de resistencias de aislamiento hasta $10T\Omega$ con 4 tensiones de prueba preseleccionadas: 500V - 1kV - 5kV - 10kV. Otras tensiones de prueba pueden ser seleccionadas en pasos de 25V, 100V o 500V.

El equipo está controlado por un microprocesador, lo que facilita su operación y permite la introducción de funciones avanzadas tales como: Selección automática del rango, Memoria para hasta 4000 valores medidos, Voltímetro CA/CC, Medición automática de los Índices de Polarización y de Absorción Dieléctrica, Medición de la Corriente de Fuga y de la Capacitancia, "TIMER" para programar el tiempo del ensayo de resistencia, "LIMITE" que permite realizar ensayos del tipo "Pasa / No pasa" con límite programable. Ensayo de escalones de tensión.

La interface USB permite la comunicación del equipo con una computadora para transmitir los datos registrados. El software MegaLogg2 analiza los resultados y los presenta por medio de gráficos y tablas, generando automáticamente el protocolo de ensayo.

La impresora incorporada registra en papel los valores a cada 15 segundos, como documento de las mediciones realizadas. Por sus características constructivas este instrumento es extremadamente robusto, con excelente desempeño tanto en laboratorio como en los trabajos de campo, en condiciones ambientales rigurosas, típicas de las regiones tropicales

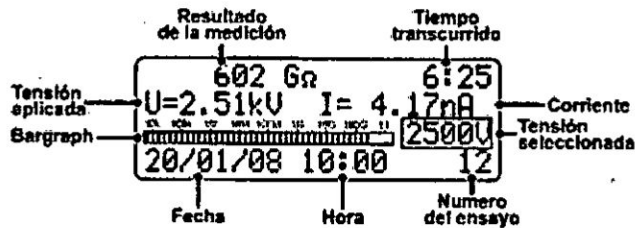
Imagen 13. Instrumento de prueba MD10kVx



- 01 Borne de salida de tensión (-V)
- 02 Borne de referencia cero (+R)
- 03 Borne Guard (G)
- 04 Display
- 05 Teclado
- 06 Led de alta tensión
- 07 Liave de encendido
- 08 Puerta de comunicación USB
- 09 Entrada de alimentación
- 10 Impresora
- 11 Control de alimentación del papel

Fuente: Guía de usuario MD-10KVx Megohmetro electrónico

Imagen 14. Display de Equipo de Prueba MD10kVx



Fuente: Guía de usuario MD-10KVx Megohmetro electrónico

En el display alfanumérico LCS son exhibidos los resultados de las mediciones en la unidad correspondiente, el tiempo transcurrido desde el inicio de la medición, la tensión de ensayos seleccionada, la indicación analógica por bargraph y diversos mensajes al operador.

Imagen 15. Megohmetro electrónico MD 10kV



Fuente: Propia – Sistema de Utilización 22.9kV – Jardines de la Paz

Portable DC Hipot 40-200 kV - Model 475-20 - Phenix Technologies

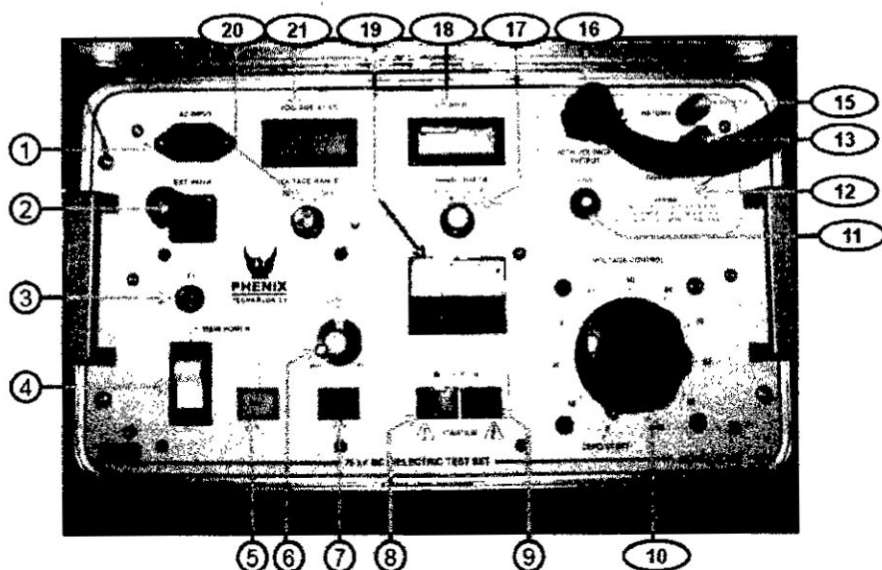
La línea DC Hipot ofrecida por Phenix Technologies está construida de forma robusta y es adecuada para campo o uso de laboratorio. Diseñado para probar interruptores eléctricos, cables, motores, generadores y protección equipo, el conjunto de prueba de DC es popular porque el equipo es más compacto y más ligero en peso que equipos de CA comparables.

Imagen 16. PORTABLE DC HIPOTS 40-200 kV - MODEL 475-20



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

Imagen 17. Elementos de Control e Indicadores



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

1. Cable de Alimentación
2. Mecanismo de seguridad externo.
3. Fusible control de potencia.
4. Switch principal: I para conectar y 0 para desconectar.
5. MAIN POWER, lámpara encendida indicará que está disponible para las pruebas.
6. Ajuste del disparo de corriente, el dial se ajusta del 1 al 11 que corresponde aproximadamente del 10 al 110% del rango seleccionado de corriente de salida. La lámpara CURRENT TRIP/RESET se iluminará y el alto voltaje se apagará cuando la corriente de salida exceda al valor de corriente configurado, causando un disparo. Este circuito actúa como protección por corto circuito y protección por sobrecarga a la salida de altos voltajes. Para reactivar el alto voltaje el dial de VOLTAGE CONTROL debe ser llevado a cero y pulsar RESET para limpiar la corriente de disparo de circuito.
7. La lámpara RESET se iluminará para mostrar la corriente de disparo. El alto voltaje del circuito se desactivará. Momentáneamente pulsar el botón RESET para extinguir la lámpara RESET que permitirá volver aplicar la alta tensión, antes se debe retornar a cero la tensión.

8. HIGH VOLTAGE ON, pulsar y la lámpara de alta tensión HV ON se iluminará.

Condiciones requeridas antes de activar la lámpara:

- El dial VOLTAGE CONTROL debe estar en cero.
- EXT INTLK debe estar en cero.
- El disparo de corriente debe estar en cero.

9. HIGH VOLTAGE OFF, Pulse el HV OFF el voltaje de salida. Bajo normales circunstancias el alto voltaje debería decaer a cero y el voltaje debería decaer a cero antes de pulsar HV OFF.

Precaución: Si el objeto a aprobar es muy capacitivo el voltaje podría retener en corto tiempo después que el alto voltaje se apague, mientras que el circuito interno descargue la carga a tierra.

La lámpara HV OFF debé ser iluminada antes HV ON debe ser activada. Condiciones requeridas para la iluminación.

External Interlock el lazo debe ser cerrado.

OVERCURRENT TRIP/RESET, el circuito no debe ser disparado. (Pulse RESET si el circuito esta disparado).

10. Dial de control de voltaje, gire en dirección a las agujas de reloj para incrementar el voltaje de salida. Bajo normales circunstancias, el control de voltaje decae a cero y el voltímetro debe indicar cero antes de pulsar HV OFF.
11. Interruptor por sobrecarga térmica, que protege el lado de alto voltaje del transformador. Si el interruptor dispara, pulse el HV OFF y retorne el dial CONTROL VOLTAGE a cero antes de resetear.
12. Terminal de guarda, conecte el terminal de tierra (#13) con el clip y el conector de guardia, para el modo de operación guarda. Conecte las corrientes que se necesiten para evitar el amperímetro en este punto. El lado bajo potencial de la muestra debe ser aislada de la tierra para utilizar este modo, y estará conectado en la posición RETURN.
13. Terminal de tierra GND. Conectar a las instalaciones de tierra.
14. Clip de tierra, debe ser siempre conectado de la posición GROUND a la posición RETURN o de la posición GROUND a la posición GUARD. No operar el equipo con el CLIP desconectado.

15. Terminal RETURN (RTN): conectar el terminal GROUND (#13) con el clip y con el conector RETURN para una operación normal. Siempre conecte este terminal el lado de bajo potencial del objeto de prueba. Esto es para la medición de corriente. Este modo debe ser usado si el lado de bajo potencial del objeto de prueba esta aterrado o tiene una tierra de referencia.
16. Línea de salida de Alta tensión. Esta línea debe estar siempre conectada en el lado de alta tensión.
17. Rango selector del amperímetro, Girar al rango seleccionado. Con objetos de prueba que tenga alta capacitancia el selector normalmente debe ser situado en el rango más alto de corriente de lo contrario en el rango más bajo de corriente.
18. Indicador análogo de corriente. Muestra y mide la corriente del 0 al 100% y mostrando las condiciones de carga de la capacitancia y las variaciones de corriente, condiciones que no son muy fácilmente medibles por un medidor digital (corriente de fuga).
19. Amperímetro, desplaza la corriente de salida del alto voltaje (#16) y el cable de retorno dependiendo del modo de medición
20. Selector del rango de voltaje, Gire y configure al voltaje requerido.
21. Voltímetro mostrará en kilo volts.

4.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

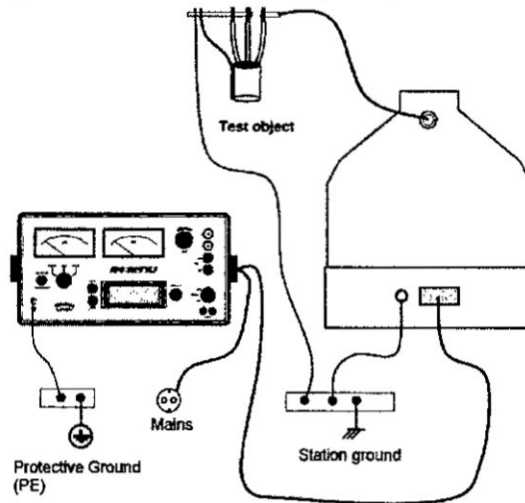
Procedimiento Pruebas Hipot:

Al igual que en una prueba de aislamiento normal, los ensayos conducidos con equipo Hipot requieren que la muestra (cable Monopolar o cable tripolar), se encuentre aislada del resto del sistema eléctrico (su conductor central y su pantalla a tierra), de manera tal que se puedan obtener dos puntos a manera de dos electrodos en los cuales se aplicará la tensión de prueba.

Esta prueba se aplica únicamente de fase a tierra. La prueba se realiza en instalaciones nuevas, o en instalaciones con cierto tiempo de operación teniendo en cuenta información técnica del fabricante. Este es un método destructivo y ocasiona deterioro en el aislamiento del cable por el efecto de polarización. Antes de que un cable de media tensión sea energizado deberá someterse a esta prueba de aceptación.

4.5.1. Conexión Hipot VLF

Imagen 18. Conexionado para prueba VLF (1)



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

Antes de conectar el dispositivo, aterrizar y cortocircuitar los cables que no serán sometidos a prueba, así como las pantallas de los mismos. El equipo puede ser usado para probar equipamiento que no esté aterrizado solamente si una tierra auxiliar es creada.

Imagen 19. Conexionado para prueba VLF (2)



Fuente: Propia – Laboratorio de Pruebas I&T Electric

Imagen 20. Conexionado para prueba VLF (3)

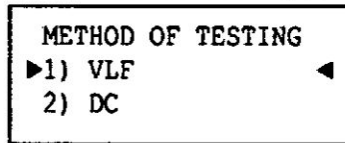


Fuente: Propia – Laboratorio de Pruebas I&T Electric

Secuencia de Prueba

- ✓ Encender el equipo maniobrando la llave de operación.
- ✓ Seleccionar el método de prueba:

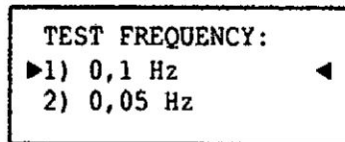
Imagen 21. Método de Prueba



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- ✓ Seleccionar la frecuencia del voltaje VLF

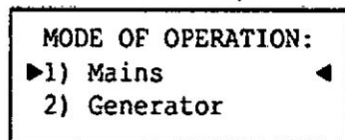
Imagen 22. Frecuencia de la Prueba



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- ✓ Seleccionar el modo de Operación

Imagen 23. Modo de Operación

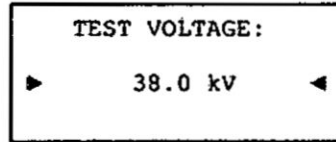


Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

Seleccionar si el equipo es operado en redes eléctricas o en generación

- ✓ Seleccionar el voltaje de prueba (valor en r.m.s)

Imagen 24. Tensión de Prueba

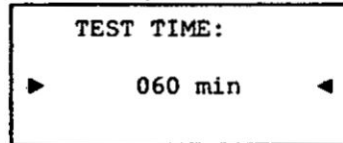


Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

En la prueba de tensión VLF puede usarse valores entre 5 a 38kV en pasos de 0.5kV.

- ✓ Colocar el tiempo de prueba

Imagen 25. Tiempo de la Prueba

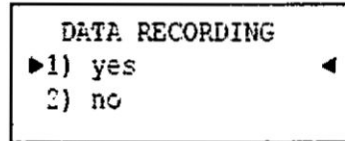


Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

El tiempo máximo de prueba son 300 min.

- ✓ Guardar datos:

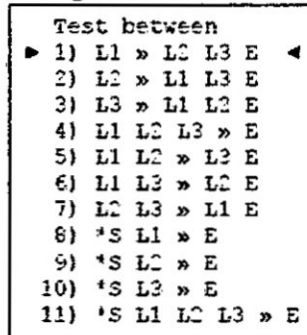
Imagen 26. Opción de Guardar



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- ✓ Configurar prueba entre fases:

Imagen 27. Configuración de las fases



Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

Ej.,

-L1»L2 L3 E, prueba de aislamiento entre L1 y Tierra, L2 y L3 aterradas.

-L1 L2 L3» E, prueba de aislamiento entre todas las fases y Tierra.

-*S L1 » E, prueba del enchaquetado, blindaje de L1 contra tierra.

✓ Pantalla con los parámetros seleccionados:

Imagen 28. Parámetros Seleccionados

VLF TEST	
Frequency:	0.1 Hz
Voltage:	38.0 kV
Test Time:	060 min

Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

✓ Una vez establecidos los parámetros para la prueba, una lámpara led verde se encenderá, y el equipo estará listo para aplicar voltaje en alta tensión.

Imagen 29. Iniciar prueba

Start with [HV On]

Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- ✓ Una vez presionado el botón [HV On], el alto voltaje es conectado el interruptor de descarga se abre. La lámpara roja se ilumina y al mismo tiempo la iluminación de la lámpara verde se extingue.
- ✓ Aplicarle la tensión de prueba al cable, por un periodo de 30 minutos, tomando lecturas de minuto en minuto hasta llegar a los 30 minutos de prueba.
- ✓ Durante el test VLF los amperímetros están habilitados, de esta manera el equipo automáticamente determina internamente la corriente de fuga, mostrándola en el display, esta corriente de fuga está en el rango de los μA .

Imagen 30. Resultados

Leakage Current 500 μ A.	OUTPUT VOLTAGE: 38.0 kV rms 0.1 Hz TEST TIME: 21:16 of 060 min
---------------------------------	---

Fuente: Manual de usuario NEUMANN KPG 36KV VLF

- ✓ Luego de haberse tomado las lecturas de corriente y tensión desenergizar el cable en prueba girando el selector hasta la posición "0".
- ✓ Luego se debe presionar el pulsador "High Voltage-Off" (Rojo), para deshabilitar la salida de alto voltaje.
- ✓ Una vez desenergizado el cable y haberse deshabilitado la salida de alto voltaje del equipo de prueba, proceder a descargar a tierra el cable probado.
- ✓ Reponer todos los circuitos intervenidos para la entrega de la celda al supervisor a cargo.

Tensión Aplicada

Durante una prueba de VLF, la aparición de una arborescencia eléctrica puede reflejar un defecto en el cable de potencia, haciendo posible que esta llegue a penetrar en el aislamiento.

El inicio de una arborescencia eléctrica y el tiempo de crecimiento del canal son funciones de frecuencia y amplitud de la señal de prueba.

Para que sea posible que una arborescencia eléctrica pueda penetrar completamente en el aislamiento durante la duración de la prueba, los niveles de voltaje de prueba VLF que se han establecido han sido para las dos señales de prueba más comúnmente utilizadas, el coseno rectangular y las formas de onda sinusoidales.

Los niveles de voltaje (instalación y aceptación) se basan en las prácticas más utilizadas en todo el mundo de entre $2U_0$ y $3U_0$, donde U_0 es la tensión nominal para cables clasificados entre 5 kV y 35 kV.

Observación:

Para una onda sinusoidal el valor de la tensión rms es 0.707 del valor máximo (Pico).

Una forma de onda coseno rectangular el valor de la tensión rms es igual al valor máximo (Pico).

Tabla 12. Tensión de prueba VLF para onda de Coseno Rectangular

Cable rating phase to phase	Installation (see Note 2) phase to ground	Acceptance (see Note 2) phase to ground	Maintenance (see Note 3) phase to ground
rms voltage in kV	rms voltage/peak voltage	rms voltage/peak voltage	rms voltage/peak voltage
5	12	14	10
8	16	18	14
15	25	28	22
25	38	44	33
35	55	62	47

Fuente: IEEE Std 400.2 – 2004, IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)

Tabla 13. Tensión de prueba VLF para forma de onda sinusoidal

Cable rating phase to phase	Installation (see Note 2) phase to ground	Acceptance (see Note 2) phase to ground	Maintenance (see Note 3) phase to ground
rms voltage in kV	rms or (peak voltage)	rms or (peak voltage)	rms or (peak voltage)
5	9 (13)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)

Fuente: IEEE Std 400.2 – 2004, IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)

Notas:

- Los resultados de pruebas en campo en más de 15000 circuitos con cables XLPE han mostrado que 68% de las fallas han ocurrido a los 12 minutos de iniciada la prueba, 89% a los 30 minutos, 95% después de 45 minutos y 100% después de 60 minutos, el tiempo de prueba recomendable varía entre 15 y 60 minutos, aunque los datos sugieren un tiempo de prueba de 30 minutos, pero el tiempo y el voltaje de prueba reales pueden ser definidos por el proveedor y el usuario y dependen de la filosofía de prueba, sistema de cable, condición de aislamiento, con qué frecuencia se realiza la prueba y el método de prueba seleccionada.
- Para una frecuencia de 0.1Hz en VLF, la duración de prueba sugerida para mantenimiento es 15 minutos.

- Los métodos de prueba VLF utilizan señales a frecuencias en el rango de 0.01Hz hasta 1Hz, pero la más comúnmente utilizada y comercialmente válida en la prueba VLF a frecuencia de 0.1Hz.

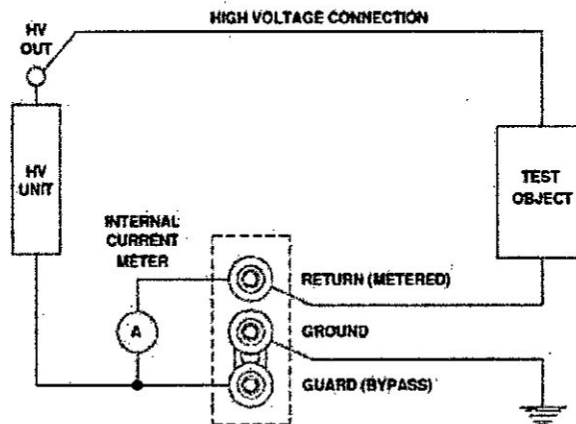
Crterios de Aceptación

- En las pruebas de resistencia, si el cable falla, puede ser necesaria la localización de la falla.
- En casos extremos en las pruebas de diagnóstico, cuando el aislamiento del cable está en una condición avanzada de degradación, las pruebas de diagnóstico pueden causar averías antes de que la prueba pueda ser terminada.
- Al concluir o en una interrupción de una prueba de VLF, el objeto de prueba debe estar conectado a tierra inmediatamente.

4.5.2. Conexión Hipot DC

Verificar que el conexionado del equipo sea el correcto tomando como referencia el esquema de conexión proporcionado por el fabricante. (Figura 31)

Imagen 31. Esquema de Conexión equipo HIPOT DC



Fuente: Manual del usuario del equipo portable DC Hipot 40-200 kV

Imagen 32. Conexionado para prueba HIPOT DC



Fuente: Propia – Prueba de Cable NA2XSY 400mm2 XLPE

Imagen 33. Conexionado para prueba HIPOT DC



Fuente: Propia – Prueba de Cable NA2XSY 400mm2 XLPE

Secuencia de Prueba

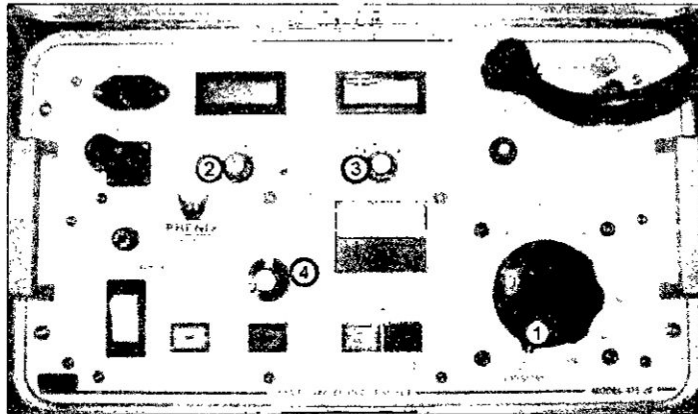
- Prepare el cable a probar retirando 60 cm de PVC, luego retirar la pantalla de cinta o alambre según el tipo de cable, luego retire 40 cm de capa semiconductor y finalmente retire 5 cm de aislamiento (Figura 34). En caso de terminaciones interiores, exteriores o empalmes se probará de manera directa sin limar el cable de MT.

Imagen 34. Preparación de cables de MT a probar



Fuente: Propia – Prueba de Cable NA2XSJ 400mm² XLPE

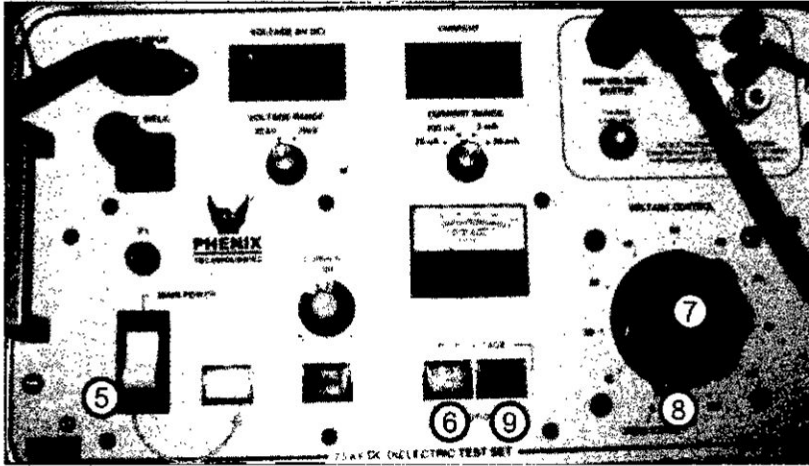
Imagen 35. Instrucciones para la operación del Equipo Portable DC Hipot 40-200 Kv



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco.

- Asegurar que el equipo este configurado de manera más conveniente:
 - Verificar que el dial VOLTAGE CONTROL este configurado en la posición cero.
 - Seleccionar el rango VOLTAGE en el voltímetro.
 - Seleccionar los rangos CURRENT de amperímetro.
 - Configurar el disparo de la corriente en CURRENT TRIP.

Imagen 36. Instrucciones para la operación del Equipo Portable DC Hipot 40-200 Kv (2)



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco.

- Aplicando alto voltaje
 - Encender en el switch blanco MAIN POWER. La lámpara ON se iluminará.
 - Pulsar el botón HV ON (rojo) y la lámpara HV ON se iluminará.
 - Con el dial, rotar el VOLTAGE CONTROL y ver la salida del voltímetro y el amperímetro hasta que el valor de tensión deseado sea alcanzado.
 - Registre los datos si desea, con el dial VOLTAGE CONTROL baje hasta cero después de completado la prueba, Use un descargador para descargar el objeto de prueba.
 - Pulsar el botón HV OFF para desconectar la alta tensión. La lámpara HV ON se apagará. Y la lámpara HV OFF podría iluminarse.



Estar seguro que el objeto de prueba este totalmente descargado para desconectar el cable de prueba.

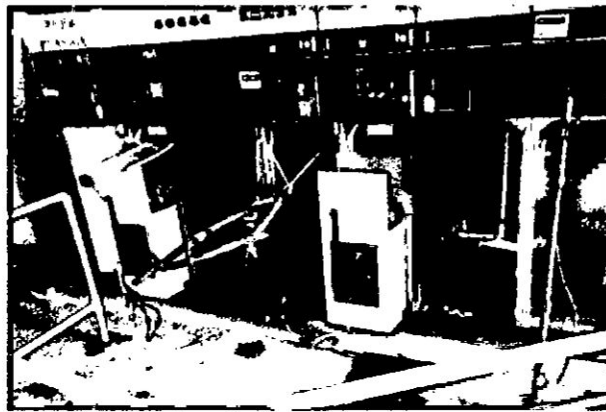
- Ensamblar la pértiga de aterramiento y descarga, su línea de tierra conéctela a un sistema de puesta a tierra o en su defecto a un punto auxiliar de tierra. (Figura 37)
- Remueva la tapa plástica del terminal de la unidad de alta tensión, luego conecte el cable de prueba en este terminal.
- Luego de conectar el cable de prueba en el equipo PORTABLE DC HIPOTS 40-200 kV, el otro extremo de este colocarlo en el alma de cobre o aluminio del cable de prueba, una sola fase. (Figura 38)

Imagen 37. Pértiga de aterramiento



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco.

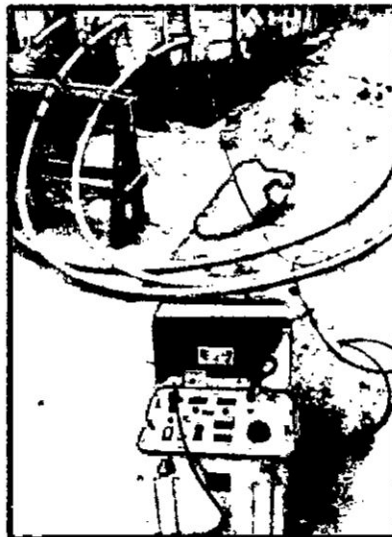
Imagen 38. Cable de prueba, una sola fase.



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco.

- Las otras fases que están libres cortocircuitarlas y conéctela a un sistema de puesta a tierra o en su defecto a un punto auxiliar de tierra. (Figura 40)

Imagen 39. Instalación de Cable de Prueba



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

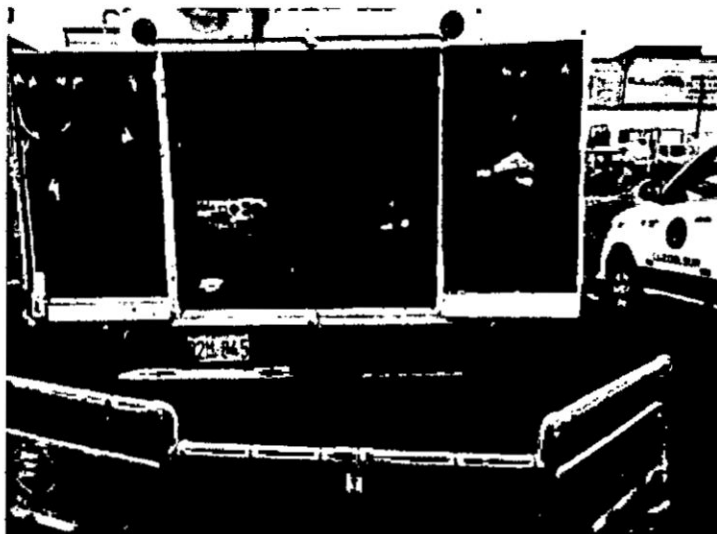
Imagen 40. Aterramiento del circuito.



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

- Con el interruptor de encendido en posición de apagado, conectar el cable de alimentación 220 VAC en el equipo PORTABLE DC HIPOTS 40-200 kV y a su vez en el grupo electrógeno.

Imagen 41. Conexión a fuente externa del equipo de prueba.

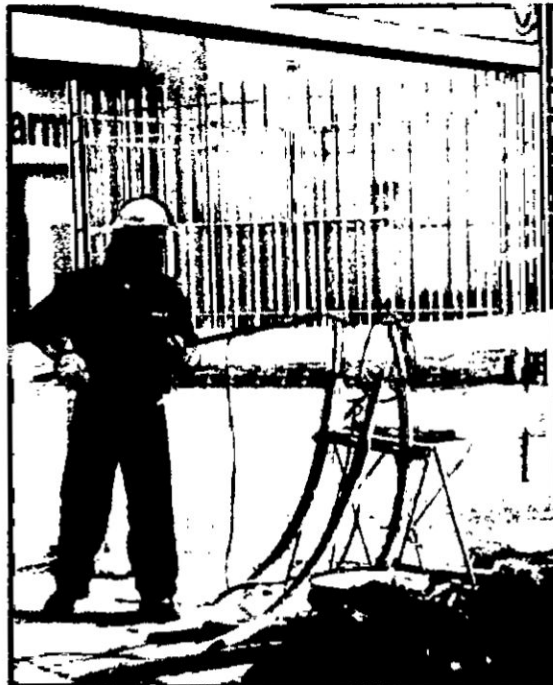


Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

- Solicitar autorización al supervisor responsable del circuito para iniciar las pruebas.
- Encienda el grupo electrógeno

- Verifique en la unidad de control que el selector de corriente se encuentre en la escala más alta de 5 mA y el selector de salida de voltaje se encuentre en cero o reset.
- Energice la unidad de control haciendo uso del interruptor de encendido en posición ON.
- Presione el botón ON, la luz roja de ON debe encenderse.
- Gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta que el voltaje de prueba deseado aparezca en display digital del voltímetro.
- Mantenga el voltaje de prueba por el periodo de tiempo deseado. El display digital del amperímetro indica la corriente de fuga del elemento bajo prueba. Fije el selector de rango de corriente en el nivel deseado
- Después de mantener el voltaje de prueba por el tiempo deseado, baje lentamente la perilla de control de voltaje en la dirección contraria a las agujas del reloj hasta "0" (RESET).
- Presiona el botón HV-OFF, la luz roja de HV ON debe apagarse.
- Deje pasar el tiempo suficiente para que el cable probado elimine la carga, lo cual se indica en el display digital del voltímetro cuando este llegue a cero.
- Con la pértiga de descarga eliminar las corrientes residuales del cable probado, haciendo contacto con el alma de cobre o aluminio. (Figura 42)

Imagen 42. Revelado de tensión residual.



Fuente: Propia – Cliente Inversiones Larco

Uso de pértiga de descarga

- Poner el interruptor de encendido en posición OFF, la luz verde AC ON y los display debe apagarse. Repetir el proceso de operación si se requiere, de lo contrario, retirar el equipo e informar el resultado de la prueba.
- Es de obligatorio cumplimiento, registrar la prueba correspondiente "Registro de Prueba de Cable Nuevo y en Servicio" remitiéndola con copia al Coordinador de Turno.

Tensión Aplicada

La tensión de prueba que se le aplicará al cable de potencia depende principalmente de la tensión de operación del sistema, en nuestro caso las pruebas fueron realizadas dentro de la concesión de LUZ DEL SUR S.A, por lo tanto, la tensión de prueba aplicada a los cables secos con aislamiento de XLPE se rigen por la norma CD-9-015 de LUZ DEL SUR.

La presente norma indica las tensiones a aplicar y los parámetros bajo los cuales se realizarán las pruebas a cables de energía de Luz del Sur según su estado y tensión eléctrica.

1. Tensiones de Prueba para cables nuevos

Tabla 14. Tensión de prueba para cables de Media Tensión (1)

TENSIÓN DE SERVICIO (KV)	E_0 (KV)	TENSIÓN DE PRUEBA (KV) (*)
10	8.7	30
22.9	18	50

Fuente: Norma Luz del Sur CD-9-015

*Ensayo con corriente continua – 5 minutos – fase / tierra

2. Tensiones de prueba para cables de redes en servicio

Tabla 15. Tensión de prueba para cables de Media Tensión (2)

TENSIÓN DE SERVICIO (KV)	TENSIÓN DE PRUEBA CABLE DIRECTO (KV) (*)	TENSIÓN DE PRUEBA LATERALES ASIMÉTRICOS (KV) (*)
10	16	12
22.9	40	—

Fuente: Norma Luz del Sur CD-9-015

***Ensayo con corriente continua – 3 minutos – fase / tierra**

Observación: La Prueba de Cables que se utilizó en la presente investigación se hizo dentro de la concesión de Luz del Sur, por tal motivo se utilizó normativa propia de la empresa concesionaria, tal normativa está basada en la Norma Técnica Peruana NTP - IEC 60502.

Criterios de Aceptación

El valor principal a ser medido durante la prueba Hipot, es la corriente de fuga, Por ello se procederá a registrar en el protocolo de pruebas la identificación de la muestra, el estado de la muestra y de sus accesorios al igual que las condiciones medio ambientales, las fases que han sido probadas, la tensión de prueba y el tiempo al que fue sometido en prueba.

- ✓ Tiempo de prueba : 5min.
- ✓ Requisito : No debe presentarse falla a tierra (Fuga de Corriente)
- ✓ Prueba de voltaje : ver tabla 15

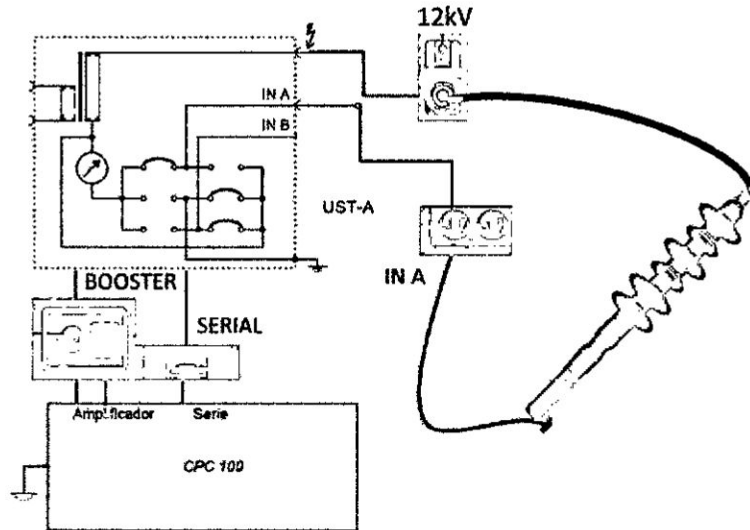
El presente ensayo es una prueba de Soporte, la cual solo nos da la certeza de que el objeto sometido a prueba está en óptimas condiciones para su instalación y/o para su funcionamiento o no pasa la prueba (Falla a tierra por motivo fuga de corriente).

Por experiencia en pruebas anteriores se conoce que el aislamiento de un cable no es perfecto por tal motivo no dejan de existir pequeñas corrientes de fuga que salen desde el interior del dieléctrico en el orden de los μA , aun si de todas maneras si el equipo no se desconecta por una falla a tierra, se puede conocer mediante los valores arrojados en el display el estado del aislamiento, el cual también puede arrojar una prueba fallida si se muestra un valor alto de fuga de corriente.

Procedimiento Tangente Delta:

1.5.3. Conexión Tan Delta

Imagen 43. Conexión de prueba CPC100 + CPTD1 + Cable 50mm² 18/30kV (XLPE)



Fuente: Manual CPC100 + TD1 - Omicron

Imagen 44. Prueba Tan Delta Cable 50mm² 18/30kV (XLPE)



Fuente: Propia – Prueba de Cables UNACEM

Secuencia de Prueba

1. Desconecte la unidad CPC 100 con el interruptor de alimentación principal
2. Conecte correctamente a tierra todos los terminales de puesta a tierra de la unidad CPC100 y el CPTD1 (ambos cables 6mm2 mínimo).
3. Conecte "BOOSTER IN" (entrada de amplificador) del CPTD1 a "EXT. BOOSTER" (Amplificador externo) de la unidad CPC100 con el cable amplificador suministrado por OMICRON.
4. Conecte "SERIAL" (Serie) del CPTD1 del CPTD1 a "SERIAL" (Serie) de la unidad CPC100 con el cable de datos suministrado por OMICRON. Este cable también suministra la alimentación eléctrica al CPTD1
5. Extraiga los cables de medición de la bobina y conecte el equipo en prueba a las entradas de medición INA e INB del CPTD1.
6. Extraiga los cables de alta tensión de la bobina y conecte el equipo en prueba a la salida de alta tensión del CPTD1.
7. Encienda la Unidad CPC100
8. Al seleccionar la tarjeta de prueba TanDelta en cualquiera de los grupos de tarjetas de prueba TC, TT, Transformador y otros de la unidad CPC100 se activa automáticamente el sistema CPTD1. Si no se ha conectado un sistema CPTD1 a la unidad CPC100, aparece un mensaje de error.
9. Configure la medida en la tarjeta de prueba TanDelta. (Ver ilustración 35)

Imagen 45. Pantalla Principal Tarjeta de Prueba CP Tangente Delta (1)

Selecione para Medición Automática con rampas de V y f
Deselecione para Medición Manual

Selecione para realizar la evaluación automática de la prueba tomando como referencia los valores Cref y Dfref configurados

Selecione el Modo de Medida. La matriz de contactos cambia la conexión de acuerdo al modo seleccionado

Pantalla de Resultados

Selecione para Medición Automática con rampas de V y f
Deselecione para Medición Manual

Selecione el Modo de Medida. La matriz de contactos cambia la conexión de acuerdo al modo seleccionado

Pantalla de Resultados

Selecione para realizar la evaluación automática de la prueba tomando como referencia los valores Cref y Dfref configurados

Quick 1 TanDelta 1

8021 V 45.00 Hz

Puntos pru. auto (V, f)

8021 V 45.00 Hz

Evaluación

Cref: 357.0 nF

Dfref: 0.08 %

Insertar tarjeta

Borrar tarjeta

Renom tarjeta

Borrar result

Guardar por defecto

Ajustes

Va a la página de Ajustes

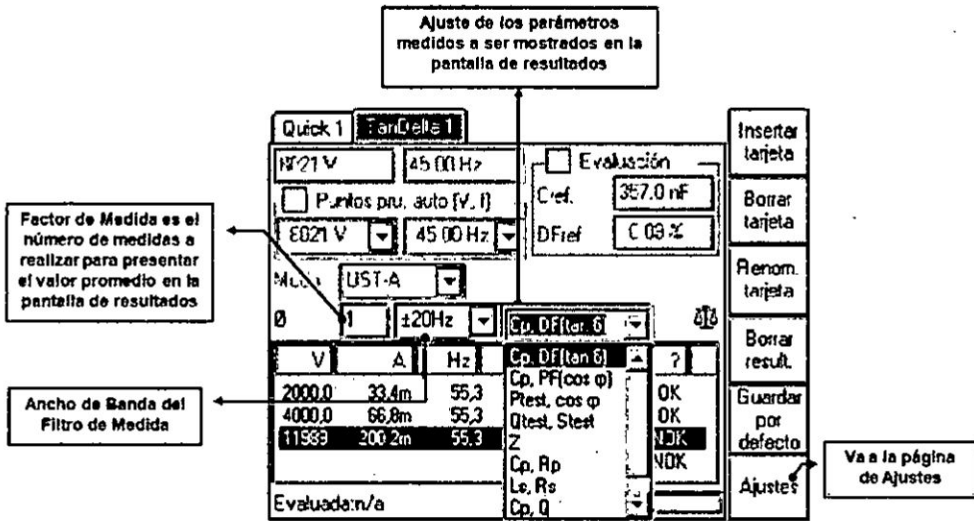
Modo: UST - Z

V	F	%	?
2000.0	3	357.2n	0.0080 OK
4000.0	3	356.9n	0.0081 OK
11939	3	357.4n	81.2% NOK

Evaluada: n/a

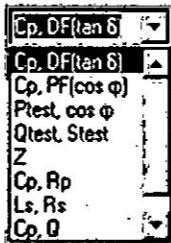
Fuente: Entrenamiento CPC100 CP TD1 – Omicron

Imagen 46. Pantalla Principal Tarjeta de Prueba CP Tangente Delta (2)



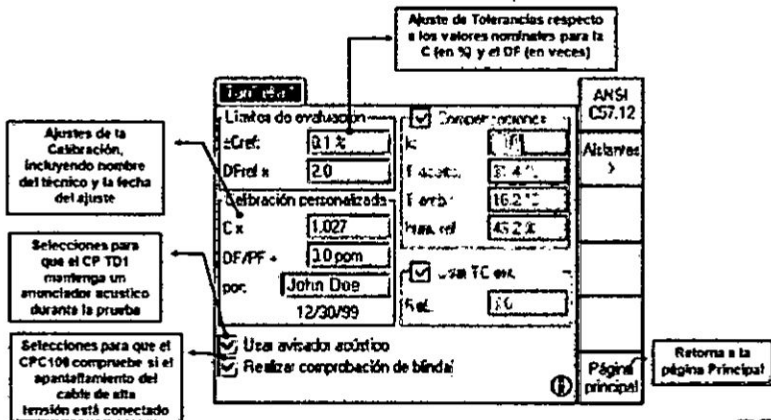
Fuente: Entrenamiento CPC100 CP TD1 – Omicron

Parámetros medidos:



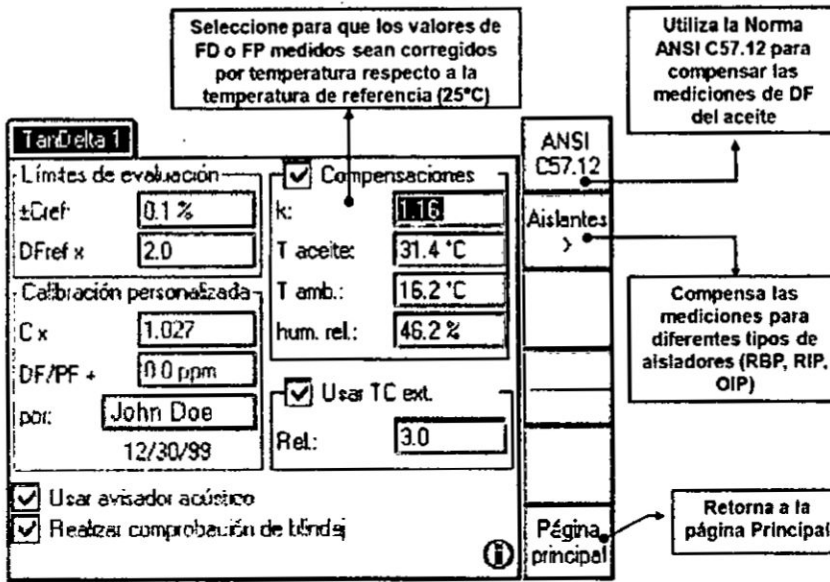
- Cp, DF (tan δ) = capacitancia y factor de disipación
- Cp, PF (cos φ) = capacitancia y factor de potencia
- Cp, Ppru = capacitancia en paralelo y potencia
- Cp, P10KV = capacitancia y potencia en paralelo interpoladas linealmente a una tensión de prueba de 10 kV
- Qprueba, Sprueba = potencia reactiva y aparente
- Z = impedancia con ángulo de fase
- Cp, Rp = capacitancia en paralelo y resistencia en paralelo
- Ls, Rs = inductancia en serie y resistencia en serie
- Cp, QF = capacitancia en paralelo y factor de calidad
- Ls, QF = inductancia en serie y factor de calidad

Imagen 47. Ajustes Tarjeta de Prueba CP Tangente Delta (1)



Fuente: Entrenamiento CPC100 CP TD1 – Omicron

Imagen 48. Ajustes Tarjeta de Prueba CP Tangente Delta (2)



Fuente: Entrenamiento CPC100 CP TD1 – Omicron

10. Pulse el botón I/O (iniciar / parar la prueba).

Tensión Aplicada

Los cables son probados con un Voltaje AC a tensión de operación de funcionamiento del sistema donde están o estarán instalados los cables potencia o con niveles de hasta $3V_0$, aplicados de forma escalonada en la tarjeta TanDelta de la CPC100 + TD1, indicando el tipo de conexión las lecturas y el número de mediciones

Criterios de Aceptación

La prueba se realiza a la frecuencia de funcionamiento o a la frecuencia VLF de 0,1 Hz.

Cuando la medición aislamiento excede un valor establecido históricamente para el tipo de aislamiento particular (XLPE), se considera que el cable está defectuoso y es posible que haya que programar su reemplazo, por otra parte, si las medidas de aislamiento están por debajo de un valor establecido históricamente para el mismo tipo de aislamiento particular, se deben realizar pruebas adicionales para determinar si el aislamiento del cable es defectuoso.

Si el aislamiento medido del cable es mayor que 2.2×10^{-3} , el aislamiento del cable está contaminado por la humedad (arborescencia acuosa). El cable puede volverse a poner en servicio, pero debe programarse para reemplazo tan pronto como sea posible.

Si el aislamiento medido del cable es menor que 2.2×10^{-3} , el estado general del aislamiento es probablemente bueno; sin embargo, el aislamiento del cable podría tener muchos pequeños defectos; en cuyo caso, el cable puede operar satisfactoriamente por muchos años más, pero el aislamiento debe ser monitoreado regularmente, y luego de un mayor deterioro del factor de disipación, se deben tomar las medidas adecuadas. Sin embargo, el cable podría tener solo algunos pocos defectos grandes, que pueden causar que falle al volver a ponerlo en servicio o días después de que se haya reactivado.

Por lo tanto, si el aislamiento medido es mayor que 2.2×10^{-3} , se recomienda una prueba de VLF a $3V_0$ para identificar los defectos grandes, eliminarlos y repararlos.

Tabla 16. Valores típicos de Factor de Disipación (Tan Delta) y Constante Dieléctrica

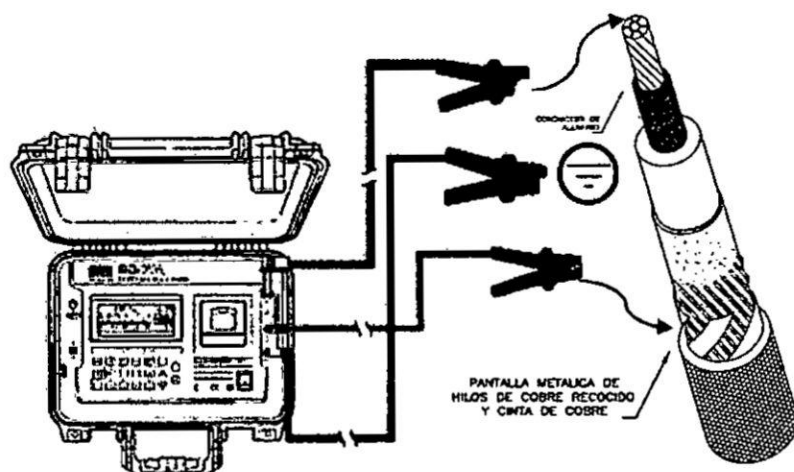
Type of insulation	K	tan δ
Impregnated paper	3.5	2.3×10^{-3}
Impregnated PPP	2.7	0.7×10^{-3}
XLPE	2.3	0.1×10^{-3}
HDPE	2.3	0.1×10^{-3}
EPR	2.8	3.5×10^{-3}

Fuente: Tabla 3 – IEEE Std400 – 2001

Procedimiento Rigidez Dieléctrica (Megado):

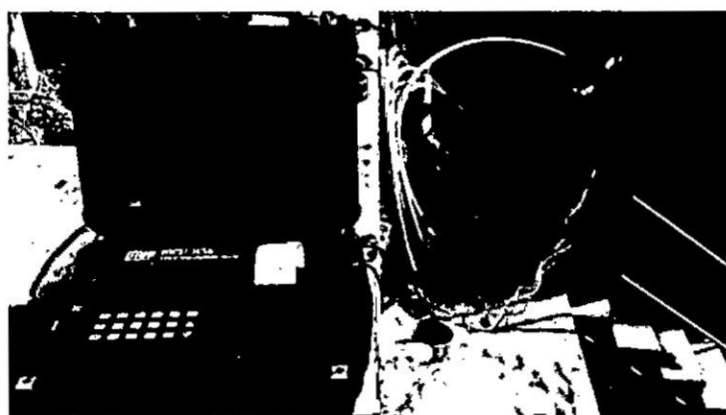
Conexión con Megohmetro electrónico MD 10kV

Imagen 49. Conexión de prueba Megohmetro + Cable NA2XSY 50mm² 18/30kV XLPE



Fuente: Manual de Equipo MD 10kV

Imagen 50. Prueba de Rigidez Dieléctrica Cable NA2XSY 50mm² 18/30kV (XLPE)



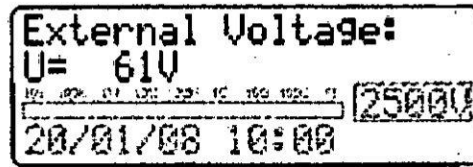
Fuente: Propia – Sistema de Utilización Jardines de la Paz

Secuencia de Prueba

1. Asegurar que no existe diferencias de potencial entre los puntos a los cuales se conectará el MD-10KVx, ni entre estos y tierra.
2. Al ser conectado automáticamente en el modo voltímetro y pasa a exhibir en el display la tensión y la corriente presentes en el circuito.
3. El circuito a ser probado debe estar desenergizado para evitar

interferencias en la medición. Si el equipo detecta tensión mayor a 60V presente en el circuito, el MD10KVx no permitirá el inicio de la medición.

Imagen 51. Display de equipo MD 10kV



Fuente: Manual de Equipo MD 10kV

4. Conecte el terminal de seguridad del cable rojo al borde de salida de tensión $-V$ del Megohmetro.
5. Conecte el terminal **BNC** del cable negro al borne de REFERENCIA **CERO (+R)** y los terminales cocodrilo al elemento a medir como indica la imagen XXX.
6. Durante las mediciones, el borne **GUARD** del Megohmetro se debe conectar a tierra (Masa o pantalla metálica).
7. Para definir el valor de la tensión de prueba, es necesario seleccionar primero una de las teclas de ajuste de tensión: $\pm 25V$; $\pm 100V$ o $\pm 150V$, estas teclas habilitan tanto la selección de las tensiones pre-programadas **500V; 1kV; 5kV; 10kV**, así como las teclas direccionales que aumentan o disminuyen el valor de la tensión de prueba en pasos de **25V, 100V, o 500V**, dependiendo de la tecla de ajuste de tensión seleccionada.
8. Siempre que el equipo sea encendido la tecla " $\pm 150V$ " estará seleccionada.
9. NOTA: La tensión de prueba es el único parámetro que puede ser modificado durante los ensayos.
10. Una vez seleccionado el modo de operación y la tensión a aplicar al objeto sometido a prueba, se procede a presionar el botón **START** y dar inicio al ensayo. (El botón con la imagen de una impresora se utiliza en caso que se deseen resultados impresos, o de otra forma serian vistos en la pantalla o mediante el **Software MegaLogg**)

OBS: Si la resistencia a ser medida sobrepasara el límite de $10T\Omega@10kV$, será exhibido el mensaje: $R>10T\Omega$

ATENCIÓN: Nunca conecte o desconecte los cables de prueba con el Megohmetro en funcionamiento o mientras el led de Alta Tensión se encuentre encendido. Si hubiese necesidad de modificar las conexiones, estas deberán hacerse con el equipo desconectado y con los potenciales descargados (led de Alta Tensión apagado)

Tensión Aplicada

La tensión de prueba depende del nivel de tensión de Operación del Sistema en el cual está o estarán instalados los cables de potencia. (ver tabla 17)

Criterios de Aceptación

Los resultados de la prueba dependen de la temperatura del material aislante y la humedad del ambiente circundante en el momento de la prueba.

Los datos de la prueba de resistencia al aislamiento se pueden usar para establecer un patrón de tendencia. Desviaciones de la información de referencia y permitir la evaluación del aislamiento.

Tabla 17. Valores de Prueba de Resistencia de Aislamiento en Sistemas y aparatos eléctricos

Nominal Rating of Equipment in Volts	Minimum Test Voltage, DC	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,000
8,000	2,500	2,000
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	20,000
34,500 and above	15,000	100,000

Fuente: Tabla 100.1 ANSI – NETA – ATS 2009

4.6. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE DATOS

Como parte del presente estudio se han efectuado mediciones en campo con cada uno de los diferentes equipos de prueba, para evaluar las condiciones en las que se encuentran los elementos sometidos a prueba.

Cada elemento fue sometido a diferentes pruebas regidas cada una de manera distinta por la normativa aplicable a Cables de Potencia.

Los casos presentados aquí, tienen por fin servir de referencia al momento que el Ingeniero realice las pruebas en campo.

Con los valores arrojados por el equipo de prueba se pudieron obtener curvas y graficas representando el comportamiento de la tensión y la corriente de fuga en los cables sometidos a prueba.

Cada dato brindado por el equipo de prueba fue analizado en su respectivo software y en algunos casos directamente en el display del equipo.

Las consideraciones generales que se han tomado en cuenta para llevar a cabo las mediciones son:

- Se han usado equipos para medición del estado del aislamiento de cables de potencia.
- Las mediciones se efectuaron en condiciones climáticas normales
- El método de medición utilizado fue el descrito en el presente estudio.
- Los elementos de prueba son cables de potencia con aislamiento XLPE
- Las pruebas se realizaron a cables de potencia en servicio y a cables potencia previa a la puesta en servicio.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados de Prueba Hipot VLF a Cables de MT de S.E. Principal "Refinería la Pampilla".

Imagen 52. Informe ensayo de cable (1)

Informe ensayo de cable							
						<input checked="" type="checkbox"/> Test general	<input type="checkbox"/> Test Parcial
Voltaje nominal:	<input checked="" type="checkbox"/> 6/10 kV	<input type="checkbox"/> 8,7/15 kV	<input type="checkbox"/> 12/20 kV				
Compañía Elect:							
Cliente:							
Lugar:							
Recorrido:	Desde CT (A) Hasta CT (B)						
Cable:	<input checked="" type="checkbox"/> papel impregnado	<input type="checkbox"/> aislamiento plástico	<input type="checkbox"/> mixto				
Tipo de cable:	Sección:		Nongitud cable:				
Motivo del ensayo:	<i>Instalación</i>						
Comentario:	_____x_____						
Test de aislamiento: <input checked="" type="checkbox"/> Desde (A) <input type="checkbox"/> Desde (B)							
Valores deseados: Método:	<input checked="" type="checkbox"/> VLF	<input type="checkbox"/> DC	Voltaje test:	Duración test:			
Valores medidos	L1→L2 L3 E	L2→L1 L3 E	L3→L1 L2 E	L1 L2 L3 →E	L1 L2→L3 E	L1 L3→L2 E	L2 L3→L1 E
Voltaje ensayo (kV rms)				230 kV			
Frecuencia (Hz)				0,1 Hz			
DC Voltaje (kV)				—			
Duración Test (min)				30,00 min			
Ruptura a kV tras min				—			
Test de cubierta: <input checked="" type="checkbox"/> Desde (A) <input type="checkbox"/> Desde (B)							
Valores medidos	*S _{L1} →E	*S _{L2} →E	*S _{L3} →E	*S _(L1L2) →E	Valores deseados:		
DC Voltaje (kV)					Voltaje Test (DC):		
Duración Test (min)					Duración test:		
Ruptura sí/no							
Resultado del ensayo: ¡No ocurrió fallo cable !							
Comentarios al ensayo:							
Fecha:	20.12.2016	Cliente:			Operador:		
Informe n°:	1						Pag 1/2

Fuente: Kilovolt VLF

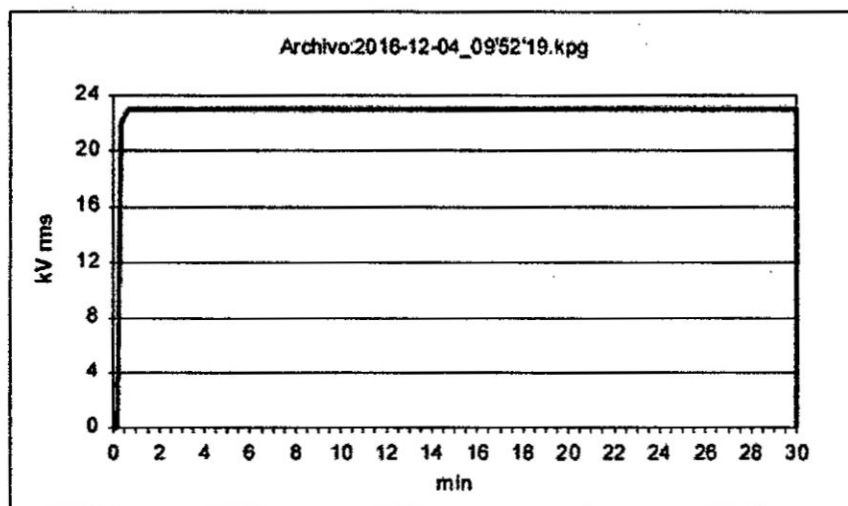
Imagen 53. Informe ensayo de cable (2)

Test individual de cable

Tipo de equipo de ensayo: KPG 36KV VLF
Archivo de registro: 2016-12-04_09'52'19.kpg
Método ensayo: VLF
Frecuencia/polaridad: 0,1 Hz
Consigna de tensión: 23.0 kV
Consigna de tiempo: 30 min
Test Aislamiento/ Cubierta: Test aislamiento
Test entre fases: L1 L2 L3 →E
Inicio ensayo: 04.12.2016 09:52:19
Fin ensayo: 04.12.2016 10:22:19
Duración Test: 30:00 min
Capacidad cable: 0.2 μ F



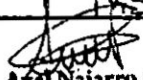
Resultado: Tiempo de test.

Registro tensión ensayo:



5.2. Resultados de Prueba Hipot DC a Cables de MT de S.E.
Particular – Cliente “Inversiones Larco – Miraflores”.

Imagen 54. Boleta de Conformidad de Prueba de Cable

 www.tecsur.com.pe	CONFORMIDAD		CIRCUITO MT (SIN TENSION)	
	DE PRUEBA DE CABLE NUEVO Y EN SERVICIO		10KV <input type="checkbox"/>	22.8KV <input checked="" type="checkbox"/>
Nº 003153		Nº SST. 1663464	DE: SE 1599 (1-2)	
SOLICITADO POR:	SUPERVISOR ENCARGADO:	DNI Nº:	A: SE 1819 (1-4)	
Dice 50 Kw	Axel Najarro	44837008		
AREA QUE EJECUTA:	OPERADOR RESPONSABLE:	DNI Nº:	FECHA:	HORA:
Mantenimiento	Deyve Poente	45512374	INICIO	07-03-18 3:15 PM
PRUEBA DE CABLE:	NUEVO: <input checked="" type="checkbox"/>	EN SERVICIO: <input type="checkbox"/>	FIN:	07-03-18 3:55 PM
	CONFORME: <input checked="" type="checkbox"/>	NO CONFORME: <input type="checkbox"/>	VALORES DE PRUEBA	
OBSERVACIONES:			TIEMPO DE PRUEBA: 5 min	
Prueba inicial de cable 3-1x400mm ² (NAXSY)			V _r 50,1 kV	I _r 26 µA
			V _s 50,0 kV	I _s 30 µA
			V _t 50,0 kV	I _t 31 µA
EMITE:	RECEPCIONA:			
				
RESPONSABLE DE PRUEBAS	Axel Najarro G. Dpto. Obras de Distribucion TECSUR S.A. SUPERVISOR ENCARGADO DEL TRABAJO			

Fuente: TECSUR S.A

5.3. Resultados de Prueba de Tangente δ a Cables de MT de S.E.
Principal “Condorcocha - UNACEM”.

Tabla 18. Resultados TanDelta Fase R (1)

Tan Delta:	L1-1				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:26				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK786Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medio:	3				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027215858A	*60.0 Hz	0.000000036100874F	0.0152%
4000.0V	4000.0V	0.054439825A	*60.0 Hz	0.000000036101181F	0.0148%
6000.0V	5999.0V	0.081651392A	*60.0 Hz	0.000000036100844F	0.0154%
8000.0V	8000.0V	0.108874166A	*60.0 Hz	0.000000036101128F	0.0153%
10000.0V	10000.0V	0.13610649A	*60.0 Hz	0.0000000361017F	0.0152%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 19. Resultados TanDelta Fase R (2)

Tan Delta:	L1-2				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:30				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.026901801A	*60.0 Hz	0.000000035682459F	0.0159%
4000.0V	4000.0V	0.053806536A	*60.0 Hz	0.000000035682858F	0.0153%
6000.0V	6000.0V	0.080705781A	*60.0 Hz	0.000000035682338F	0.0158%
8000.0V	7999.0V	0.107604443A	*60.0 Hz	0.000000035682634F	0.0159%
10000.0V	10000.0V	0.134525817A	*60.0 Hz	0.000000035683007F	0.0159%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 20. Resultados TanDelta Fase R (3)

Tan Delta:	L1-3				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:33				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.028064905A	*60.0 Hz	0.000000037222505F	0.0154%
4000.0V	4000.0V	0.056129567A	*60.0 Hz	0.000000037222957F	0.0139%
6000.0V	6000.0V	0.084191589A	*60.0 Hz	0.000000037222273F	0.0156%
8000.0V	7999.0V	0.112248879A	*60.0 Hz	0.000000037222471F	0.0155%
10000.0V	10001.0V	0.140342675A	*60.0 Hz	0.000000037222821F	0.0157%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 21. Resultados TanDelta Fase R (4)

Tan Delta:	L1-4				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:35				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.02774132A	*60.0 Hz	0.000000036796167F	0.017%
4000.0V	4000.0V	0.05548588A	*60.0 Hz	0.000000036796342F	0.0169%
6000.0V	6000.0V	0.083225812A	*60.0 Hz	0.000000036795788F	0.0173%
8000.0V	7999.0V	0.110961359A	*60.0 Hz	0.000000036796073F	0.0173%
10000.0V	10000.0V	0.138719955A	*60.0 Hz	0.000000036795495F	0.0144%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 28. Resultados TanDelta Fase S (5)

Tan Delta:	L2-5				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:55				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medio:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027601101A	*60.0 Hz	0.000000036810805F	0.018%
4000.0V	4000.0V	0.055206757A	*60.0 Hz	0.000000036611149F	0.0156%
6000.0V	6000.0V	0.082804962A	*60.0 Hz	0.000000036610539F	0.0162%
8000.0V	7999.0V	0.110403309A	*60.0 Hz	0.000000036610757F	0.0162%
10000.0V	10001.0V	0.138040391A	*60.0 Hz	0.000000036611064F	0.0161%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 29. Resultados TanDelta Fase S (6)

Tan Delta:	L2-6				
Fecha/hora:	24/05/2017 12:58				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medio:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.028351738A	*60.0 Hz	0.000000037604732F	0.0159%
4000.0V	4000.0V	0.056703549A	*60.0 Hz	0.000000037604929F	0.0157%
6000.0V	5999.0V	0.085050981A	*60.0 Hz	0.000000037604314F	0.0162%
8000.0V	7999.0V	0.113401509A	*60.0 Hz	0.000000037604482F	0.0164%
10000.0V	10001.0V	0.141782058A	*60.0 Hz	0.000000037604758F	0.0163%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 30. Resultados TanDelta Fase T (1)

Tan Delta:	L3-1				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:02				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medio:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027664558A	*60.0 Hz	0.00000003669551F	0.0169%
4000.0V	4000.0V	0.055333596A	*60.0 Hz	0.00000003669593F	0.0163%
6000.0V	5999.0V	0.082994496A	*60.0 Hz	0.000000036695136F	0.0169%
8000.0V	7999.0V	0.110657562A	*60.0 Hz	0.000000036695412F	0.017%
10000.0V	10001.0V	0.13835226A	*60.0 Hz	0.000000036695704F	0.017%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 31. Resultados TanDelta Fase T (2)

Tan Delta:	L3-2				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:05				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.028258956A	*60.0 Hz	0.000000037478268F	0.0166%
4000.0V	4000.0V	0.058515589A	*60.0 Hz	0.000000037478574F	0.0161%
6000.0V	5999.0V	0.084763913A	*60.0 Hz	0.000000037478083F	0.0168%
8000.0V	7999.0V	0.113016122A	*60.0 Hz	0.000000037478248F	0.0167%
10000.0V	10001.0V	0.141308817A	*60.0 Hz	0.00000003747857F	0.0168%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 32. Resultados TanDelta Fase T (3)

Tan Delta:	L3-3				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:09				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027883824A	*60.0 Hz	0.000000036883304F	0.0166%
4000.0V	4000.0V	0.055767524A	*60.0 Hz	0.000000036983867F	0.0168%
6000.0V	6000.0V	0.08364904A	*60.0 Hz	0.000000036983189F	0.0174%
8000.0V	7999.0V	0.111531561A	*60.0 Hz	0.000000036983374F	0.0174%
10000.0V	10001.0V	0.139439332A	*60.0 Hz	0.000000036983808F	0.0174%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 33. Resultados TanDelta Fase T (4)

Tan Delta:	L3-4				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:12				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Media:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027760502A	*60.0 Hz	0.000000036821026F	0.0183%
4000.0V	4000.0V	0.055518631A	*60.0 Hz	0.000000036817378F	0.0182%
6000.0V	5999.0V	0.083267339A	*60.0 Hz	0.000000036816926F	0.0168%
8000.0V	7999.0V	0.111024831A	*60.0 Hz	0.000000036817003F	0.0168%
10000.0V	10001.0V	0.138812139A	*60.0 Hz	0.000000036817343F	0.0167%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 34. Resultados TanDelta Fase T (5)

Tan Delta:	L3-5				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:15				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medía:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.027755615A	*60.0 Hz	0.000000036814896F	0.0167%
4000.0V	4000.0V	0.055514328A	*60.0 Hz	0.000000036815227F	0.0161%
6000.0V	6000.0V	0.083264852A	*60.0 Hz	0.000000036813406F	0.0108%
8000.0V	7999.0V	0.111012493A	*60.0 Hz	0.000000036811842F	0.0089%
10000.0V	10001.0V	0.138792793A	*60.0 Hz	0.000000036811147F	0.0087%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 35. Resultados TanDelta Fase T (6)

Tan Delta:	L3-6				
Fecha/hora:	24/05/2017 13:18				
Sobrecarga:	NO				
Evaluación:	n/a				
CPTD:	GK796Q				
Modo:	UST-A				
Ancho de Banda :	5 Hz				
Medía:	2				
Resultados Medidos:					
Vpru	Vmed	Imed	Frecuencia	Cp	DF
2000.0V	2000.0V	0.028329663A	*60.0 Hz	0.000000037574818F	0.0169%
4000.0V	4000.0V	0.05665931A	*60.0 Hz	0.000000037575074F	0.0162%
6000.0V	5999.0V	0.084982714A	*60.0 Hz	0.000000037574423F	0.0171%
8000.0V	7999.0V	0.113311892A	*60.0 Hz	0.000000037574539F	0.017%
10000.0V	10001.0V	0.141673804A	*60.0 Hz	0.000000037574837F	0.0168%

Fuente: Primary Test Manager (PTM) Omicron

Tabla 36. Valores de capacitancia y tangente delta (%)

FASE	R		S		T	
	C (nF)	TD %	C (nF)	TD %	C (nF)	TD %
TERNA 1	36.102	0.0152	37.561	0.0087	36.696	0.017
TERNA 2	35.683	0.0159	36.994	0.017	36.811	0.0087
TERNA 3	37.223	0.0157	37.592	0.0161	36.984	0.0174
TERNA 4	36.795	0.0144	36.657	0.0164	36.817	0.0167
TERNA 5	36.653	0.0092	36.611	0.0161	36.811	0.0087
TERNA 6	36.125	0.0159	37.605	0.0163	37.575	0.0168

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37. Evaluación de resultados TanDelta

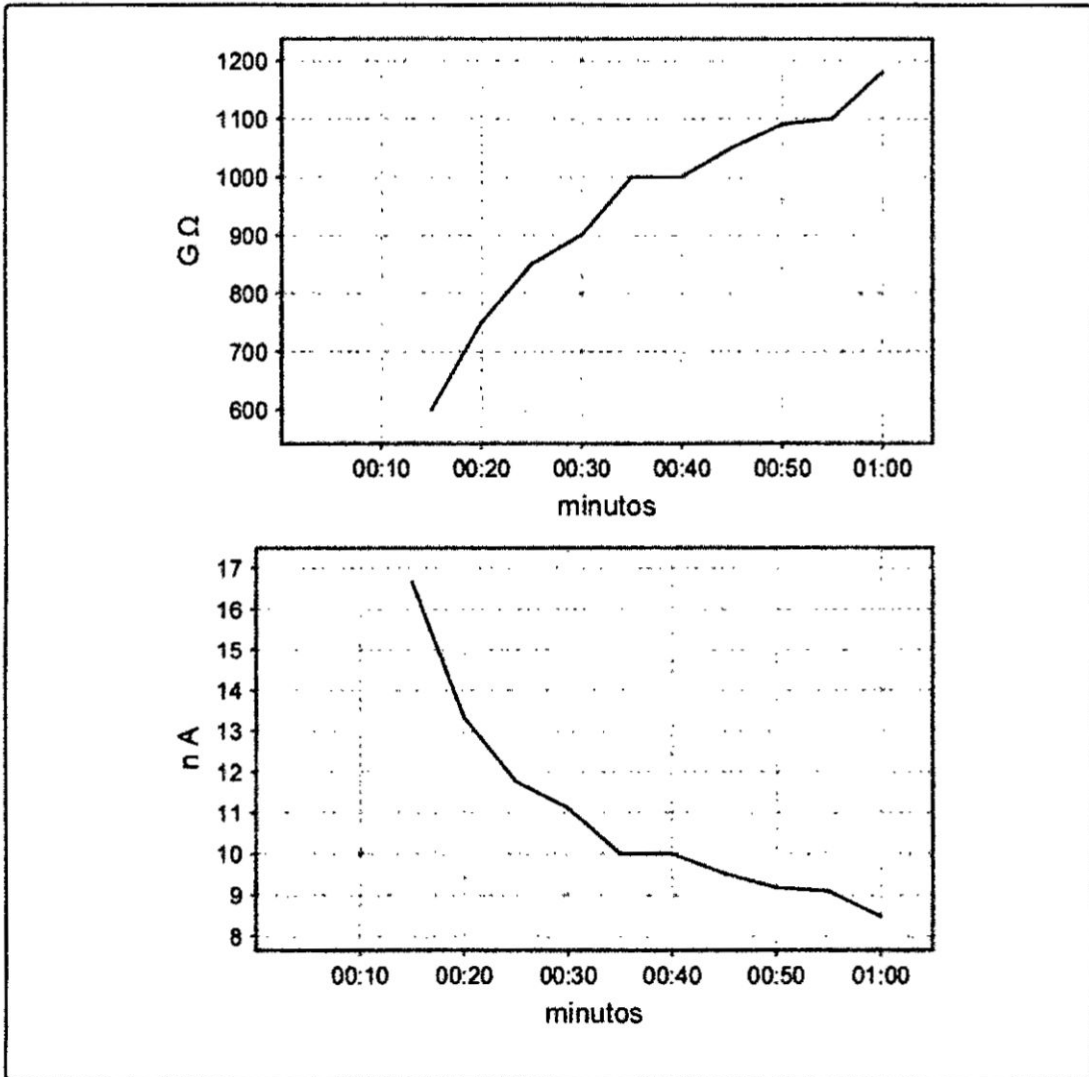
FASE	R		S		T	
	TAG	TD %	RESULTADO	TD %	RESULTADO	TD %
TERNA 1	0.0152	CORRECTO	0.0087	CORRECTO	0.017	CORRECTO
TERNA 2	0.0159	CORRECTO	0.017	CORRECTO	0.0087	CORRECTO
TERNA 3	0.0157	CORRECTO	0.0161	CORRECTO	0.0174	CORRECTO
TERNA 4	0.0144	CORRECTO	0.0164	CORRECTO	0.0167	CORRECTO
TERNA 5	0.0092	CORRECTO	0.0161	CORRECTO	0.0087	CORRECTO
TERNA 6	0.0159	CORRECTO	0.0163	CORRECTO	0.0168	CORRECTO

Fuente: Elaboración Propia

5.4. Resultados de Prueba de Resistencia de Aislamiento a Cables de MT de S.S.E.E. Particulares – Cliente “Operaciones Funerarias – Jardines de la Paz”.

Imagen 55. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE1 →SE2–FASE “R”

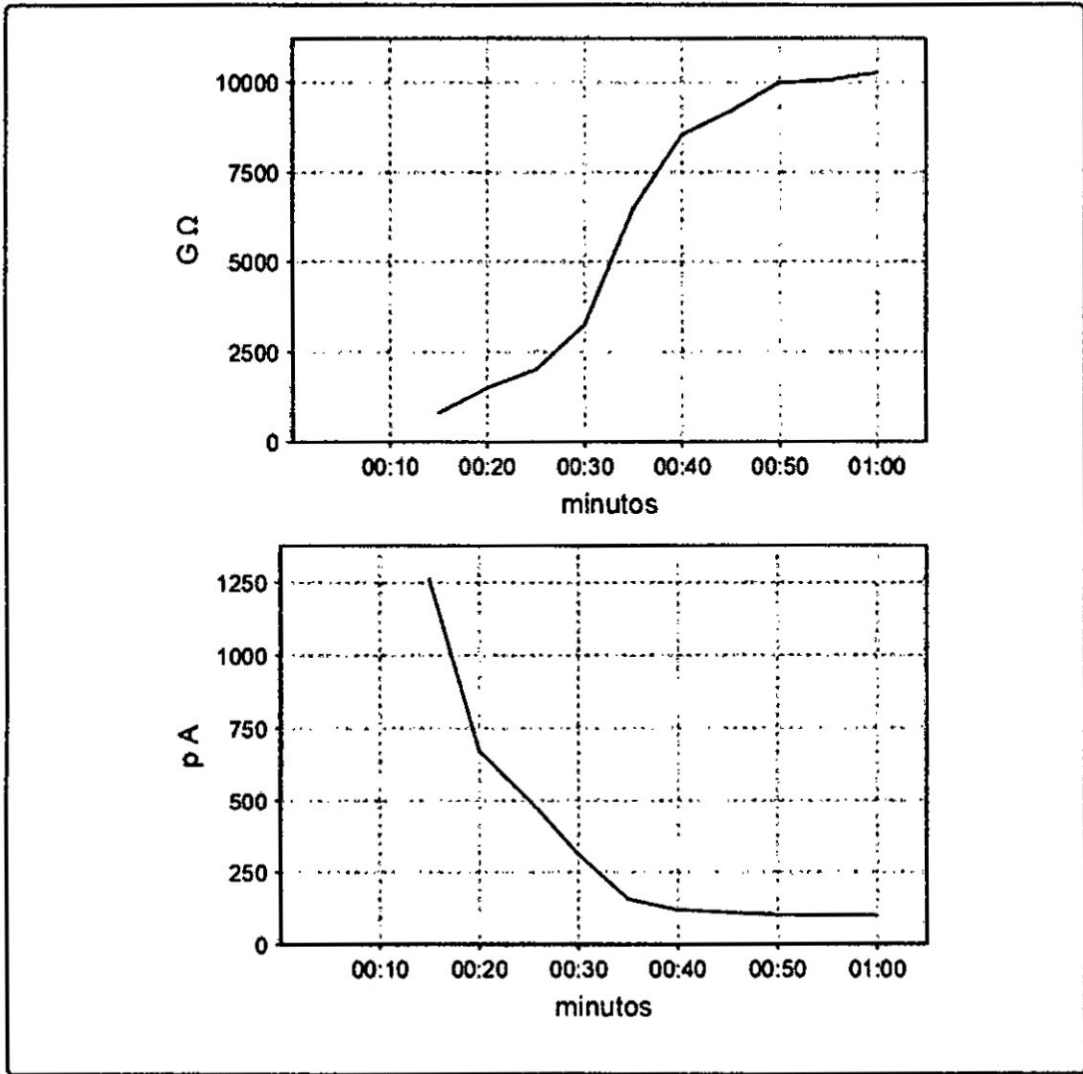
Título RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CABLE NA2XSY 50MM2 SE1 A SE2			
Modelo: MD10KVx	Número de serie: 17D1201	Ensayo número: 548	Fecha y hora: 20/05/2018 12:08
Descripción: Fase R Tramo: SE1 200kVA - SE2 75kVA			
Conclusión: LOS VALORES OBTENIDOS EN LA MEDICION DEL AISLAMIENTO SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS VALORES ACEPTABLES POR ANSI NETA ATS 2009, POR TANTO SE ENCUENTRA EN OPTIMAS CONDICIONES			
DAI: 1,31			



Fuente: Software MegaLogg2

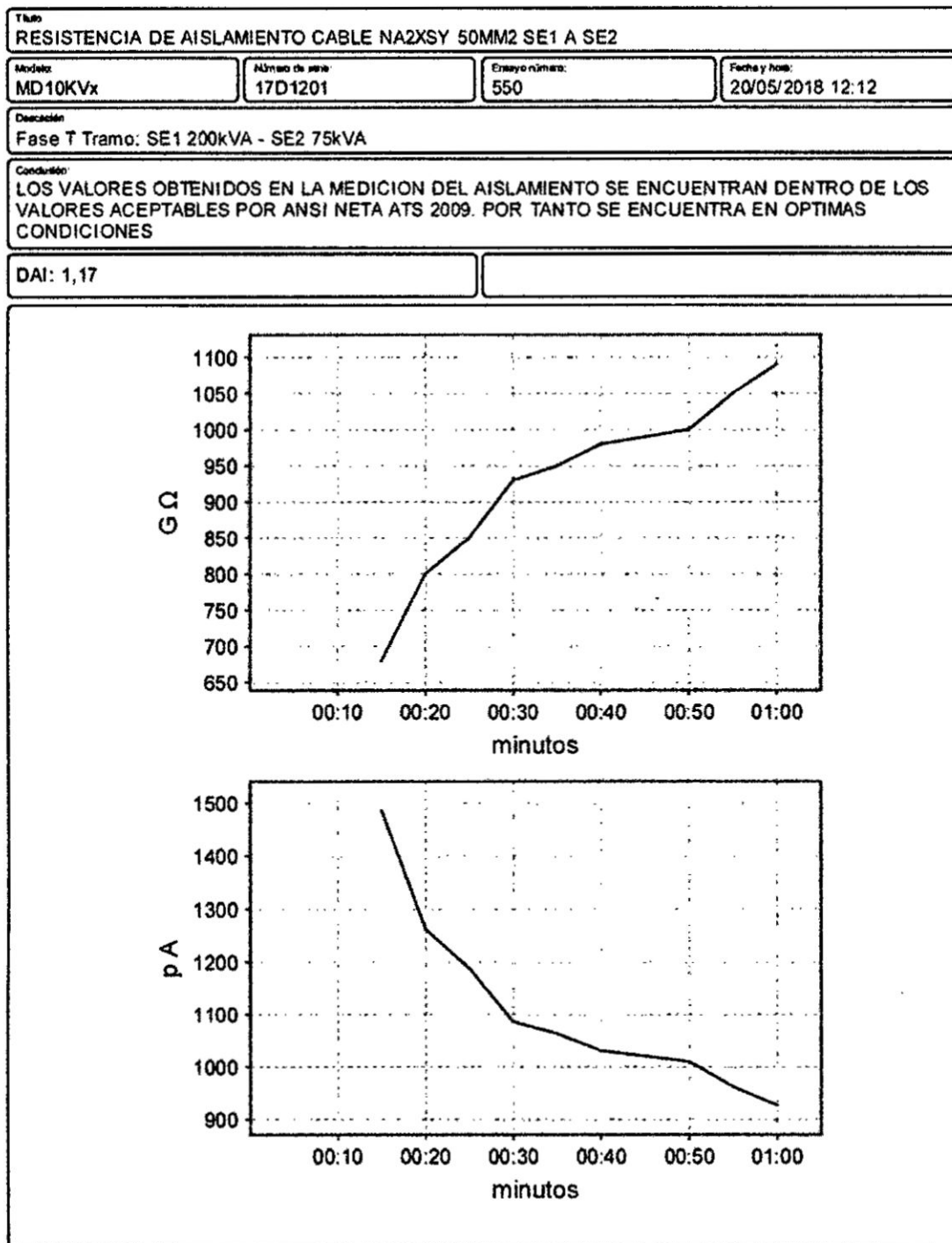
Imagen 56. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE1 →SE2–FASE “S”

Título RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CABLE NA2XSY 50MM2 SE1 A SE2			
Medida: MD10KVx	Número de serie: 17D1201	Ensayo número: 549	Fecha y hora: 20/05/2018 12:10
Descripción: Fase S Tramo: SE1 200kVA - SE2 75kVA			
Conclusión: LOS VALORES OBTENIDOS EN LA MEDICION DEL AISLAMIENTO SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS VALORES ACEPTABLES POR ANSI NETA ATS 2009, POR TANTO SE ENCUENTRA EN OPTIMAS CONDICIONES			
DAI: 3,15			



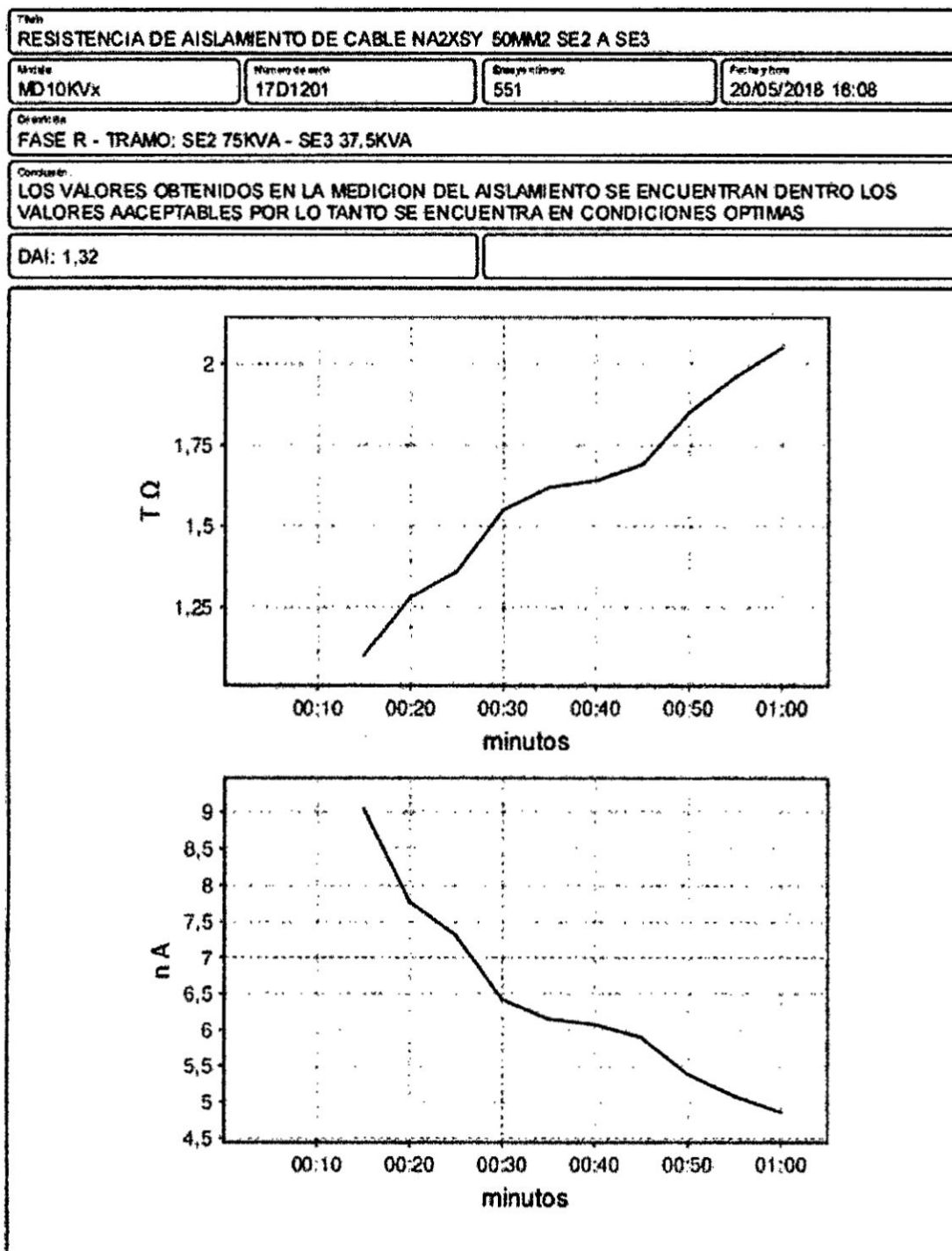
Fuente: Software MegaLogg2

Imagen 57. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE1 →SE2–FASE “T”



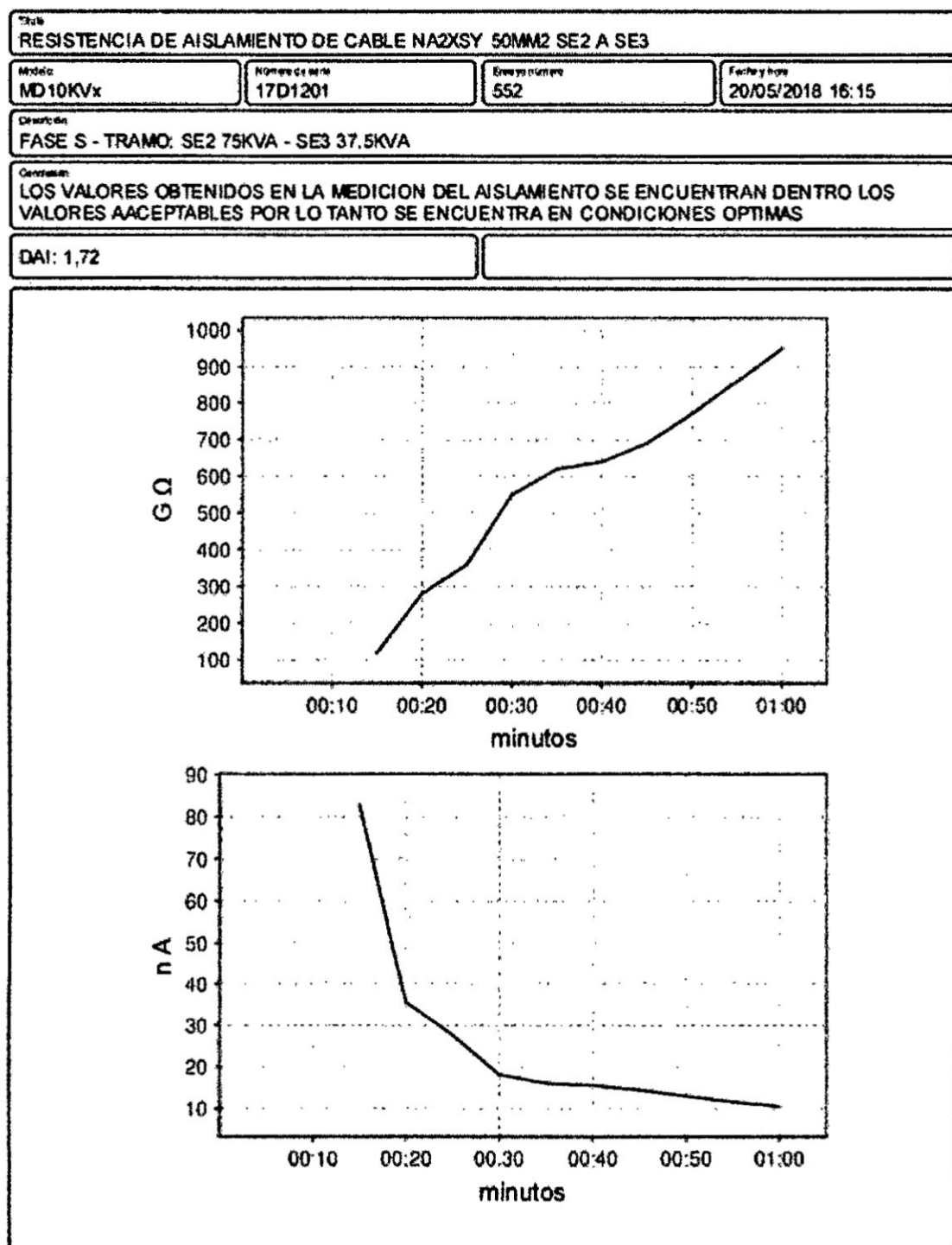
Fuente: Software MegaLogg2

Imagen 58. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE2 →SE3–FASE "R"



Fuente: Software MegaLogg2

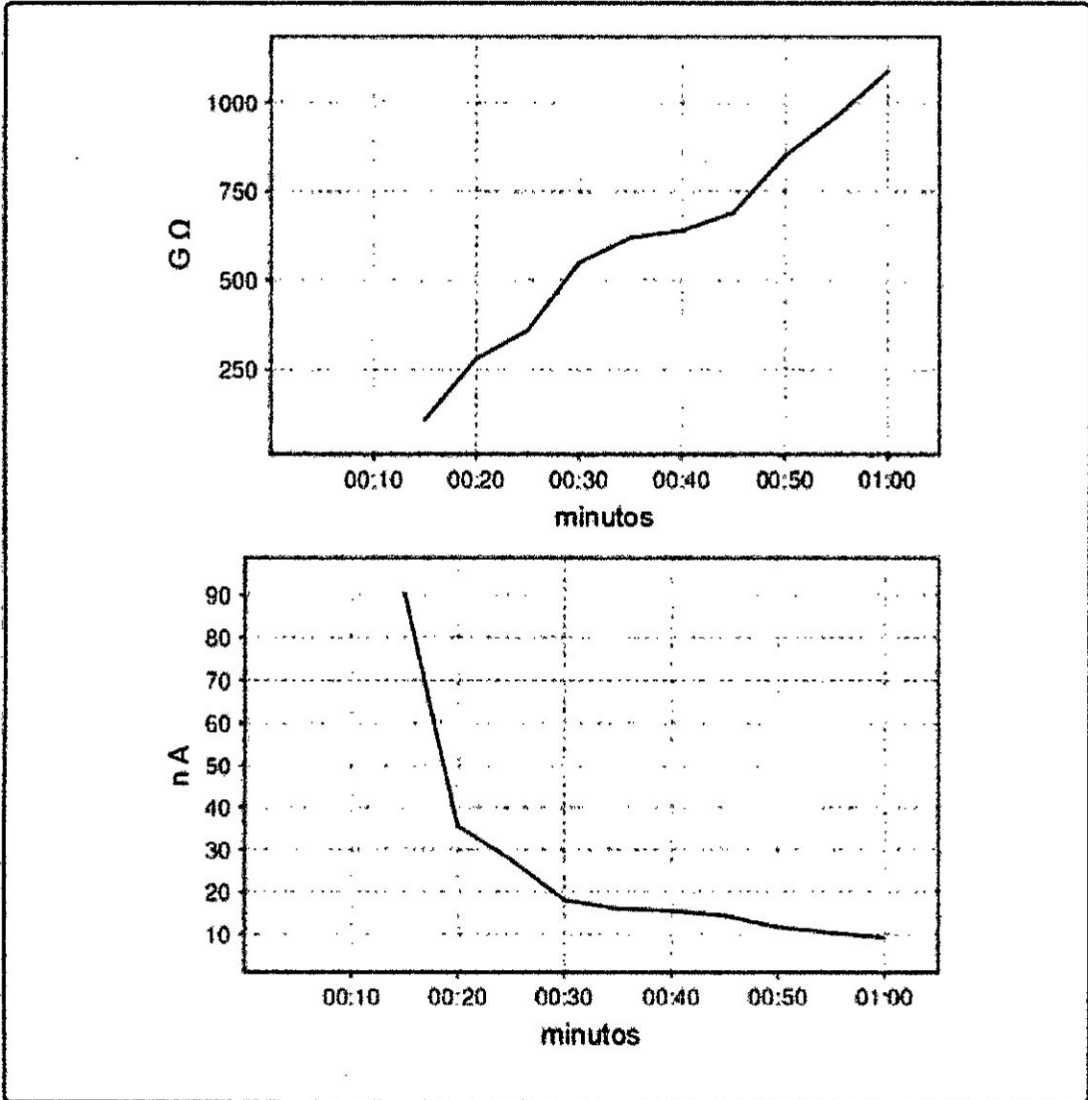
Imagen 59. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE2 →SE3–FASE “S”



Fuente: Software MegaLogg2

Imagen 60. Valores de resistencia de aislamiento Tramo SE2 →SE3–FASE “T”

Título RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CABLE NA2XSJ 50MM2 SE2 A SE3			
Módulo MD10KVx	Número de serie 17D1201	Grupo de datos 553	Fecha y hora 20/05/2018 16:25
Descripción FASE T - TRAMO: SE2 75KVA - SE3 37.5KVA			
Comentarios LOS VALORES OBTENIDOS EN LA MEDICION DEL AISLAMIENTO SE ENCUENTRAN DENTRO LOS VALORES ACEPTABLES POR LO TANTO SE ENCUENTRA EN CONDICIONES OPTIMAS			
DAI: 1,98			



Fuente: Software MegaLogg2

✓ Evaluación de resultados:

Imagen 61. Protocolo de Pruebas

DATOS DEL CABLE					
TIPO	NA2XSY	T° NORMAL	: 90 °C	MARCA	CEPER CABLES
CONDUCTOR	ALUMINO	T° EMERGENCIA	: 130 °C	CUBIERTA	PVC
CAPACIDAD CORRIENTE	157 A	T° CC	: 250 °C	XL	0.246 Ω/km
Vnom. Vs Tierra	18 kV	Seccion Nominal	: 50mm	R. MAX. EN CA	0.822 Ω/km
Vnom. Entre Fases	30 kV	Diam. Cond.	: 8.10mm	CLASE	2
Vmax. Del Sistema	36 kV	Aislamiento	XLPE	NORMA	NTP-IEC-60502-2
Instalacion	Directamente Enterrado	COLOR	ROJO		
PRUEBA INICIAL DE CABLE 3-1X50mm ² (NA2XSY)					
PRUEBA DE CABLE			NUEVO		x
			EN SERVICIO		
CIRCUITO MT			10kV		x
			22.9kV		
VALORES DE PRUEBA					
TIEMPO DE PRUEBA		01 min.	CIRCUITO		SAB 1 - SAB 2
VR	5.00 kV	RESULTADOS	1.18 TΩ	CONFORME	
VS	5.00 kV		R > 10 TΩ		
VT	5.00 kV		1.09 TΩ		
TIEMPO DE PRUEBA		01 min.	CIRCUITO		SAB 2 - SAM3
VR	5.00 kV	RESULTADOS	2.05 TΩ	CONFORME	
VS	5.00 kV		0.95 TΩ		
VT	5.00 kV		1.89 TΩ		
MEGOMETRO					
MARCA	: Megabras				
MODELO	: MD10KVx				
SERIE	: 17D1201				
OBSERVACIONES					
Los valores arrojados despues de la prueba y las tensiones aplicadas estan dentro de los Limites aceptados por la Norma ANSI - NETA - ATS - 2009					
FECHA DE MEDICIÓN : 17 DE ABRIL DE 2018					
HORA:					
INICIO	15:11:00				
FIN	16:20:00				

Fuente: Elaboración Propia

6. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS

Según la hipótesis planteado como: Mediante la elaboración de una metodología lograremos una correcta realización de pruebas en campo, interpretación y evaluación de resultados, teniendo en cuenta para la correcta aplicación de las mismas, normativa nacional e internacional aplicables a cables de energía, se comprueba con este proyecto que con una correcta metodología de realización de pruebas en campo, se previene de fallas por aislamiento en los cables conductores de energía eléctrica y perdidas eléctricas en el sistema eléctrico.

6.2. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES

Imagen 62. Memorándum para ejecución de Pruebas

MEMORANDUM	
A	: Centro de control
DE	: Dpto. Proyectos y Control de Obras MT.
FECHA	: Chacarilla, 05 de marzo de 2015
ASUNTO	: Prueba de aislamiento inicial al cable 400 mm ² NA2XSY de MT de 18/30 KV.
	Alimentador: A-13 Nivel de tensión: 10 kV
	Contratista: TECSUR SST: 1202827

Mediante el presente, informamos a Uds. que se va a disponer lo necesario para efectuar la prueba de rigidez dieléctrica inicial al cable 400 mm² NA2XSY 18/30 KV.

Las pruebas de cable estarán a cargo del Dpto. Servicios Tecsur.

Circuito: De nuevo alimentador A-13 a SE 379.

Fecha: 19 de febrero de 2018

Horarios: 18:00 horas.

El supervisor responsable de la ejecución de los trabajos es el Tec. Axel Najarro G. con nextel: 813*8210.

Notas: Se adjunta el esquema unifilar proyectado correspondiente.

Finalizada la prueba dieléctrica se emitirá un protocolo de la prueba efectuada que será entregada al responsable del circuito.

Fuente: Luz del Sur S.A.A

Se procedió con los trabajos previos a la prueba inicial del cable:

- Se encontró cable enterrado del Alimentador A13 del SET PUENTE con una antigüedad de más de 3 meses, al costado de la canalización del río surco sin la protección debida según nuestras recomendaciones (aislar las puntas con capuchón termo contraíble) en su lugar se encontró punta de botella de plástico con cinta aislante, a este acto sub estándar se adiciona una condición sub estándar que es la fuga de agua de la canalización del río surco.

- Se retiró la cubierta de PVC encontrando agua en el conductor, así mismo el conductor presenta corrosión y sulfatación en la cinta de cobre de tierra del conductor

Imagen 63. Cable en condiciones sub estándar.



Fuente: Propia – Alimentador A13 – SET Puente.

Imagen 64. Cable con corrosión en el conductor.



Fuente: Propia – Alimentador A13 – SET Puente.


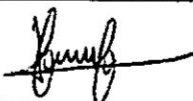

- Teniendo las condiciones encontradas en el cable se realizó la prueba inicial al cable, arrojando un resultado negativo de aislamiento (descarga a tierra).

Imagen 65. Prueba Hipot a cable de Media Tensión.



Fuente: Propia – Alimentador A23 – SET Punte.

Imagen 66. Boleta de conformidad de prueba.

 CONFORMIDAD DE PRUEBA DE CABLE NUEVO Y EN SERVICIO Nº 003153		CIRCUITO MT (SIN TENSION)	
		10KV <input checked="" type="checkbox"/>	22.8KV <input type="checkbox"/>
SOLICITADO POR: I.CC. 50 kw	SUPERVISOR ENCARGADO: Axel Najarro	Nº EST. 1654739 DNI Nº: 44837008	DE: Alimentador A-13 A: SE 379
ÁREA QUE EJECUTA: Mantenimiento	OPERADOR RESPONSABLE: Deyve Peate	DNI Nº: 45512374	FECHA: INICIO: 14/02/18 18:00 FIN: 14/02/18 18:30
PRUEBA DE CABLE:	NUEVO: <input type="checkbox"/>	EN SERVICIO: <input checked="" type="checkbox"/>	VALORES DE PRUEBA TIEMPO DE PRUEBA: 3 min V _R 12 KV / I _R 5000 uA V ₀ 12 KV / I ₀ 5000 uA V _T 12 KV / I _T 5000 uA
	CONFORME: <input type="checkbox"/>	NO CONFORME: <input checked="" type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES: Prueba inicial de Cable. 3-1x400mm ² NARXSY - Valores por debajo del standar, se recomienda cambio de cable.			
EMITE:  RESPONSABLE DE PRUEBAS	RECEPCIONA:  Axel Najarro G. Dpto. Obras de Distribución TECSUR S.A. SUPERVISOR ENCARGADO DEL TRABAJO		

Fuente: Propia – Alimentador A23 – SET Punte.

El área de mantenimiento de la concesionaria realizó una prueba de contrastación con la unidad de control de calidad, Encontrando la falla del cable a 120 metros del final del cable en el recorrido se encontró trabajos de terceros (línea 2 del metro) Se procedió a desenterrar el cable y seccionar en el punto de falla para empalmar con un nuevo cable y completar el recorrido.

Imagen 67. Equipo de ubicación de Fallas.



Fuente: Propia – Alimentador A23 – SET Puento.

Se realizó el empalme en el cable y luego se realizó prueba final al cable con el criterio de que es ahora un cable en servicio con un empalme.

Imagen 68. Boleta de conformidad de prueba.

LUZ DEL SUR		FORMATO		Nº 001724		Código: 1105-PM-075 Versión: 1.00 Aprobado: 1/02 Fecha: 11/02/2018 Página: 1 de 1		
CONFORMIDAD DE PRUEBAS: IDENTIFICACIÓN, SECCIONAMIENTO, PRUEBA DE CABLE Y CORRESPONDENCIA DE FASES								
SECTOR QUE SOLICITA 2. cc. 502kw	SUPERVISOR ENCARGADO B. Quispe	DOCUMENTO N°	CIRCUITO MT EN TENSION <input checked="" type="checkbox"/> 10 KV <input type="checkbox"/> 22.5 KV <input type="checkbox"/> _____					
SECTOR QUE EJECUTA Gestion Elec.	OPERADOR RESPONSABLE Apolinario Dionysio	CLAVE N° 2683	DC: Alimentador A-73 A: SE: 379					
<input type="checkbox"/> IDENTIFICACIÓN	<input type="checkbox"/> CONFORME	<input type="checkbox"/> NO CONFORME	FECHA: 20/02/18		HORA: 17:30		MOTIVO: Reforma Redes	
<input type="checkbox"/> SECCIONAMIENTO	<input type="checkbox"/> CONFORME	<input type="checkbox"/> NO CONFORME						
<input checked="" type="checkbox"/> PRUEBA CABLE	<input checked="" type="checkbox"/> CONFORME	<input type="checkbox"/> NO CONFORME						
<input type="checkbox"/> CORRESPONDENCIA DE FASES (COLORES)	<input type="checkbox"/> CONFORME	<input type="checkbox"/> NO CONFORME						
OBSERVACIONES: tiempo de prueba = 3 minutos			VALORES DE PRUEBA:					
			U _s : 16 (KV)	I _s : 75 (UA)				
			U _s : 16 (KV)	I _s : 75 (UA)				
			U _t : 16 (KV)	I _t : 75 (UA)				
EMITE [Firma] FIRMA OPERADOR RESPONSABLE DE PRUEBAS		RECEPCIONA [Firma] FIRMA SUPERVISOR ENCARGADO DEL TRABAJO						

Fuente: Propia – Alimentador A23 – SET Puento.

7. CONCLUSIONES

- Antes de realizar pruebas Hipot o Tan δ , es necesario descartar fallas severas en el aislamiento, esta verificación se puede hacer por medio de pruebas de resistencia de aislamiento las cuales tienen las siguientes características:
 - Son realizadas aplicando tensiones DC.
 - Las tensiones aplicadas son inferiores a la tensión nominal de los elementos bajo prueba.
 - La duración de la prueba es de 60 s, y se conocen ampliamente como pruebas puntuales de aislamiento.
 - La norma ANSI – NETA – ATS - 2009 en su tabla 100.1, entrega las recomendaciones de la tensión de prueba y los valores aproximados que se deben obtener.
- Las sobretensiones aplicadas en pruebas Hipot, son inyectadas de manera gradual ya sea a manera continua o por pasos de tensión por los siguientes motivos.
 - Los elementos bajo prueba son de altas capacitancias.
 - Si existen puntos débiles en el aislamiento, la falla se expondrá a medida que se incremente la tensión.
- En cuanto a las pruebas Hipot sin importar el tipo de onda a ser implementada se puede destacar los siguiente:
 - Las recomendaciones para la tensión de prueba a ser inyectada han sido establecidas de manera estadística por lo tanto los valores no obedecen a una ecuación en particular excepto para probar los devanados de las máquinas rotativas.
 - El tiempo de prueba no debes ser superior a una hora por dos motivos:
 - Evitar cambios en las condiciones atmosféricas.
 - Las pruebas experimentales han establecido que después de una hora de aplicada la sobretensión la totalidad de las muestras presentan falla en el aislamiento.

- No se debe confundir la finalidad de las pruebas Hipot con la finalidad de las pruebas dieléctricas en general, dado que la finalidad de las pruebas Hipot es hacer que un cable en mal estado evidencie su deterioro por medio de una falla, lo que les da un carácter de prueba destructiva, pasando a un segundo plano los valores obtenidos de corrientes de fuga durante la inyección de tensión.
- El que un equipo eléctrico soporte los esfuerzos dados por la aplicación de una sobretensión a lo largo de una prueba Hipot, no garantiza que el equipo no presente fallas en el sistema de aislamiento una vez sea puesto en servicio.
- Las unidades de prueba DC/VLF brindan las siguientes ventajas en comparación con las unidades de prueba AC a 50-60 Hz.
 - Son más livianos, lo que permite su fácil transporte hasta el sitio de pruebas, la unidad HV60 pesa 60 kg.
 - Son más económicos.
 - La disminución de la frecuencia de prueba, permite un ahorro energético.
- Comparaciones de la tecnología DC y la tecnología VLF.
 - Los criterios de selección de la tensión de prueba para cables son más concretos en DC que en VLF, ya que para DC se especifica no solo la tensión nominal de la muestra, si no su nivel de aislamiento y en algunos casos los calibres del conductor además del espesor del aislamiento.
 - Las unidades VLF permiten realizar no solo pruebas de soporte Hipot, si no también pruebas de diagnóstico como lo son las pruebas Tan δ y descargas parciales (DP).
 - La tecnología DC se recomienda no sea utilizada en cables con más de 5 años en servicio mientras que para la tecnología VLF no hay restricciones en cuanto a la edad de la muestra.
 - La norma IEEE 400.2-2004 avala cuatro tipos de onda de tensión para las unidades de tecnología VLF, pero solo para dos de ellas (la onda sinusoidal y el coseno rectangular), especifica los criterios de prueba.

- El consenso entregado a finales de los 90, indicando que las pruebas de sobretensión en DC, no solo deterioran rápidamente el aislamiento termo rígido de cables de potencia, sino que constituyen un método poco eficiente de la calidad de los aislamientos, fortaleció la implementación de las pruebas en VLF.
- La finalidad de las pruebas Tan δ , no es poner a prueba la capacidad de los aislamientos a soportar esfuerzos eléctricos, es determinar la calidad del aislamiento y el grado de deterioro que tenga, por lo tanto, no es necesario que se realicen las medidas de Tan δ , con valores superiores a la tensión nominal.
- Se demuestra que un procedimiento de pruebas en campo bien elaborado, permite ejecutar los ensayos de manera correcta, aun si las condiciones nos presentan contrariedades, los resultados que se obtienen son los correctos y nos dan una precisión casi exacta por la tecnología de los equipos que se utilizan en la presente investigación, adicional a ello se presenta una serie de recomendaciones explicadas paso a paso, con la finalidad de que el procedimiento de inicio a fin sea el correcto,
- Los resultados demuestran que se ha seguido paso a paso los procedimientos de la presente investigación, así mismo se presentan estudios diferentes donde las conclusiones no fueron las esperadas, para ello se hace mención a las observaciones encontradas y las medidas correctivas a implementar para no incurrir en este tipo de resultados.

8. RECOMENDACIONES

8.1. Preliminares

- ✓ Obtener los permisos de trabajo correspondientes.
- ✓ Identificar los cables de los circuitos a intervenir.
- ✓ Revisar los diagramas unifilares (actualizados) para obtener la información adecuada.
- ✓ Contar con el procedimiento de pruebas aprobado por el área a quien corresponda.
- ✓ Las celdas de los circuitos a intervenir deben estar fuera de servicio o desenergizadas, con bloqueo y puesta a tierra si fuesen necesarios.
- ✓ Contar con los diagramas unifilares (actualizados) de la sub-estación, con la finalidad de identificar los equipos de los circuitos a intervenir.
- ✓ Contar con los manuales, catálogos y resultados de pruebas en fábrica o de rutina (si fuese el caso) del equipo a probar, para tener conocimiento de las recomendaciones de prueba dadas por el fabricante y como referencia comparativa a usar durante la evaluación de resultados.
- ✓ Verificar que el punto de aterramiento de los cables de energía se encuentre conectados firmemente a la puesta a tierra en la subestación.

8.2. Medidas de Control

- ✓ Es necesario identificar el lugar de trabajo, para eliminar y/o disminuir todas las condiciones inseguras.
- ✓ Contar con los equipos de protección adecuados para el tipo de labor a realizar (casco, lentes, arnés, zapatos dieléctricos, etc.).
- ✓ Se debe tener conocimiento absoluto del tipo de medición a realizar para tomar las medidas de control necesarias y eliminar los riesgos asociados a la ejecución de la misma.
- ✓ Un personal de seguridad y/o control, estará ubicado al otro extremo del cable en prueba, en comunicación constante con el personal de pruebas.
- ✓ Toda indicación o acción a ejecutar durante el desarrollo de las pruebas será dada por la persona responsable.

- ✓ Durante el proceso de inyección de voltaje y corriente, todo el personal que participa en los trabajos debe evitar cualquier tipo de intervención o contacto directo con el equipo sometido a pruebas.
- ✓ La función del personal de apoyo sería de vigilar que los cercos de seguridad no sean violados, en caso contrario deberá informar inmediatamente al personal responsable para detener las pruebas.
- ✓ Antes y después de cada prueba se debe descargar a tierra el circuito intervenido, para esto se utilizará una pértiga de tierra, con un aislamiento de 10 kV/1".
- ✓ El personal encargado de realizar esta labor utilizará guantes dieléctricos con un aislamiento adecuado para el nivel de tensión que se está trabajando.

Tabla 38. Trabajos en tensión, guantes eléctricos

Clase	Color	Tensión Alterna Máxima	Tensión Continua
00	Beige	500	750
0	Rojo	1000	1500
1	Blanco	7500	11250
2	Amarillo	17000	25500
3	Verde	26500	39750
4	Naranja	36000	54000

Fuente: diseñados según Normativa IEC 60903

- ✓ La orden de ejecutar esta labor va a ser dada directamente por el responsable de las pruebas.

8.3. Seguridad y Precauciones

Todas las partes implicadas deben ser conscientes que una abrumadora mayoría de los ensayos e inspecciones son potencialmente peligrosas. Las personas que realizan estas pruebas deberán ser capaces de llevar a cabo las pruebas de una manera segura y con pleno conocimiento de los riesgos que entraña.

Prácticas de seguridad deben incluir, pero no se limitan a, los siguientes requisitos:

- ✓ Una persona principal de seguridad deberá ser seleccionada antes de comenzar el trabajo.
- ✓ Uso Obligatorio de EPP's.
- ✓ Realización de AST respectivo.
- ✓ Una charla de seguridad se llevará a cabo antes del inicio de los trabajos dictada por el supervisor de área, capataz o jefe de grupo.
- ✓ Mantener el orden y la limpieza.

Siga siempre estas cinco reglas de seguridad:

- ✓ Desconecte el equipo en su totalidad.
- ✓ Imposibilite una posible reconexión.
- ✓ Verifique la ausencia de tensión en la instalación.
- ✓ Cortocircuite y ponga la instalación a tierra.
- ✓ Establezca la protección correspondiente contra elementos contiguos que estén bajo tensión.

8.4. Protección de puntas de cables subterráneos expuestos a la intemperie

Las puntas de cables, sean de BT o MT deben quedar protegidos: Aislados y sellados, ya sea con material fundente o termo contraíble.

En las actividades relacionadas con cables subterráneos BT o MT, se debe proteger las puntas antes y durante su tendido.

Imagen 69. Protección de puntas de Cables secos.



INCORRECTO



CORRECTO

Fuente: Disposición de Trabajo Contratistas

8.5. Preparación De Cable Seco N2XS_Y / NA2XS_Y (XLPE)

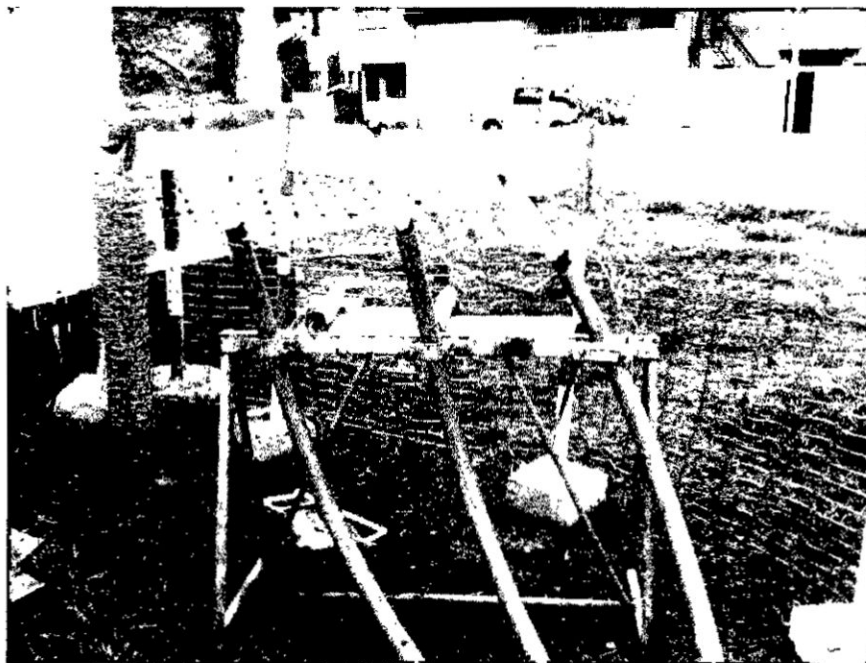
Utilizar guantes de cuero durante el proceso de corte en el cable seco.

Imagen 70. Protección de puntas de Cables secos.



Fuente: Disposición de Trabajo Contratistas

Imagen 71. Preparación de Cables



Fuente: Alivio de carga Alimentador G-14. – La Victoria -SE Hospital Almenara.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ American National Standards Institute/International Electrical Testing Association (2009). **ATS STANDARD FOR ACCEPTANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Equipment and Systems**. USA: International Electrical Testing Association.
- ✓ CENTELSA. (abril 2008). **Cables para Media Tensión**. Cables y Tecnología, 1, 36.
- ✓ Dr. Juan Herber Grados Gamarra. (2015). **Elaboración de Plan de Tesis**. Proyecto de Tesis II, 90.
- ✓ Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2001). **IEEE Std 400 - Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems**. USA: IEEE-SA Standards Board
- ✓ Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007) - **Std 400.1. Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with High Direct Current Voltage**. USA: IEEE-SA Standards Board
- ✓ International Electrical Commission. (2004). **IEC 60840 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**. (Edition Third). USA: International Electrical Commission.
- ✓ Luz del Sur S.A.A. (2013). **Normalización de cables para Redes Subterráneas de Media Tensión**. Perú: Luz del Sur S.A.A.
- ✓ Neuman Elektrotechnik GmbH. (2009). **User Manual KPG 36kV VLF: DIN/VDA 0276-621 - Power cable - Power distribution cable with impregnated paper insulation for medium voltage**. Alemania: Neuman Elektrotechnik GmbH.
- ✓ Norma Técnica Peruana. (2009). **IEC 60502– Cables de energía con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones asignadas de 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) a 30 kV ($U_m = 36$ kV). Parte 2: Cables de tensión asignada de 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) hasta 30 kV ($U_m = 36$ kV)**. (Primera Edición). Perú: Indecopi.
- ✓ OMICRON. (2013). **Manual de Usuario**. España: OMICRON Electronics GmbH.
- ✓ OMICRON. (2015). **Manual de referencia de CP TD1**. España: OMICRON Electronics GmbH.
- ✓ Roberto Hernández Sampieri. (2014). **Metodología de la Investigación Científica**. México: Mc Graw Hill.

ANEXOS

• Matriz de Consistencia

DIAGNOSTICO DE AISLAMIENTO EN CABLES DE ENERGIA EN MEDIA TENSION A PARTIR DE PRUEBAS DE ALTO POTENCIAL Y PRUEBA DE TANGENTE DELTA					
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
<p>1. Problema General</p> <p>¿Cómo la falta de un diagnóstico eficiente y periódico puede generar fallas severas en el aislamiento y por ende en el funcionamiento del sistema eléctrico?</p>	<p>1. Objetivo General</p> <p>Elaborar una metodología para lograr una correcta realización de pruebas en campo, interpretación y evaluación de resultados, teniendo en cuenta la correcta aplicación de las normativas nacional e internacional aplicables a Cables de Energía.</p>	<p>1. Hipotesis General</p> <p>Mediante la elaboración de una metodología lograremos una correcta realización de pruebas en campo, interpretación y evaluación de resultados, teniendo en cuenta para la correcta aplicación de las mismas, normativas nacional e internacional aplicables a cables de energía.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medición del estado del aislamiento en cables de energía. <p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnología de equipos de prueba de aislamiento - Tensión de operación del sistema - Condiciones ambientales 	<p>Tipo de Investigación</p> <p>La presente investigación es del tipo descriptivo explicativo, ya que se recolecta datos del problema a investigar, se miden y evalúan para tener una descripción clara del procedimiento de pruebas y tiene como objetivo responder a las causas de los eventos, sucesos o fenómenos físicos.</p>	<p>Población</p> <p>Las Unidades de pruebas son utilizadas en puestas en servicio y mantenimiento de cables y equipos de maritoba, protección y medición que conforman un patio de llaves instalados en Empresas de Distribución y grandes complejos Industriales, mineros, comerciales, entre otros dentro del territorio peruano.</p>
<p>2. Problemas Específicos</p> <p>PE1: ¿Cómo la falta o mala interpretación de los resultados de las pruebas afecta al aislamiento y al sistema eléctrico?</p>	<p>2. Objetivo Específicos</p> <p>OE1: Evaluar con criterio los resultados mostrados en los equipos de prueba, para brindar una información correcta con relación al estado del aislamiento.</p>	<p>2. Hipotesis Secundarias</p> <p>HS1: A través de un procedimiento bien estructurado y elaborado, basado en normativa aplicable a cables de energía, el procedimiento de pruebas en campo arrojará valores reales y exactos para su posterior evaluación.</p>		<p>Diseño de la Investigación</p> <p>El enfoque de nuestra investigación es Cuantitativo, ya que se aplica la investigación de las Ciencias Físico-Naturales, estudio y analiza la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición. Permite un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar ensayos y obtener explicaciones contrastadas a partir de hipótesis y normativa. Sus instrumentos suelen recoger datos cuantitativos los cuales también incluyen la medición sistemática, y se emplea el análisis estadístico como característica resaltando.</p>	<p>Muestra</p> <p>Nuestras muestras serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La Subestación Eléctrica Principal del Complejo Cementero UNACEM, ubicado en el distrito de La Unión - Tarma, donde se realizaron las pruebas de Tangente Delta y Megado a Cables de Aislamiento termoplástico. - La Subestación Eléctrica Principal de la Refinería La Pampilla - Repsol, ubicada en el distrito de Ventanilla, provincia del Callao, donde se realizaron pruebas de Alto potencial en V.L.F a cables de aislamiento termoplástico. - Reforma para Cliente "Inversiones Larco II- Miraflores", donde se realizó la Prueba Hipot DC a cables XLPE de 400mm². - Sistema de Utilización en 22.9 (Operación Inicial 10KV), Operaciones Funerarias Jardines de la Paz La Molina, donde se realizó prueba de Megado de Cables NAXSY 50mm² XLPE.
<p>PE2: ¿Es posible que un procedimiento de pruebas bien elaborado nos permita obtener datos importantes y necesarios en campo para decidir si el sistema eléctrico necesita de un mantenimiento?</p>	<p>OE2: Establecer lineamientos para una correcta realización de pruebas en campo para una futura toma de decisiones respecto al estado del aislamiento y por ende del sistema eléctrico.</p>	<p>HS2: Mediante la evaluación de los resultados, llámese valores numéricos, gráficas y/o porcentajes mostrados en los equipos de prueba, se brindará una información correcta con relación al estado del aislamiento.</p>			

Se recomienda realiza un ensayo de tensión con corriente continua de la cubierta exterior según el apartado 20.1, y si se requiere, un ensayo de aislamiento según el apartado 20.2. Para las instalaciones en la que solamente se realice el ensayo de cubierta exterior según el apartado 20.1, por acuerdo entre fabricante y contratista puede reemplazarse el ensayo sobre aislamiento por la aplicación de procedimientos de gestión de la calidad durante la instalación de los accesorios.

20.1 Ensayo de tensión a corriente continua en la cubierta exterior

Entre cubierta metálica o pantalla metálica y tierra debe aplicarse el nivel de tensión y la duración especificados en el Capítulo 5 de la NTP-IEC 60229.

Para que el ensayo sea efectivo, es necesario que la tierra haga un buen contacto con toda la superficie externa de la cubierta exterior. Puede ayudar en este sentido colocar un revestimiento conductor en la cubierta exterior.

20.2 Ensayo de aislamiento

20.2.1 Ensayo con corriente alterna

Previo acuerdo entre el comprador y el contratista, puede utilizarse un ensayo de tensión con corriente alterna a frecuencia industrial según los apartados a) o b) siguientes:

- a) ensayo de 5 min con la tensión entre fases del sistema aplicada entre el conductor y la pantalla o cubierta metálica;
- b) ensayo de 24h con la tensión de servicio normal del sistema.

20.2.2 Ensayo con corriente continua

Como alternativa al ensayo de corriente alterna, puede realizarse un ensayo de tensión con corriente continua, aplicando durante 15 min tensión 4 Uo.

NOTA 1: El ensayo con corriente puede dañar el aislamiento del sistema en ensayo. Otros métodos de ensayo están en estudio.

NOTA 2: Para instalaciones que ya han estado en servicio, pueden utilizarse tensiones o tiempos inferiores. Los valores deberían negociarse, teniendo en cuenta la edad el ambiente, el historial de cortes del servicio y la finalidad de llevar a cabo el ensayo.

- **IEEE Std. 400.2 – 2004**

IEEE Std 400.2–2004

IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)

5.1 General VLF testing

5.1.1 VLF test parameters

During a VLF test an electrical tree at the site of an insulation defect is forced to penetrate the insulation. Inception of an electrical tree and channel growth time are functions of test signal frequency and amplitude. For an electrical tree to completely penetrate the insulation during the test duration, VLF test voltage levels and testing time durations have been established for the two most commonly used test signals, the cosine-rectangular and the sinusoidal wave shapes.

The voltage levels (installation and acceptance) are based on most-used practices world-wide of between 2 U_0 and 3 U_0 , where U_0 is the rated voltage for cables rated between 5 kV and 35 kV. The maintenance test level is about 80% of the Acceptance test level. One can reduce the test voltage another 20% if more test cycles are applied (Bach [B2]; Baur, Mohaupt, and Schlick [B5]; Krefter [B16]).

Table 4 and Table 5 list voltage levels for VLF withstand testing of shielded power cable systems using cosine-rectangular and sinusoidal waveforms (Bach [B2]; Eager et al. [B7]; Krefter [B16]; Moh [B17]). For a sinusoidal waveform the rms is 0.707 of the peak value if the distortion is less than 5%.

Table 4 —VLF test voltages for cosine-rectangular waveform (see Note 1)
10.

Cable rating phase to phase	Installation (see Note 2) phase to ground	Acceptance (see Note 2) phase to ground	Maintenance (see Note 3) phase to ground
rms voltage in kV	rms voltage/peak voltage	rms voltage/peak voltage	rms voltage/peak voltage
5	12	14	10
8	16	18	14
15	25	28	22
25	38	44	33
35	55	62	47

NOTES

1—For cosine-rectangular waveform the rms is assumed to be equal to the peak value.

2—The results of field tests on over 15000 XLPE cable circuits tested showed that ~68% of the recorded failures occurred within 12 minutes, ~89% within 30 minutes, ~95% after 45 minutes, and 100% after 60 minutes (Moh [B17]). The recommended testing time varies between 15 and 60 minutes, although the data in Moh [B17] suggest a testing time of 30 minutes. The actual testing time and voltage may be defined by the supplier and user and depend on the testing philosophy, cable system, insulation condition, how frequently the test is conducted, and the selected test method. Testing databases or Eager et al. [B7] may be consulted when choosing a preferred testing time. When a VLF test is interrupted, it is recommended that the testing timer be reset to the original time when the VLF test is restarted.

3—For a 0.1 Hz VLF test voltage, the suggested maintenance voltage duration is 15 minutes (Eager et al. [B7]).

Table 5 —VLF test voltage for sinusoidal waveform (see Note 1)

Cable rating phase to phase	Installation (see Note 2) phase to ground	Acceptance (see Note 2) phase to ground	Maintenance (see Note 3) phase to ground
rms voltage in kV	rms voltage or (peak voltage)	rms voltage or (peak voltage)	rms voltage or (peak voltage)
5	9 (13)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)

NOTES

1—For sinusoidal VLF the voltages are given in both rms and peak values. For a sinusoidal waveform the rms is 0.707 of the peak value if the distortion is less than 5%.

2—The results of field tests on over 15000 XLPE cable circuits tested showed that ~68% of the recorded failures occurred within 12 minutes, ~89% within 30 minutes, ~95% after 45 minutes, and 100% after 60 minutes (Moh [B17]). The recommended testing time varies between 15 and 60 minutes, although the data in Moh [B17] suggest a testing time of 30 minutes. The actual testing time and voltage may be defined by the supplier and user and depend on the testing philosophy, cable system, insulation condition, how frequently the test is conducted, and the selected test method. Testing databases or Eager et al. [B7] may be consulted when choosing a preferred testing time. When a VLF test is interrupted, it is recommended that the testing timer be reset to the original time when the VLF test is restarted.

3—For a 0.1 Hz VLF test voltage; the suggested maintenance voltage duration is 15 minutes (Eager et al. [B7]).

VLF testing methods utilize AC signals at frequencies in the range of 0.01 Hz to 1 Hz. The most commonly used, commercially available VLF test frequency is 0.1 Hz. Other commercially available frequencies are in the range of 0.0001 Hz to 1 Hz. These frequencies may be useful for diagnosing cable systems where the length of the cable system exceeds the limitations of the test system at 0.1 Hz, although there is evidence that testing below 0.1 Hz may increase the risk of failure in service following the test in Moh [B17]. The internal impedance of the test set can limit the available charging current, preventing the cable under test from reaching the required test voltage. Testing databases; Eager et al. [B7]; or Baur, Mohaupt, and Schlick [B5] may be consulted when selecting an initial test voltage level and testing time duration for a particular cable length.

VLF test voltages with cosinc-rectangular and the sinusoidal wave shapes are most commonly used. While other VLF wave shapes are available for testing of cable systems, recommended test voltage levels have not been established.

.1.2 Testing considerations

- A route map should be available to ensure personnel are familiar with the cables involved, the location of open points, where the cables or joints may be accessible, and the types of cable constructions used.
- The test set used must be sufficiently powerful to supply and dissipate or recover the total cable system charging energy during every cycle.
- In withstand tests, if the cable fails, fault locating may be required.
- In extreme cases in diagnostic testing, when the cable insulation is in an advanced condition of degradation, the diagnostic tests can cause breakdown before the test can be terminated.
- At the conclusion or at an interruption of a VLF test, the test object should be grounded immediately.