



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Maestría en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Resistencia de aislamiento de cables asilados de media tensión

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

AUTOR:

Ing. Israel Andrés Rodríguez Ojeda

DIRECTOR:

Dr. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 10 de enero de 2023

Dr. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Resistencia de aislamiento de cables asilados de media tensión** , previo a la obtención del título **de Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, de la autoría del estudiante **Israel Andrés Rodríguez Ojeda** , con **cedula de identidad N° 1900463116** , una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Dr. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Autoría

Yo, **Israel Andrés Rodríguez Ojeda**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad:1900463116

Fecha: 9 de febrero de 2023

Correo electrónico: risraelandres@gmail.com

Teléfono: 0998608301

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación

Yo, **Israel Andrés Rodríguez Ojeda** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Resistencia de aislamiento de cables asilados de media tensión**, como requisito para optar el título de **Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de febrero del dos mil veintitrés.

Firma:

Cédula de Identidad: 1900463116

Dirección: Fleming y Hegel (Loja)

Correo electrónico: risraelandres@gmail.com

Teléfono: 0998608301

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Dr. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

Dedicatoria

A mi amada Lucia, en los tiempos de oscuridad has sido la luz que ha guiado mi camino

Israel Rodríguez

Agradecimiento

Agradezco a mis amigos, Jackson, Gabriel y Cristian; por su apoyo incondicional. A Pepe José mi amigo incondicional por todos esos ánimos y los consejos que siempre me has sabido brindar.

A mis padres y hermanos, que sin su entendimiento nunca habría sido posible la consecución de este nuevo escalón, sé que desde hace muchos años me he perdido fechas importantes y agradezco que siempre puedan comprender.

A mi segunda madre Gladys Lucia, con quién siempre estaré agradecido, pues sus consejos, su cariño y su siempre predisposición a apoyarme ha sido primordial en toda mi vida.

A Crusk, mi compañera, gracias por entender mi ausencia en este caminar, Dios sabe que ha sido en búsqueda de mejores días.

Al Ingeniero Jorge Carrión por la dirección de esta investigación, sin su ayuda hubiera sido imposible la realización del mismo.

Israel Rodríguez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización por parte del autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	ix
Índice de Figuras:.....	x
Índice de Anexos:	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1 Conductores eléctricos aislados.....	7
4.2 Pruebas de aislamiento	8
4.3 Norma IEEE 400.2: Guía IEEE para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación blindados utilizando frecuencia muy baja (VLF) (menos de 1 Hz).	9
4.4 IEEE 400.3: Guía IEEE para pruebas de descarga parcial de cables de Sistemas de alimentación blindados en un entorno de campo.	10
4.5 IEEE 400.5: Guía para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación de CC blindados que utilizan corriente continua de alto voltaje (HVDC).	12
4.5.1. Evaluación de Resultados:.....	14
4.6 ANSI/NETA MTS-2019 Especificaciones de pruebas de mantenimiento para equipos y sistemas de energía eléctrica	15
4.6.1 Cables, bajo voltaje.....	15

4.6.2 Cables blindados, media y alta tensión.....	16
4.6.2.1 Resistencia dieléctrica.....	18
4.6.2.2 Pruebas de diagnóstico.....	18
4.6.2.3 Valores de prueba: visuales y mecánicos.....	18
4.6.2.4 Valores de prueba:	21
5. Metodología	23
6. Resultados.....	27
7. Discusión	28
8. Conclusiones	29
9. Recomendaciones	30
10. Bibliografía	31
11. Anexos	33

Índice de tablas:

Tabla 1.	Tipos de Aislamiento y sus características.....	7
Tabla 2.	Valores de Prueba para HI-POT	8
Tabla 3.	Sujetadores estándar de EE. UU. Sujetadores de aleación de aluminio, Torque (libras-pies)	16
Tabla 4.	Valores de torsión de pernos para conexiones eléctricas Sujetadores estándar de EE. UU. Acero tratado térmicamente: cadmio o zincado	19
Tabla 5.	Radio s mínimos para cable de alimentación Cables monoconductores y multiconductores con armadura entrelazada, Revestimiento de aluminio liso o corrugado o revestimiento de plomo	20
Tabla 6.	Valores de prueba de resistencia de aislamiento aparatos y sistemas eléctricos	21
Tabla 7.	Datos técnicos de la prueba de aislamiento	23
Tabla 8.	Condiciones Ambientales	24
Tabla 9.	Equipo de prueba	24
Tabla 10.	Resultado.....	24
Tabla 11.	Valores de prueba de resistencia de aislamiento aparatos y sistemas eléctricos ANSI/NETA-MTS-2017.....	25

Índice de Figuras:

Figura 1. Conexión de prueba recomendada 5

Índice de Anexos:

Anexo 1. Normativa ANSI/NETA MTS-2019	33
Anexo 2. Certificación de traducción del resumen.....	34

1. Título

Resistencia de aislamiento de cables asilados de media tensión.

2. Resumen

En el presente trabajo de investigación, se expone el procedimiento de análisis para determinar la resistencia de aislamiento en conductores aislados de media tensión, donde se analiza el método Hi-Pot no destructivo, se fundamenta teóricamente los procesos como pruebas de aislamiento y normativas.

Se efectúa una revisión de la normativa ANSI/NETA MTS-2019, la cual permite establecer si un conductor puede ser energizado, se determina que la mayoría de literatura técnica revisada utiliza como base de cálculo la normativa ANSI/NETA MTS-2019 y el estándar IEEE-400.2

Palabras claves:

Resistencias de aislamiento, Hi-Pot, cables aislados, conductores eléctricos

2.1 Abstract

In the present research work, the analysis procedure to determine the insulation resistance in medium voltage isolated conductors is exposed, where the non-destructive Hi-Pot method is analyzed, the processes such as insulation tests and regulations are theoretically based.

A review of the ANSI/NETA MTS-2019 standard is carried out, which allows establishing whether a conductor can be energized, it is determined that most of the reviewed technical literature uses the ANSI/NETA MTS-2019 standard and the standard IEEE-400.2.

Keywords: Insulation resistors, Hi-Pot, insulated cables, electrical conductors

3. Introducción

Los cables y elementos eléctricos subterráneos poseen una característica de aislamiento que permite su correcto funcionamiento. Los conductores de media tensión como todos los componentes que comprenden la red de media tensión deben poseer un nivel de aislamiento para la protección de voltajes, corrientes y posibles campos electromagnéticos. Estos cumplen un rol fundamental en la prestación de servicio y en la confiabilidad de las redes de distribución (Mayora et al., 2019, p. 1).

Existen algunos procedimientos por los cuales se pueden realizar el análisis de aislamiento de un conductor, como es la prueba Hi-Pot (Alta potencia); esta consiste en aplicar un voltaje de corriente directa o alterna a la terminal en seis intervalos, estos valores dependen del voltaje nominal de la terminal y se obtiene una lectura de corriente de fuga en micro amperes, la gráfica de voltaje y corriente que se obtiene es la curva Hi-Pot. Para interpretar estos valores se requería un especialista con vasta experiencia para determinar el estado del conductor. Por este motivo esta prueba no se realizaba debido al desconocimiento sobre la interpretación de los valores, generándose la falla de los conductores en mediado o corto plazo, a partir del año 2000 se estandarizan e implementan normativas para su correcta interpretación (MARTINEZ RODRIGUEZ, 2002, p. 4)

Los materiales más usados para transmisión de energía eléctrica son el PE y XLPE, y se los utiliza en líneas de transmisión de hasta 230 kV. El XLPE es el primer material extruido utilizado para cables de transmisión, esta elección es debido a su facilidad de procesamiento y manejo (Tuza, 2017, p. 11).

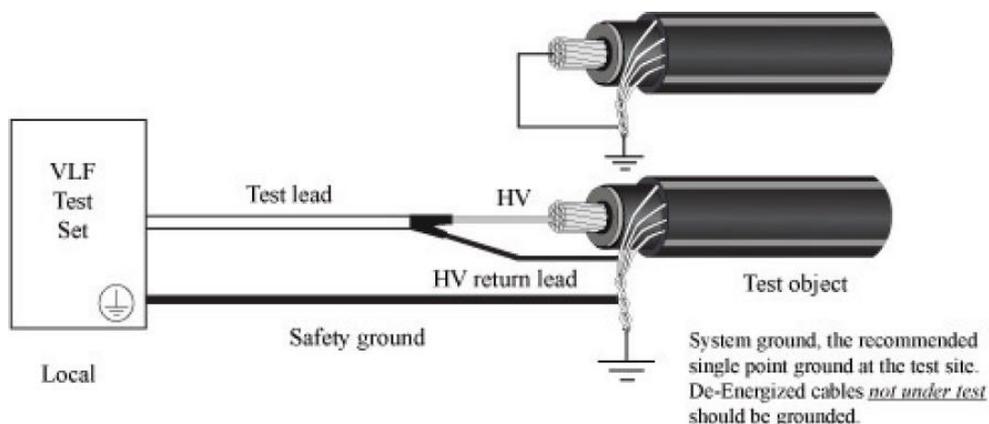
Las normativas existentes describen el procedimiento para realizar pruebas de resistencia de aislamiento para cables de media tensión, donde después de la aplicación de la prueba de HI-POT, el equipo con el cual se realiza la prueba de aislamiento muestra los resultados obtenidos, los cuales son comparados con los detallados en las normativas para determinar si la resistencia obtenida en el cable de prueba cumple con un mínimo de aislamiento para la tensión aplicada. En los cables XLPE una prueba de tensión DC, resulta ser ineficiente por cuanto puede causar daños al recubrimiento XLPE.

ANSI/NETA –MTS 2019 es una normativa internacional, donde se establece todo un procedimiento para realizar pruebas de aislamiento tanto en conductores, como transformadores y elementos que comprenden una red eléctrica, es muy detallado en cuanto a preparación del cable y equipo de prueba, también describe la tensión que se debe aplicar para la obtención de resultados y una tabla comparativa de los valores mínimos. Es importante mencionar que las pruebas VLF (*Very Low Frequency*) son las más aptas para realizar el cálculo de resistencia del aislante.

Las pruebas de aislamiento para cables en DC (corriente directa) pueden destruir el aislamiento del cable, por lo cual si son realizadas in situ pueden afectar la integridad de los cables y la red, emplear las pruebas VLF es eficiente, puesto que se aplica tensión alterna de muy baja frecuencia entre 0,1 y 0,01 HZ.

Las VLF y otras pruebas de diagnóstico y las mediciones que se realizan en el campo en cables apantallados de media y alta tensión envejecidos para servicio de 5 kV a 69 kV con aislamiento laminado y extruido. Los métodos de prueba VLF utilizan señales de CA a frecuencias inferiores a 1 Hz. La frecuencia de prueba VLF más comúnmente utilizada, disponible comercialmente, es de 0,1 Hz. Siempre que sea posible, los sistemas de cables se tratan de manera similar a los cables individuales. A continuación, en la figura 1 se muestra un esquema de la conexión para realizar la prueba de aislamiento en VLF.

Figura 1. Conexión de prueba recomendada



Fuente:(IEEE 400.2, 2022, p. 7)

Objetivo general:

Determinar un procedimiento para validar el aislamiento de conductores de media tensión

Objetivos específicos:

- Analizar la normativa internacional para medir aislamiento de cables de media tensión.
- Proponer un procedimiento de análisis considerando las recomendaciones expuestas en la norma ANSI/NETA MTS-2019 para evaluar el aislamiento de conductores de media tensión.
- Validar el procedimiento propuesto con un análisis de una prueba realizada a conductores de media tensión

4. Marco teórico

4.1 Conductores eléctricos aislados

Los conductores deben presentar una baja impedancia o resistividad, para poder evitar al máximo las pérdidas, existen algunos conductores como el cobre, el aluminio, la plata, el oro, etc. Pero por la rentabilidad económica se emplea el cobre y el aluminio. También se considera que debe poseer características como: ampacidad, estrés de tensión, pérdidas en el conductor, radio de curvatura y flexibilidad (Guamán Vázquez & Pesántez Delgado, 2014, p. 3).

El aislante presenta una conductividad tan baja que el paso de corriente por el mismo es despreciado, siendo necesario para aislar entre si los conductores de la tierra y modificar en gran proporción el campo eléctrico que lo atraviesa, los materiales aislantes que se presentan no tienen un grado de aislamiento del 100% puesto que al atravesarlos con una diferencia de potencial presentan corrientes de desplazamiento, absorción de corriente, paso de corriente de conducción. Los materiales aislantes proporcionan un grado de seguridad aislante al paso de corrientes eléctricas, y están compuestos generalmente por polímero, sintético o natural. Aunque la selección del polimérico puede variar de acuerdo a la clase de tensión que vaya a soportar el cable (Guamán Vázquez & Pesántez Delgado, 2014, p. 7)

Las propiedades aislantes de los materiales que deben mantenerse en teoría sin deteriorarse son: resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica, factor de pérdidas dieléctricas, resistencia de arco, en la tabla 1 se presenta información de los materiales y sus características.

Tabla 1. Tipos de Aislamiento y sus características

Tipo de Aislamiento	Información Clave
PE (polietileno de baja densidad)	Bajas pérdidas dieléctricas Sensibilidad a la humedad
XLPE (Polietileno reticulado) EP(EPR/EPD)	Pérdidas dieléctricas superior a las del PE Menos sensible a la humedad, envejece mejor que PE Pérdidas dieléctricas altas frente a XLPE o TRXLPE
TX-XLPE	Flexible y sensible a la humedad de XLPE Similar a XLPE pero presenta un poco más de pérdidas.
PILC	Alta fiabilidad. Posee cubierta de plomo Debe contener un plastificante para flexibilidad.

PVC

Perdidas dieléctricas más altas.
Produce gases tóxicos.

Fuente: (Guamán Vázquez & Pesántez Delgado, 2014, p. 8)

4.2 Pruebas de aislamiento

Las pruebas de aislamiento se desarrollan por el método Hi-Pot las cuales 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 una ruptura. En términos generales las pruebas de Hi-Pot reflejan la capacidad de aislamiento para soportar esfuerzos eléctricos (Casas Figueroa et al., 2018, p. 30).

En la prueba de Hi-Pot se aplica deliberadamente una tensión superior a la tensión nominal de operación del elemento a analizar, esta tensión se establece en la tabla 2. La tensión es aplicada con incrementos ya sea de manera constante o escalonada (Casas Figueroa et al., 2018, p. 30)

Procedimiento de medición de resistencia de aislamiento

- Desconecte el cable que se probará de otros equipos y circuitos electrónicos.
- Para asegurarse de que no esté energizado, descargue toda la capacitancia almacenada en el cable conectándola a tierra antes de las pruebas, así como después de completar las pruebas.
- Conecte el terminal de línea del instrumento al conductor que se va a probar.
- Conecte a tierra todos los demás conductores a la funda y a tierra.
- Conecte al terminal de tierra del conjunto de prueba.
- El terminal de guarda del megóhmetro se puede usar para eliminar los efectos de la fuga de superficie a través del aislamiento expuesto en la prueba extremo del cable, o ambos extremos del cable por fugas a tierra (Boldrini Valdivia, 2018, p. 41)

Tabla 2. Valores de Prueba para HI-POT

Rango Voltaje de Cables (V)	Voltaje de Prueba (V)
>300	500
300-600	500-100
2400-5000	2500-5000
5000-15000	5000-15000
<150000	10000-15000

Fuente. Datos tomados ([PDF] Electrical Power Equipment Maintenance and Testing by Paul Gill eBook / Perlego, 2022, p. 41)

La asociación Internacional de Ingenieros Eléctricos y electrónicos (IEEE), ha desarrollado algunas normas donde se establecen parámetros para las diferentes pruebas de campo de aislamiento, se destacan las siguientes:

- IEEE 386: Estándar IEEE para sistemas de conectores aislados separables para alimentación de sistemas de distribución con capacidad nominal de 2,5 kV a 35 kV.
- IEEE 399: Práctica recomendada de IEEE para energía industrial y comercial análisis de sistemas.
- IEEE 400: Guía IEEE para pruebas de campo y evaluación del aislamiento de sistemas de cable de alimentación blindados con clasificación de 5 kV y superior.
- IEEE 400.1: Guía IEEE para pruebas de campo de potencia blindada dieléctrica laminada, sistemas de cable con clasificación de 5 kV y superior, con alto voltaje de corriente continua.
- IEEE 400.2: Guía IEEE para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación blindados utilizando frecuencia muy baja (VLF) (menos de 1 Hz).
- IEEE 400.3: Guía IEEE para pruebas de descarga parcial de cables de sistemas de alimentación blindados en un entorno de campo.
- IEEE 400.4: Guía IEEE para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación blindados con clasificación 5 kV y más con tensión de corriente alterna amortiguada (DAC).
- IEEE 400.5: Guía para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación de CC blindados que utilizan corriente continua de alto voltaje (HVDC).

A continuación, se describen los conceptos más relevantes:

4.3 Norma IEEE 400.2: Guía IEEE para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación blindados utilizando frecuencia muy baja (VLF) (menos de 1 Hz).

Esta norma establece las formas de onda, magnitudes y frecuencia que se pueden aplicar como fuente para las pruebas de campo de sobretensión, los problemas que pudieren presentarse con las diferentes formas de onda, la duración de las pruebas y que información de diagnóstico que pueden obtener cuando se aplica estos voltajes.

Los métodos de prueba de CA de VLF utilizan señales de CA en el rango de frecuencia de 0.01 Hz a 1 Hz. En la prueba de resistencia, el objeto de prueba debe sobrevivir a un voltaje especificado aplicado a través del aislamiento durante un período de tiempo específico sin que se rompa el aislamiento. La magnitud de la tensión soportada suele ser mayor que la tensión de funcionamiento. Si el aislamiento del cable está suficientemente degradado, puede producirse una avería. El sistema de cables puede repararse y volver a probarse el aislamiento hasta que pase la prueba de resistencia. Las pruebas de diagnóstico permiten determinar la cantidad relativa de degradación de una sección del sistema de cable y establece, en comparación con los datos acumulados, si es probable que una sección del sistema de cable continúe funcionando correctamente en servicio (IEEE 400.2, 2022, pp. 7-8).

Métodos de prueba de diagnóstico VLF:

- Medición delta tangente VLF (VLF-TD);
- Medición diferencial tangente delta VLF (VLF-DTD);
- Estabilidad temporal delta tangente de VLF (VLF-TDTS);
- Espectroscopía dieléctrica VLF (VLF-DS);
- Armónicos de corriente de pérdida VLF (VLF-CH).
- Corriente de fuga VLF (VLF-LC).
- Medición de descargas parciales (PD) VLF (VLF-PD);
- Resistencia monitorizada VLF (VLF-MW).

4.4 IEEE 400.3: Guía IEEE para pruebas de descarga parcial de cables de Sistemas de alimentación blindados en un entorno de campo.

Esta normativa establece en su interpretación que las descargas parciales son consecuencia de la ruptura local como resultado de un aumento del campo eléctrico dentro o sobre la superficie del aislamiento, o una región de bajo campo de ruptura. Los pulsos de descarga parcial aparecen como eventos individuales de muy corta duración; van siempre acompañadas de emisiones de luz, sonido y calor, así como de pulsos electromagnéticos; y a menudo resultan en reacciones químicas.

Los parámetros de pulsos de descarga parcial que normalmente se miden durante las pruebas en los sistemas de cable instalados son los siguientes:

- Voltaje de inicio de pulsos de descarga parcial PDIV (pruebas fuera de línea).

- Tensión de extinción de descarga parcial (DP), PDEV (pruebas fuera de línea).
- Ubicación de DP.
- Magnitud de DP (q).
- Tasa de repetición de DP (n).
- Densidad de DP: la densidad de las descargas medidas por unidad de tiempo y por unidad de longitud (pC/ms) (solo cable laminado).
- Ángulo de fase del pulso de PD (Φ) dado por $\Phi_i = 360 (t_i/T)$, donde t_i es el tiempo medido desde la transición positiva anterior del voltaje de prueba sinusoidal a través de cero hasta el pulso de DP, y T es el período del voltaje de prueba.
- Gráfica de PD resuelta en fase (n frente a Φ frente a q).
- Gráfica de magnitud de DP vs. voltaje (q vs. V), (pruebas fuera de línea).

Las características de los parámetros de DP dependen de:

- Tipo y ubicación de los defectos, es decir, fuentes de DP, en el sistema de aislamiento.
- Material aislante.
- Condiciones de operación tales como voltaje aplicado, carga y tiempo.
- Las pruebas en línea pueden medir q, n y Φ a la temperatura de funcionamiento, mientras que las pruebas fuera de línea se realizan en sistemas de cable que se han enfriado.

La formación perforaciones en forma de ramificaciones es una forma importante de degradación que puede afectar a los cables extruidos HMWPE (polietileno extruido o prensado con alto peso molecular y alto rendimiento) y XLPE más antiguos. En el sitio de perforaciones en forma de ramificaciones, el aislamiento se degrada, es decir, tiene una constante dieléctrica más alta y una rigidez dieléctrica más baja que el aislamiento original. Las perforaciones en forma de ramificaciones en condiciones de servicio es un proceso muy lento y, por lo general, lleva muchos años penetrar completamente el aislamiento. Las perforaciones generan descargas parciales. Sin embargo, perforaciones en forma de ramificaciones pueden formar un arco eléctrico cuando se someten a tensiones eléctricas elevadas como resultado de un impulso de un rayo, una sobretensión de conmutación o de CC (corriente continua), una tensión de CA alta o cuando la perforación ramificada se acerca a un conductor o a un escudo de aislamiento. No hay evidencia de que la formación de perforaciones ramificadas sea un problema importante con los cables EPR o TRXLPE. (IEEE 400.3, 2022, p. 5)

4.5 IEEE 400.5: Guía para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación de CC blindados que utilizan corriente continua de alto voltaje (HVDC).

Para realizar la prueba bajo esta normativa se debe desconectar todo el equipo que no se vaya a incluir en la prueba del cable a evaluar. Mantener intactas todas las conexiones a tierra existentes. Todos los puntales, amarres, cables, espaciadores y terminaciones o cables de conexión temporales deben ser capaces de soportar el voltaje de prueba sin fugas ni calentamiento indebidos. Preparar el sistema de cables para la prueba de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o de la empresa de servicios públicos. Se debe limpiar las superficies del aislador con un paño seco para reducir las corrientes de fuga y evitar descargas disruptivas. Se requiere una conexión de salida para conectar la fuente de alimentación a la terminación del cable bajo prueba. Esta conexión debe ser suave y libre de irregularidades en la superficie si es posible.

Se debe verificar el funcionamiento del equipo de prueba de acuerdo con las recomendaciones del fabricante antes de conectar el cable de prueba. Si se encuentra disponible un sistema portátil de medición de voltaje de CC que cumpla con IEEE Std 4 y con una calibración actualizada, el voltímetro del equipo de prueba se puede verificar mediante el método de comparación en varios niveles antes de conectar la carga de prueba para verificar el factor de escala y la linealidad. El valor nominal del sistema de calibración externo debe ser lo más alto posible, pero no menos del 20 % del voltaje de prueba, a menos que se hayan realizado otras calibraciones recientes. Cuando existe la preocupación de un flameo accidental del equipo de prueba al voltaje de prueba, una revisión del equipo de prueba debe incluir una prueba de resistencia al voltaje con un margen adecuado antes de conectarlo a la carga.

El medidor de corriente del equipo de prueba se puede verificar conectando un vano corto de cable pequeño a la salida de la fuente de prueba HVDC (Corriente continua de alta tensión) y a través de un miliamperímetro calibrado externo a tierra y aumentando el voltaje ligeramente hasta que los dos instrumentos se puedan comparar en varios niveles de corriente. El factor de escala y la linealidad se pueden comprobar de esta manera.

Si la corriente de fuga en el equipo de prueba es una parte sustancial del valor de prueba a medir, esta corriente debe medirse y restarse de las lecturas de la corriente de prueba si el sistema de medición no permite diferenciar entre las dos corrientes. Alternativamente, se pueden usar

circuitos de medición de corriente de protección que solo miden la corriente de fuga del cable de prueba. La medición actual de la corriente de fuga interna (no la corriente de fuga del cable que se está probando) debe repetirse al final de la prueba si se usa el método de sustracción para asegurar que no ha habido cambios en la fuente de prueba. La fuente de corrientes de fuga extrañas (no dentro del cable que se está probando) debe determinarse o eliminarse si es posible.

El cable de tierra para el equipo de prueba debe conectarse a una tierra local o, en ausencia de una tierra local, al blindaje metálico cable el cual debe comprobarse que está conectado a tierra. Se debe observar que todas las conexiones a tierra sean conexiones mecánicas sólidas antes de comenzar cualquier prueba de alto voltaje. Para las terminaciones de cable sin conexión a tierra, el blindaje metálico debe conectarse a una conexión a tierra local durante la prueba de HVDC.

Se debe conectar el cable de prueba de alto voltaje al primer conductor o conductores a probar. Luego se debe retirar las varillas de puesta a tierra de seguridad del conductor a probar. Cuando se prueban cables multiconductores o con cinturón, cada conductor debe probarse por separado, con los conductores y blindajes restantes conectados a tierra.

Si el sistema de cable ha estado operando con carga suficiente para elevar su temperatura, debe dejarse enfriar a temperatura ambiente antes de aplicar el voltaje de prueba. El voltaje aplicado inicialmente no debe exceder 1,45 veces el voltaje nominal del cable. Si no se permite que el cable se enfríe a temperatura ambiente antes de la prueba, es posible que sea necesario reducir los voltajes de prueba por debajo del factor 1,45 y los valores de prueba deben establecerse mediante un acuerdo entre el proveedor y el propietario del sistema de cable.

El voltaje se puede aumentar continuamente o en pasos hasta el valor máximo de prueba. Se debe aplicar un voltaje lo suficientemente lento para evitar sobrecargas y/o disparos del equipo de prueba de alto voltaje o sobrepasar el nivel de prueba. Si el voltaje se aumenta continuamente, la tasa de aumento debe ser aproximadamente uniforme y debe dar como resultado que se alcance el voltaje máximo de prueba en un período de tiempo no menor de 10 s y no mayor de 60 min. Se recomienda una tasa de aumento de tensión de < 1 kV/s. En los casos en que se van a probar instalaciones extremadamente largas, la tasa de aumento de voltaje puede ser más lenta debido a consideraciones prácticas del equipo de prueba.

Si se emplea el método de aumento de voltaje por pasos, es deseable un mínimo de cinco pasos. La duración de cada paso debe ser lo suficientemente larga para que la corriente alcance un valor estable (se sugiere 1 min). Las lecturas de corriente en cada paso de voltaje deben registrarse al final de la duración del paso.

La tensión de prueba máxima debe mantenerse durante 15 min. Después de alcanzar el voltaje de prueba máximo, la magnitud de la corriente de fuga debe registrarse al menos dos veces: una vez aproximadamente a los 2 min y otra vez al final del período de prueba (15 min).

Si se incluye algún equipo en la prueba más allá del cable y sus terminaciones, se debe tener en cuenta la rigidez dieléctrica de dicho equipo al establecer el voltaje de prueba.

4.5.1. Evaluación de Resultados:

La corriente de prueba aumentará momentáneamente por cada incremento de voltaje debido a la carga de la capacitancia y las características de absorción dieléctrica del cable. Ambos componentes de corriente decaen, el primero en unos pocos segundos, el último más lentamente, dejando finalmente solo la corriente de conducción más cualquier fuga superficial externa o corrientes de corona. El tiempo requerido para alcanzar esta corriente de estado estable depende de la temperatura y el material del aislamiento.

Un criterio de una prueba satisfactoria en la prueba de voltaje directo es un valor de corriente constante o una disminución de la corriente con el tiempo en una aplicación de voltaje fijo. Si bien esto puede ser parcialmente oscurecido por la corriente de corona o la regulación de voltaje de la fuente de voltaje de prueba, la ausencia de un aumento en la corriente con el tiempo es generalmente un criterio válido para la aceptación.

Si la corriente de fuga del cable comienza a aumentar, lentamente al principio, pero a un ritmo creciente, sin ningún aumento en el voltaje aplicado, es posible que se esté produciendo una falla gradual del aislamiento. Este proceso probablemente continuará hasta que el cable o los accesorios finalmente fallen, a menos que el voltaje se reduzca rápidamente.

4.6 ANSI/NETA MTS-2019 Especificaciones de pruebas de mantenimiento para equipos y sistemas de energía eléctrica

La asociación de pruebas eléctricas internacional (NETA) se formó en 1972 para establecer procedimientos de prueba uniformes para equipos y aparatos eléctricos, desarrollando especificaciones para la aceptación de nuevos aparatos eléctricos antes de la energización y para el mantenimiento de los aparatos existentes para determinar su idoneidad para seguir en servicio. (AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2022, p. 10).

Esta normativa aplica criterios establecidos por la IEEE en sus diferentes guías, pero no solo trata del aislamiento en conductores y el desarrollo de las pruebas HIP-POT, establece las diferentes pruebas y resultados esperados para todos los equipos que comprenden media y alta tensión, sistemas de alimentación, etc.

En este apartado solo se abordará lo relacionado a cables (conductores) dentro de la normativa NETA/ANSI MTS -2019 donde se establece:

Inspección y procedimiento para prueba

4.6.1 Cables, bajo voltaje

A. Inspección Visual:

1. Se debe inspeccionar las secciones expuestas de los cables en busca de daños físicos y evidencia de sobrecalentamiento.
2. Se debe inspeccionar las conexiones eléctricas atornilladas en busca de alta resistencia utilizando uno o más de los siguientes métodos:
 - Uso de un óhmetro de baja resistencia de acuerdo con el apartado *“Realizar mediciones de resistencia a través de conexiones atornilladas con un ohmímetro de baja resistencia”*.
 - Se debe verificar la estanqueidad de las conexiones eléctricas empernadas accesibles mediante una llave dinamométrica calibrada método de acuerdo con los datos publicados por el fabricante o la tabla 3.

Tabla 3. Sujetadores estándar de EE. UU. Sujetadores de aleación de aluminio, Torque (libras-pies)

Diámetro del perno (pulgadas)	Lubricante
5/16	10
3/8	14
1/2	25
5/8	40
3/4	60

Fuente:(AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2022, p. 256)

- Realizar un estudio termográfico de acuerdo con la Sección 9 “*de la normativa ANSI/NETA MTS Estudio Termográfico*”.

3. Se debe inspeccionar los conectores aplicados por compresión para verificar que el cable coincida y la muesca sea la correcta.

B. Pruebas eléctricas

1. Realizar mediciones de resistencia a través de conexiones atornilladas con un ohmímetro de baja resistencia de acuerdo con la Sección “*Uso de un óhmetro de baja resistencia*”
2. Realizar una prueba de resistencia de aislamiento en cada conductor con respecto a tierra y conductores adyacentes. El potencial aplicado debe ser de 500 voltios de CC para cables de 300 voltios nominales y de 1000 voltios de CC para cables de más de 300 voltios nominales. La duración de la prueba será de un minuto.
3. Se debe verificar la resistencia uniforme de los conductores paralelos.

4.6.2 Cables blindados, media y alta tensión

A. Inspección visual y mecánica

1. Se debe inspeccionar las secciones expuestas de los cables en busca de daños físicos y evidencia de sobrecalentamiento y corona.
2. Se debe inspeccionar las terminaciones y los empalmes en busca de daños físicos, evidencia de sobrecalentamiento y corona.
3. Se debe inspeccionar las conexiones eléctricas empernadas en busca de alta resistencia usando uno o más de los siguientes métodos:
 1. Uso de un óhmetro de baja resistencia de acuerdo con la Sección “*Uso de un óhmetro de baja resistencia*”

2. Verificar las conexiones eléctricas empernadas accesibles mediante el método de llave dinamométrica calibrada de acuerdo con los datos publicados por el fabricante o los datos expuestos en la tabla 2.
3. Realizar un estudio termográfico de acuerdo con la Sección 9 “*de la normativa ANSI/NETA MTS Estudio Termográfico*”.
4. Se debe inspeccionar los conectores aplicados por compresión para verificar que el cable coincida y la muesca sea la correcta.
5. Se debe inspeccionar la conexión a tierra del blindaje y el soporte del cable.
6. Se debe verificar que las curvas visibles del cable cumplan o excedan el radio de curvatura mínimo permitido por ICEA (International Conference in Engineering Applications) y/o el fabricante.
7. Se debe inspeccionar la protección contra incendios en las áreas comunes de cables.
8. Si los cables terminan a través de transformadores de corriente tipo ventana, inspeccionar para verificar que los conductores neutros y de tierra estén correctamente colocados y que los blindajes estén correctamente terminados para el funcionamiento de los dispositivos de protección.

B. Pruebas eléctricas

1. Realizar mediciones de resistencia a través de conexiones atornilladas con un ohmímetro de baja resistencia de acuerdo con la Sección “*Uso de un óhmetro de baja resistencia*”.
2. Realizar una prueba de resistencia de aislamiento individualmente en cada conductor con todos los demás conductores y blindajes conectados a tierra. Aplique voltaje de acuerdo con los datos publicados por el fabricante. En ausencia de datos publicados por el fabricante, utilizar la Tabla 6.
3. Realizar una prueba de continuidad del blindaje en cada cable de alimentación mediante el método del óhmetro.

Debido a los diversos métodos de prueba de cables disponibles comercialmente, la siguiente sección no indica pruebas "opcionales" u "obligatorias". Solo después de un análisis

cuidadoso de todos los parámetros del circuito entre la entidad de prueba y el propietario del cable, se debe seleccionar un método de prueba preferido.

4. De acuerdo con ICEA, IEC, IEEE y otros estándares de consenso de cables de alimentación, las pruebas se pueden realizar mediante corriente continua, corriente alterna de frecuencia industrial, corriente alterna de muy baja frecuencia o corriente alterna amortiguada. Estas fuentes se pueden utilizar para realizar pruebas de resistencia de aislamiento y pruebas de diagnóstico, como análisis de descargas parciales y factor de potencia o factor de disipación. La selección solo se puede hacer después de una evaluación de los métodos de prueba disponibles, los datos publicados por el fabricante y una revisión del sistema de cable instalado.

4.6.2.1 Resistencia dieléctrica

1. Voltaje soportado dieléctrico de corriente continua (CC)
2. Voltaje soportado dieléctrico de muy baja frecuencia (VLF)
3. Tensión soportada dieléctrica a frecuencia industrial (50/60 Hz)

4.6.2.2 Pruebas de diagnóstico

1. Factor de potencia/factor de disipación (tangente delta)
 1. Frecuencia de red (50/60 Hz)
 2. Muy baja frecuencia (VLF)
 3. Corriente alterna amortiguada (20 a 500 Hz)
2. Resistencia de aislamiento de CC
3. Descarga parcial
 1. En línea (50/60 Hz)
 2. Fuera de línea
 1. Frecuencia de red (50/60 Hz)
 2. Muy baja frecuencia (VLF)

4.6.2.3 Valores de prueba: visuales y mecánicos

1. Comparar los valores de resistencia de las conexiones atornilladas con los valores de conexiones similares. Investigar los valores que se desvíen de los de conexiones atornilladas similares en más del 50 por ciento del valor más bajo. *“Uso de un óhmetro de baja resistencia”*

2. Los niveles de torsión de los pernos deben estar de acuerdo con los datos publicados por el fabricante. En ausencia de datos publicados por el fabricante, usar los valores que se exponen en la tabla 3.

“Verifique el apriete de las conexiones eléctricas empernadas accesibles mediante el método de llave dinamométrica calibrada de acuerdo con los datos publicados por el fabricante o los datos expuestos en la tabla 4”

Tabla 4. Valores de torsión de pernos para conexiones eléctricas Sujetadores estándar de EE. UU. Acero tratado térmicamente: cadmio o zincado

Grado	SAE 1 &2	SAE 5	SAE 7	SAE 8
Marcado de Cabeza				
Tensión Mínima (Fuerza) (lbf/m²)	64 K	105K	133 K	150 K
Diámetro del perno (Pulgadas)	Torque (Libras-Pie)			
1/4	4	6	8	8
5/16	7	11	15	18
3/8	12	20	27	30
7/16	19	32	44	48
1/2	30	48	68	74
9/16	42	70	96	105
5/8	59	96	135	145
3/4	96	160	225	235
7/8	150	240	350	380
1.0	225	370	530	570

Fuente: (AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2022)

3. Los resultados del estudio termográfico deberán estar de acuerdo con la Sección 9. *“de la normativa ANSI/NETA MTS Estudio Termográfico”*.

4. El radio de curvatura mínimo al que se pueden doblar los cables aislados para capacitación permanente debe estar de acuerdo con los datos expuestos en la tabla 4. “*Verifique que las curvas visibles del cable cumplan o excedan el radio de curvatura mínimo permitido por ICEA y/o el fabricante*”.

Tabla 5. Radios mínimos para cable de alimentación Cables monoconductores y multiconductores con armadura entrelazada, Revestimiento de aluminio liso o corrugado o revestimiento de plomo

Tipo de cable	Diámetro total del cable					
	Pulgadas 0,75 y menos	mm 190 y menos	Pulgadas 0,76 a 1,50	mm 191 a 381	Pulgadas 1,51 y más grande	mm 382 y más largo
Radio de curvatura mínimo como múltiplo del diámetro del cable						
Aluminio Liso Envoltura simple Conductor no Blindado Conductor Múltiple o multiplexado individualmente.	10		8		15	
Conductor Simple Blindado	12		12		15	
Conductores múltiples o Multiplexado, con blindaje general	12		12		15	
Armadura entrelazada o Aluminio Corrugado Envoltura sin blindaje	7		7		7	
Conductor múltiple con blindaje individualmente conductor	12/7 ^a		12/7 ^a		12/7 ^a	
Conductor múltiple con blindaje general	12		12		12	
Envoltura de plomo	12		12		12	

Fuente: (AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2022)

4.6.2.4 Valores de prueba:

1. Comparar los valores de resistencia de las conexiones atornilladas con los valores de conexiones similares. Investigar los valores que se desvíen de los de conexiones atornilladas similares en más del cincuenta por ciento del valor más bajo.
2. Los valores de resistencia del aislamiento deben estar de acuerdo con los datos publicados por el fabricante. En ausencia de datos publicados por el fabricante, utilizar los valores expuestos en la tabla 5. Se deben investigar los valores de resistencia de aislamiento menores que esta tabla o las recomendaciones del fabricante.

Tabla 6. Valores de prueba de resistencia de aislamiento aparatos y sistemas eléctricos

Capacidad nominal del equipo (Voltios)	Tensión mínima de prueba (DC)	Aislamiento mínimo recomendado Resistencia (Mohm)
250	500	25
600	1000	100
1000	1000	100
2500	1000	500
5000	2500	1500
8000	2500	2500
15000	2500	5000
25000	5000	10000
34000	5000	100000
46,00 y superior	5000	100000

Fuente. Datos tomados de ANSI/NETA-MTS2019: especificaciones estándar para pruebas de aceptación de equipos y sistemas de energía eléctrica

3. El blindaje exhibirá continuidad. Investigue los valores de resistencia superiores a diez ohmios por 1000 pies de cable.
4. Si no se observa evidencia de daño o falla del aislamiento al final del tiempo total de aplicación de voltaje durante la prueba, se considera que la muestra de prueba ha pasado la prueba.

5. Con base en la metodología de prueba elegida, consultar los estándares aplicables o la literatura del fabricante para conocer los valores aceptables.(AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2022, pp. 39-43)

5. Metodología

La metodología empleada es del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo y cualitativo mediante la organización de literatura técnica que permita identificar métodos, modelos de análisis y procedimientos

Se realizó una búsqueda bibliográfica de procesos o pruebas similares para determinar los procedimientos y normas que se aplicaban en dichos casos, los cuales se irán exponiendo en este capítulo.

Área de Estudio

El área de estudio es la normativa que rige los aislantes de los conductores de alimentación primaria en media y baja tensión, puesto que dentro de la normativa ecuatoriana no existe normativa o una guía que permita realizar pruebas de aislamiento de conductores.

Se dispone de una prueba a los cables primarios de una central fotovoltaica, siendo esta prueba el objeto de estudio, de aquí se pueden obtener los valores a los cuales fueron sometidos los conductores, el calibre del conductor, el voltaje nominal al cual debería trabajar, el tipo de aislante, el tipo de conductor, con los valores de la tabla 11, los cuales describen el mínimo de resistencia que debe poseer para la tensión a la cual fue sometida, se comparan los valores obtenidos y se determina si la prueba fue realizada con satisfacción.

Tabla 7. Datos técnicos de la prueba de aislamiento

PROYECTO	CENTRAL FOTOVOLTAICA
TAG	FASE A/FASE B/FASE C
INICIO	SECCIONAMIENTO
FIN	TRAFO MIX
VOLTAJE NOMINAL	15 KV
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE
CONDUCTOR	COBRE
CALIBRE	2 AWG

Fuente. Prueba de aislamiento en central fotovoltaica proporcionada.

Tabla 8. Condiciones Ambientales

PROYECTO	CENTRAL FOTOVOLTAICA
TEMPERATURA AMBIENTE	27 °C
HUMEDAD RELATIVA	52 %
FACTOR DE CORRECCIÓN	1,38

Fuente. Prueba de aislamiento en central fotovoltaica proporcionada.

Tabla 9. Equipo de prueba

PROYECTO	CENTRAL FOTOVOLTAICA
MARCA	SONEL
TIPO	MC-10k1
TENSION	50V/100V/250V/1kV/2,5kV/5kV/10kV
SERIE	EN0193
FABRICADO EN	POLONIA
NRO. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
FECHA DE CALIBRACIÓN DE EQUIP	26/08/2021

Fuente. Prueba de aislamiento en central fotovoltaica proporcionada.

Tabla 10. Resultado

PROYECTO	CENTRAL FOTOVOLTAICA
Voltaje de prueba	2.5 kV
Tiempo de prueba	10 min
Resistencia de aislamiento Máxima	5 Mohm
SERIE	EN0193

Fuente. Prueba de aislamiento en central fotovoltaica proporcionada.

La normativa empleada para esta prueba es la ANSI/NETA-MTS-2017 y la ANSI/NETA-MTS-2019, de aquí se obtendrá los valores para comparar los niveles de aislamiento.

Procedimiento

Se realizó un análisis de las normativas existentes, puesto que la IEEE también ha generado algunas normativas que exponen los procedimientos para determinar si la resistencia de los aislantes en los cables de media tensión se encuentra dentro de un rango correcto, de esta manera en el marco teórico se ha descrito las más relevantes, pero se ha analizado con mayor detalle la normativa ANSI/NETA-MTS-2019.

Se procede a la descripción de la normativa ANSI/NETA-MTS-2019, como referencia principal la cual establece que mediante una prueba de VLF se puede determinar si la resistencia

de un cable de media y alta tensión es la adecuada, además describe la manera como se debe preparar el equipo, medidas de seguridad, niveles de voltaje que se deben aplicar para poder obtener los resultados.

Se realiza un análisis de la prueba realizada a una central fotovoltaica ubicada en Ecuador, como se lo menciono en algunos apartados no existe alguna normativa por parte de las empresas distribuidoras de electricidad, ni de los entes reguladores de Ecuador, la prueba efectuada considera las recomendaciones expuestas en la normativa ANSI/NETA ATS 2017, en la tabla 6, 7, 8, 9 se exponen los datos de la prueba realiza, y los resultados obtenidos.

Procesamiento y análisis de datos

Los valores de la prueba considerada como caso de estudio, se analizan con los valores expuestos en la tabla 11, en donde se exponen los datos con los cuales fue comparado el resultado obtenido, se puede apreciar que una vez realizada la prueba el aislamiento del cable se encuentra dentro de los valores establecidos como rango mínimo, considerando las recomendaciones expuestas en la norma ANSI/NETA ATS-2017.

Tabla 11. Valores de prueba de resistencia de aislamiento aparatos y sistemas eléctricos

ANSI/NETA-MTS-2017

Capacidad nominal del equipo (Voltios)	Tensión mínima de prueba (DC)	Aislamiento mínimo recomendado Resistencia (Mohm)
250	500	25
600	1000	100
1000	1000	100
2500	1000	500
5000	2500	1500
8000	2500	2500
15000	2500	5000
25000	5000	10000
34500	5000	100000
34500 y superior	5000	100000

Fuente. Datos tomados de ANSI/NETA-ATS2017: especificaciones estándar para pruebas de aceptación de equipos y sistemas de energía eléctrica

Para determinar si existen variaciones entre la normativa ANSI/NETA MTS-2019 y 2017, considerando que existe una divergencia entre la norma ATS y la MTS, se expone en la tabla 10 estos valores de resistencia de la normativa MTS, siendo estos valores los mismos que se describen en la tabla 5, estos valores de prueba deben cumplir con la normativa para que una prueba sea aceptable y pueda ser considerada una prueba exitosa.

Por consiguiente y como se expone, es necesario comparar con los valores de la nueva actualización, esto se lo puede apreciar en la tabla 3.

Método Cualitativo.

El método cualitativo permitió realizar una búsqueda y descripción de la normativa ANSI/NETA MTS-2019, y su posterior comparación.

Método Cuantitativo.

El método cuantitativo permitió partir de los resultados de la prueba realizada en la central fotovoltaica, valores que se exponen en la tabla 9, y comparar si cumplen con los datos de la tabla 5 la cual fue obtenida de la normativa ANSI/NETA MTS-2019.

Técnicas.

Técnica de análisis de contenido.

La técnica de obtención de datos es el análisis de contenido, ya que mediante la información recolectada como base teórica y la prueba de aislamiento realizada a la central fotovoltaica se precede a realizar una comparación, siendo determinístico un estudio de un caso en concreto.

6. Resultados

Después del análisis realizado a los datos obtenidos de la prueba de aislamiento ejecutada a la central fotovoltaica y a las tablas obtenidas de la normativa ANSI/NETA MTS-2019 descritas en la tabla 5 y tabla 9, además de la normativa ANSI/NETA ATS-2017 (tabla 10), se determina que en la prueba los valores se encuentran dentro del rango permitido, aunque es imprescindible destacar que se encuentra en un valor superior siendo el mínimo 0.5 Gohm y el obtenido es 5 Gohm.

En base a una comparación cuantitativa de las tablas 5, tabla 9 y tabla 10, de las normativas ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-2019 se obtiene que, aunque existe una actualización en la normativa esta no afecta a los valores mínimos para resistencia de conductores, cumpliendo los requerimientos de aislamiento.

Luego de realizar el análisis de la literatura técnica, resulta necesario destacar la importancia de la normativa como base de regulación para pruebas de aislamiento in-situ o en fabricación.

7. Discusión

Se identifica la necesidad de analizar literatura técnica que permitan realizar pruebas de aislamiento a conductores; como se lo estableció en la década pasada se realizaban pruebas de aislamiento a conductores, pero era muy complejo determinar si los resultados obtenidos reflejaban una resistencia aceptable por parte del aislante del conductor, por tal motivo después de analizar los datos obtenidos por la prueba VLF explicada en la normativa IEEE 400.2 VLF y los niveles de resistencia, se aprecia que en la normativa ANSI/NETA MTS-2019 se identifican valores de prueba de aislamiento de conductores, se compran los resultados obtenidos de la prueba y los establecidos en la normativa. Por este motivo la comparación con un caso real ha sido satisfactorio, este tipo de procedimientos debe aplicarse para garantizar la operación y mantenimiento de las redes eléctricas subterráneas.

Además, se identifica en la revisión de literatura técnica que estas pruebas se realizan a los conductores por los fabricantes, puesto que la información existente es escasa, se determina que, dentro de las regulaciones y normativas de otros países, se exige realizar esta prueba antes de operar una red eléctrica subterránea.

8. Conclusiones

Se puede determinar que una prueba de aislamiento es necesaria tanto al momento de la instalación de la red eléctrica subterránea, como en su posterior funcionamiento, ya sea en alta, media y baja tensión, por cuanto permite establecer el estado real de aislamiento de una red.

De los resultados obtenidos se puede establecer que la normativa ANSI/NETA MTS-2019 proporciona los valores mínimos que se deberían obtener de las pruebas de aislamiento en conductores.

Para la realización de la prueba se debe tener en consideración la normativa IEEE 400.2 y para la comparación de resultados la ANSI/NETA MTS-2019.

9. Recomendaciones

Promover la aplicación de normativas que permitan determinar la importancia de una prueba de aislamiento, como requisito fundamental antes de la energización de nuevas redes eléctricas subterráneas.

Para efectuar pruebas de aislamiento, considerar las recomendaciones expuestas en la normativa ANSI/NETA MTS-2019, en ausencia de normativa nacional.

10. Bibliografía

- AMERICAN NATIONAL STANDARD, A. / N. A.-2019. (2022). ANSI / NETA ATS-2019 STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Equipment. *21 de mayo 2019, 1*, 283.
- Boldrini Valdivia, O. (2018). Trabajo de suficiencia profesional titulado: Evaluacion de la calidad del aislamiento en terminaciones de linea de transmision subterranea en 69kv de CV-Congata power line – planta headworks a partir de hipot vlf (very low frecuency). *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6513>
- Casas Figueroa, J. A., Najarro Gutiérrez, A. G., & Solano Suarez, F. M. (2018). "Diagnostico de aislamiento de cables de energía en media tensión a partir de pruebas de alto potencial y prueba de tangente delta". *Repositorio institucional – UNAC*.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2723>
- Guamán Vázquez, E. R., & Pesántez Delgado, J. E. (2014). *Análisis de la degradación del aislamiento ante sobrecargas eléctricas en los cables de mayor utilización en las instalaciones civiles de la ciudad de Cuenca*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7181>
- IEEE 400.2, P. and E. S. (2022). IEEE 400.2: IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)(less than 1 Hz). *6 marzo del 2013, 60*, 23.
- IEEE 400.3, P. and E. S. (2022). IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment. *2006*, 46.
- MARTINEZ RODRIGUEZ, J. R. (2002). *METODO PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AISLAMIENTO DE TERMINALES DE MEDIA TENSION A PARTIR DE PREUBAS DE*

HI-POT [UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON].

<http://eprints.uanl.mx/1143/1/1020149198.PDF>

Mayora, H., Álvarez, R. E., Calo, E., Catalano, L. J., & Morcelle del Valle, P. (2019, abril).

Ensayos de corriente continua en cables de aislamiento extruido. V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019).

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75185>

[PDF] *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing* by Paul Gill eBook | Perlego.

(2022, agosto). [https://www.perlego.com/book/2029239/electrical-power-equipment-maintenance-and-testing-](https://www.perlego.com/book/2029239/electrical-power-equipment-maintenance-and-testing-pdf?utm_source=google&utm_medium=cpc&campaignid=15913701111&adgroupid=131883418509&gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2Q4CT9jIyp9w2Fbir0sAA9SW3ptBpjNQmGBA8__I6cRXV7yXrdFm8xoCLRkQAvD_BwE)

[pdf?utm_source=google&utm_medium=cpc&campaignid=15913701111&adgroupid=131883418509&gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2Q4CT9jIyp9w2Fbir0sAA9SW3ptBpjNQmGBA8__I6cRXV7yXrdFm8xoCLRkQAvD_BwE](https://www.perlego.com/book/2029239/electrical-power-equipment-maintenance-and-testing-pdf?utm_source=google&utm_medium=cpc&campaignid=15913701111&adgroupid=131883418509&gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2Q4CT9jIyp9w2Fbir0sAA9SW3ptBpjNQmGBA8__I6cRXV7yXrdFm8xoCLRkQAvD_BwE)

Tuza, R. D. A. (2017). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN CABLES SUBTERRÁNEOS CON AISLAMIENTO DISTRIBUIDO EN CAPAS DE DIFERENTE PERMITIVIDAD*. 139.

11. Anexos

Anexo 1. Normativa ANSI/NETA MTS-2019

Anexo 2. Certificación de traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Lic. Marcos David Castillo Ramón
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS**

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la tesis titulada: **“Resistencia de aislamiento de cables asilados de media tensión”**, de auditoría de *Israel Andrés Rodríguez Ojeda*, con cédula de identidad Nro. *1900463116*, egresado de la facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del Ing. Jorge Carrión, previo a la obtención del título de *Maestría en Electricidad con mención en Sistemas Eléctricos de Potencia*.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyere conveniente.

Loja, 10 de febrero de 2023



Lic. Marcos David Castillo Ramón
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS**
Reg. Senescyt: 1031-2020-2197493



Marcos David Castillo Ramón
ENGLISH TEACHER
Reg. Senescyt: 1031-2020-2197493

Teléfono: 0962931586
Correo Electrónico: mdcastillo096@gmail.com