

PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS

**WEIMAR NORBEY ABAUNZA LOZADA
ERICK FERNANDO GUALDRON BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS

WEIMAR NORBEY ABAUNZA LOZADA

ERICK FERNANDO GUALDRON BAUTISTA

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director

Msc. JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2016

AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto agradecen a:

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones.

A Julio César Chacón, Magíster en Potencia Eléctrica, director del proyecto, por haber ofrecido una excelente formación tanto académica como profesional, por su confianza, orientación y colaboración.

A las personas que hicieron posible la realización de este proyecto como lo fueron: Dr. Gabriel Ordoñez Plata, Sr. Edgar Gutiérrez y la cuadrilla de mantenimiento de la ESSA.

A nuestros docentes de la universidad, gracias a ellos hemos adquirido el conocimiento y las herramientas para cumplir nuestro sueño de ser profesionales.

DEDICATORIA

Este logro lo dedico como primera medida a Dios por ser mi guía en la realización de este triunfo.

A mi más hermoso tesoro, mi hija, YAHAIRA VALENTINA ABAUNZA MONTENEGRO, quien es el motor que día a día me motiva a seguir adelante, a seguir mejorando, que con su sonrisa logra despertar en mí los más hermosos sentimientos, con su amor llena mi vida y con cada uno de sus detalles hace que cada momento sea de inmensa felicidad. Te amo mi princesa hermosa.

Este logro también se lo dedico a mis padres, JOSELIN ABAUNZA y SOFIA LOZADA CASTELLANOS, quienes han sido las personas que a pesar de los tropiezos con los que me he encontrado en mi diario vivir, nunca han dejado de estar hay apoyándome, animándome a seguir, brindándome el amor, la confianza y su gran conocimiento de la vida.

A mi esposa, EDNA ROCIO MONTENEGRO SANABRIA, por ser mi amiga, mi confidente, mi cómplice, por su apoyo incondicional, gracias por tantas alegrías y el gran esfuerzo. Te amo gracias por tanto.

A mis hermanos, Sandy y Nilson, quienes siempre han estado dispuestos a darme un consejo, a brindarme su apoyo incondicional en cada paso que doy.

A mis sobrinos, KATHÉ Y JUANCHIS, que con su gran amor me brindan la confianza para salir adelante.

A mi familia en general, que desde la distancia me brinda su apoyo moral, a cada uno de los compañeros con los cuales tuve la dicha de compartir en la universidad de alguna manera pusieron un granito de arena para este logro.

WEIMAR NORBEY ABAUNZA LOZADA

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi fuerza en momentos de dificultad, por darme sabiduría y entendimiento para la consecución de esta meta.

A mis padres Fernando Gualdrón Hernández y Lucero Bautista Avendaño, que con sus consejos, sabiduría, su amor y su apoyo hicieron parte crucial de la culminación de este proyecto.

A mi hermanito amado Gerson Ferney Gualdrón Bautista.

A mis abuelos y en especial a mi abuelita Teresa de Jesús Hernández que siempre va a ser mi modelo a seguir.

A mi novia que ha representado un apoyo incondicional, y una voz de aliento en aquellos momentos en los que más la necesitaba, gracias Lineth.

A mis amigos y compañeros de toda la vida, que me han acompañado y apoyado en este largo camino.

ERICK FERNANDO GUALDRON BAUTISTA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	23
1. FORMULACIÓN/DECLARACIÓN DEL PROBLEMA	24
2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL.....	25
3. OBJETIVO GENERAL.....	27
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. DEFINICIONES.....	28
4.1 Aislador.....	28
4.2 Aislador de cerámica.	28
4.3 Aislador polimérico (no cerámico).	28
4.4 Metros cúbicos por segundo (m^3/s).....	29
4.5 Densidad equivalente del depósito de sal (ESDD).	29
4.6 No conductivo o no conductor.....	29
4.7 Sobreaspersión.....	29
4.8 Trabajador calificado.....	29

4.9 Desbastado.	30
4.10 Tensión del sistema.	30
4.11 Conductividad del agua.	30
4.12 Resistividad del agua.	30
4.13 Flameo.	30
5. ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.	31
6. TIPOS DE CONTAMINANTES.	32
6.1 SAL.	32
6.2 CEMENTO/CAL.	33
6.3 POLVO.	33
6.3.1 Tierra.	34
6.3.2 Fertilizante.	34
6.3.3 Metálico.	34
6.3.4 Carbón.	34
6.3.5 Establos ganaderos.	35
6.3.6 Ceniza volcánica.	35
6.4 EXCREMENTO DE PÁJAROS.	35
6.5 QUÍMICO.	36
6.6 ESMOG (EMISIONES VEHICULARES).	36
6.7 RESIDUOS DE TORRES DE REFRIGERACIÓN.	36
6.8 HUMO.	37

6.9 ORGÁNICOS.....	37
7. HERRAMIENTAS	38
7.1 PÉRTIGAS	38
7.1.1 Diseño de pértiga.....	38
7.1.2 Tipos de pértigas.....	38
7.1.3 Condiciones	41
7.1.4 Pruebas y mantenimiento.....	43
7.2 JUMPERS	46
7.2.1 Puente aislado (jumper) [15 kV].....	46
7.2.2 By pass jumper [15 kV]	47
7.2.3 By pass jumper [34,5 kV]	48
7.3 TRAJE PARA TRABAJO A POTENCIAL O LÍNEA VIVA.....	48
7.4 ANDAMIOS	50
7.5 AEROSOL PARA PROTECCIÓN DE AISLADORES	51
7.6 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA MANTENIMIENTO EN ALTURAS	52
8. PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES UTILIZADOS EN LA ESSA	55
8.1 LIMPIEZA DE AISLADORES EN LA ESSA	55
8.2 SUBESTACIONES	56
8.2.1 TRABAJO EN LÍNEA DESENERGIZADA O MUERTA	56
8.2.2 TRABAJO EN LÍNEA ENERGIZADA O LÍNEA VIVA	57

8.3 DISTRIBUCIÓN.....	61
9. PRUEBAS REALIZADAS EN LA ESSA PARA DETERMINAR EL ESTADO DE LOS AISLADORES	62
9.1 ENSAYOS DE TENSIÓN DE FLAMEO EN SECO A BAJA FRECUENCIA ...	62
9.2 ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN HÚMEDO A BAJA FRECUENCIA	63
10. LIMPIEZA DE AISLADORES SEGÚN NORMA IEEE STD. 957-2005	65
10.1 AISLADORES QUE SE VAN A LIMPIAR	65
10.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	65
10.2.1 Aisladores cerámicos	66
10.2.2 Aisladores poliméricos	66
10.2.2.1 Directrices generales para lavado con agua a presión	66
10.2.2.2 Frecuencia del lavado	68
10.2.2.3 Limpieza desenergizada	68
10.2.2.4 Limpieza energizada	68
10.3 EQUIPOS DE SUBESTACIÓN.....	69
10.3.1 Aisladores cerámicos	69
10.3.2 Aisladores poliméricos	69
10.3.3 Bujes.....	70
10.3.4 Descargadores de sobretensión (DPS).....	70
10.3.4.1 Cerámicos.....	70
10.3.4.2 Poliméricos	70

10.4 EQUIPOS PARA LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN	71
10.4.1 Aisladores de porcelana y vidrio	71
10.4.2 Aisladores poliméricos	71
10.4.3 Descargadores de sobretensión (DPS) de tipo distribución	71
10.5 LIMPIEZA DE AISLADORES ENGRASADOS	72
10.6 LIMPIEZA DE AISLADORES CON ESMALTADO RESISTIVO	73
10.7 MÉTODOS	73
10.7.1 ENERGIZADOS	73
10.7.1.1 Agua a alta presión	73
10.7.1.2 Agua a presión media	79
10.7.1.3 Agua a baja presión (lavado por riego)	79
10.7.1.4 Limpieza con aire comprimido.....	80
10.7.1.5 Frotación con pértiga y paño en línea energizada (usando una herramienta para línea energizada)	81
10.7.2 DESENERGIZADA	83
10.7.2.1 Limpieza manual.....	83
10.7.3 RESULTADOS	85
10.7.3.1 Visible (limpio-brillante)	85
10.7.3.2 Vibración del aislador (tintineo)	85
10.7.3.3 Ausencia de efecto corona.....	85
10.7.3.4 Claridad del agua residual	86
10.8 EQUIPO DE LIMPIEZA.....	86

10.8.1 EQUIPO DE AGUA A ALTA PRESIÓN (2750 kPa a 7000 kPa) (400 psi a 1000 psi).....	86
10.8.1.1 Bomba	86
10.8.1.2 Tanque	88
10.8.1.3 Tubería	89
10.8.1.4 Mangueras.....	90
10.8.1.5 Boquilla.....	91
10.8.1.6 Transporte	92
10.8.1.7 Agua	95
10.8.2 EQUIPO DE AGUA A PRESIÓN MEDIA (2100 kPa a 2750 kPa) (300 psi a 400 psi).....	98
10.8.3 EQUIPO PARA AGUA A BAJA PRESIÓN (1400 kPa) (200 psi)	98
10.8.4 LIMPIADOR DE AIRE COMPRIMIDO SECO.....	99
10.8.4.1 Presión	99
10.8.4.2 Volumen.....	99
10.8.4.3 Secadores.....	99
10.8.4.4 Manguera.....	100
10.8.4.5 Boquillas	100
10.8.4.6 Varilla.....	102
10.8.4.7 Fuente de potencia	102
10.8.4.8 Materiales de limpieza	102
10.8.5 ASPERSIÓN FIJA.....	102
10.8.5.1 Tubería y motor.....	103

10.8.5.2 Boquillas	103
10.8.5.3 Sistema de tubería	103
10.8.5.4 Sistema de control	103
10.9 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL LAVADO CON AGUA DE EQUIPO ENERGIZADO	104
10.9.1 CORRIENTE DE FUGA	104
10.9.2 DISTANCIA DE TRABAJO	105
10.9.2.1 Determinación de una distancia máxima del chorro	106
10.10 NORMAS Y/O REGLAS DE LAS COMPAÑÍAS INDIVIDUALES	108
10.10.1 Posiciones de trabajo	108
10.11 LIMITACIONES	108
10.12 PUESTA A TIERRA	109
11. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA UTILIZADOS POR LA ESSA Y LA IEEE STD. 957-2005.....	111
11.1 TIPO DE LA LAVADO Y MÉTODOS QUE COMÚNMENTE UTILIZA LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER (ESSA).....	111
11.1.1 TIPOS DE LAVADO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	111
11.1.2 TIPOS DE LAVADO EN SUBESTACIONES.....	112
11.1.3 MÉTODOS.....	112
11.2 TIPOS DE LA LAVADO Y MÉTODOS MENCIONADOS EN LA IEEE STD. 957-2005.	112
11.2.1 TIPOS DE LAVADO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	112

11.2.2 TIPOS DE LAVADO EN SUBESTACIONES.....	113
11.2.3 MÉTODOS.....	113
12. GUÍA PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	119
12.1 TRABAJO EN CONDICIONES DE ENERGIZACIÓN.....	119
12.1.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	119
12.1.1.1 Aislamiento cerámico	120
12.1.1.2 Aislamiento polimérico	124
12.1.1.3 Aislamiento de vidrio	125
12.1.2 SUBESTACIONES.....	125
12.1.2.1 Aislamiento cerámico	125
12.1.2.2 Aislamiento polimérico	126
12.1.2.3 Aislamiento de vidrio	127
12.2 TRABAJO EN CONDICIONES DE NO ENERGIZACIÓN	127
12.2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	127
12.2.1.1 Aislamiento cerámico	127
12.2.1.2 Aislamiento polimérico	129
12.2.1.3 Aislamiento de vidrio	130
12.2.2 SUBESTACIONES.....	130
12.2.2.1 Aislamiento cerámico	130
12.2.2.2 Aislamiento polimérico	130
12.2.2.3 Aislamiento de vidrio	130

12.3 EQUIPOS PARA LA LIMPIEZA	131
12.4 RESULTADOS DE UNA LIMPIEZA EFICIENTE.....	131
CONCLUSIONES.....	133
REFERENCIAS.....	135
BIBLIOGRAFÍA	137
ANEXOS	139

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lavado con agua a presión para aisladores poliméricos	67
Tabla 2. Equipo de lavado con boquilla fija, y uso	76
Tabla 3. Datos de diseño para equipos de lavado por aspersion a baja presión ...	80
Tabla 4. Resistividad/conductividad del agua	95
Tabla 5. Distancia mínima para el lavado energizado ^a	105
Tabla 6. Tipos de contaminantes y tipos de lavado asociados para sistemas de distribución	115
Tabla 7. Tipos de contaminantes y tipos de lavado asociados subestaciones	116
Tabla 8. Métodos y usos.....	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pértiga telescópica.	39
Figura 2. Pértiga de gancho retráctil.	39
Figura 3. Pértiga de maniobra.....	40
Figura 4. Pértiga para soporte.	40
Figura 5. Pértiga en estado medio de deterioro.	42
Figura 6. Pértiga en estado alto de deterioro.	42
Figura 7. Pértiga en buenas condiciones.	42
Figura 8. Probador de aislamiento para pértigas.	44
Figura 9. Montaje para prueba eléctrica de pértiga por medio de electrodos.	45
Figura 10. Inspección visual para evaluación física de la pértiga.	46
Figura 11. Jumper 15 kV.....	47
Figura 12. Jumper 15 kV con plástico reforzado	47
Figura 13. Jumper 34,5 kV.....	48
Figura 14. Traje para trabajo a potencial	49
Figura 15. Andamio para trabajo en línea viva.....	50
Figura 16. Aerosol para mantenimiento de aislamiento	51
Figura 17. Eslinga.....	52
Figura 18. Casco	53
Figura 19. Guantes para proyección a) Carnaza b) Dieléctricos	53

Figura 20. Gafas de protección en trabajo eléctrico	54
Figura 21. Desmonte de pararrayos	58
Figura 22. Grúa levantando el PT	60
Figura 23. Ensamble de material de frotación	82

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Limpieza de aisladores contaminados, con pellet de CO ₂ , en sistemas eléctricos energizados.....	139
ANEXO B Mantenimiento de aisladores despues de la limpieza.....	144
ANEXO C Sugerencias.....	150

RESUMEN

TÍTULO: PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS*

AUTORES:

Weimar Norbey Abaunza Lozada
Erick Fernando Gualdron Bautista**

Palabras claves:

Aislador, contaminante, limpieza, norma, presión.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este trabajo es realizar una guía que contenga los criterios mínimos para efectuar la limpieza de aisladores contaminados en sistemas de distribución en la región de Santander, para que esta se ejecute de manera confiable, a un bajo costo, de manera eficiente, que sea de fácil comprensión y que pueda ser utilizada por la Electrificadora de Santander (ESSA) y/o empresas que requieran hacer uso de esta en determinado momento.

Este proyecto contiene cuatro etapas principales, la primera es realizar una recopilación de los métodos que se han estado empleando para la limpieza de aisladores contaminados en la Electrificadora de Santander, la segunda etapa comprende un análisis de los métodos de limpieza expuestos en la norma IEEE STD. 957 - 2005, la tercera fase se hará una comparación de los métodos propuestos por la norma IEEE STD. 957 – 2005 y los ejecutados en la Electrificadora de Santander, y la cuarta es la elaboración de una guía que contempla los criterios técnicos para la selección del método de limpieza más adecuado dependiendo el tipo de contaminante, el material del cual está hecho el aislador, si se trabaja en línea energizada o desenergizada, si la limpieza se va a realizar en subestaciones o en área de distribución. La selección adecuada del método permitirá generar confiabilidad y optimizar los resultados.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director: Msc. Julio César Chacón.

SUMMARY

TITLE: PROCEDURES FOR CLEANING POLLUTED INSULATORS*

AUTHORS:

Weimar Norbey Abaunza Lozada
Erick Fernando Gualdron Bautista**

KEY WORDS:

Insulator, pollutant, cleaning, norm, pressure.

DESCRIPTION:

The target of this work is to carry out a guide that contains the minimum criteria about doing the cleaning of contaminated insulators in distribution systems in the Santander region, so it is executed reliably, with low cost, efficient, easily understood and it can be used by Electrificadora of Santander or any other enterprise that needs of this in a given time.

This Project has four main stages, the first is to perform of gathering of the different current methods used to clean the contaminated insulators at Electrificadora of Santander (ESSA), the second stage comprises an analysis about the cleaning methods exposed at IEEE STD. 957-2005 norma, in the third phase it will be done a comparison of the methods proposed by the standard and the executed at Electrificadora of Santander, finally the fourth stage is to make a guide that contemplates the technical criteria to select the most suitable cleaning method depending on the kind of pollutant, the material which the insulator is made if it is worked at energized or no energized line, if the cleaning will take place in substations or in a distribution area. The suitable selection of the method will allow to generate reliability and optimize results.

* Degree work.

** Physical-Mechanical Engineerings Faculty, School of Electric, Electronic and Telecommunication Engineering, Director: Msc. Julio César Chacón.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de energía se presentan deterioros en aisladores ya sea por contaminación proveniente de un agente externo o ambiental. Dichos deterioros acaban poco a poco con la vida útil del aislador, generando costos de mantenimiento o reemplazo de aisladores. Se documentará la variedad de procesos a seguir para el mantenimiento, se excluyen deterioros asociados por contaminantes nucleares, tóxicos, hielo o nieve y sustancias químicas peligrosas de aisladores basados en la norma IEEE STD. 957-2005 sobre limpieza y mantenimiento de aisladores.

Las fallas existentes en las cadenas de aisladores, son normalmente generadas a causa de contaminantes en el aislado, por descargas atmosféricas, por fracturas mecánicas, por la quema de vegetación y otras causas externas al material. Todo esto acompañado de la existencia de condiciones como viento, humedad, niebla, rocío o llovizna. Las partículas contaminantes tienden a posarse con mayor facilidad en cualquier punto de las líneas.

El propósito de este trabajo es el de comentar algunos tipos de contaminantes que se pueden presentar en los aisladores, en la región de influencia de la Electrificadora de Santander y proponer algunos procedimientos para reducir los efectos de la contaminación y evitar los flámeos en los aisladores según la norma IEEE STD. 957-2005, y como producto se entregará una guía.

1. FORMULACIÓN/DECLARACIÓN DEL PROBLEMA

Los métodos usados para la limpieza de los aisladores depende del material del aislador, su fabricación, de si la línea está o no energizada y del tipo de contaminante que se debe eliminar. A pesar de que existen diversos métodos para realizar la limpieza de aisladores es necesario entrar a revisar de manera más detallada los procedimientos que se llevan a cabo. La STD. 957-2005 de la IEEE documenta los procedimientos usados para la limpieza de aisladores eléctricos contaminados (excluyendo contaminantes nucleares, tóxicos y por sustancias químicas peligrosas), de todos los tipos, usando diferentes técnicas y equipos. [1]

Existen diversos problemas referentes al mantenimiento de aisladores, en líneas de alta tensión se presentan alturas que imposibilitan el mantenimiento con acceso desde tierra por esto se debe hacer por medio aéreo, guías de operación para diversos tipos de problema; se evalúan procedimientos con bombeo de agua por parte del operador manual o bombeo dirigido con control.

Para procesos hechos desde tierra y aéreos es indispensable calcular presiones a aplicar por medio de boquillas fijas o rotatorias, para cada tipo de contaminación se efectúa su limpieza con agua a diferentes niveles de presión, esto con el objetivo de no causar daños en la superficie del mismo, la vida útil del aislador depende del entorno de su disposición ya que en zonas costeras se presenta contaminación salina provocando deterioro del mismo. Se pretende desarrollar un documento en donde se revisen los procedimientos que utiliza la Electrificadora de Santander (ESSA), ver el cumplimiento de las normas mínimas exigidas en Colombia para llevar a cabo la limpieza de aisladores, remitiéndose a normas reconocidas, tales como la IEEE STD. 957-2005.

2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL

Un aislante eléctrico es un material con escasa capacidad de conducción de la electricidad, utilizado para separar conductores eléctricos evitando un cortocircuito, también para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos que de tocarse accidentalmente cuando se encuentran en tensión pueden producir una descarga. Los aislantes que se utilizan con mayor frecuencia son los materiales plásticos y las cerámicas. Por otra parte las piezas empleadas en torres de alta tensión para sostener o sujetar los cables eléctricos sin que éstos entren en contacto con la estructura metálica de las torres se denominan aisladores.

El comportamiento de los aislantes se debe a la barrera de potencial que se establece entre las bandas de valencia y conducción que dificulta la existencia de electrones libres capaces de conducir la electricidad a través del material.

Algunas características que definen los aisladores.

Distancia de fuga: Es la distancia entre las fuerzas conductoras de las que está provisto el aislador, en las condiciones que se establecen para los ensayos de tensión disruptiva, medida sobre la superficie del aislador.

Distancia disruptiva: Es la distancia, en el aire; entre las piezas de las que está provisto el aislador, en las condiciones establecidas para los ensayos de tensión disruptiva. También se denomina distancia de contorneamiento.

Tensión de corona: Es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, al que deja de ser visible, en la oscuridad, toda manifestación luminosa en cualquier punto del aislador, causada por la ionización del aire (efecto corona).

Tensión disruptiva: Se denomina también tensión de contorneamiento y es el valor eficaz de la tensión, expresado kilovoltios, en el que se produce la descarga disruptiva o descarga por contorneamiento, en el aislador. La descarga disruptiva se produce a través del aire bajo aspecto de una chispa o arco, o de conjunto de chispas o arcos, que establecen conexión eléctrica entre las piezas metálicas del aislador, sometidas normalmente a la tensión de servicio. Para la determinación de la tensión de la tensión disruptiva, en seco, a la frecuencia normal, se somete al aislador a un ensayo en atmósfera seca, a una frecuencia de 60 Hz, pero sometiendo al aislador a los efectos de una lluvia artificial.

Tensión de perforación: Es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, en el que tiene lugar la perforación del aislante, es decir, la destrucción localizada de este material, producida por una descarga que atraviesa el cuerpo del aislador; de acuerdo con esto, el desprendimiento de un fragmento del borde de un aislador por efecto del calor de un arco de contorneamiento, no debe considerarse como perforación.

Carga de rotura mecánica: Es la carga, expresada en kilogramos, a la que tiene lugar la rotura del aislador, o de un herraje, en las condiciones establecidas en el ensayo a un esfuerzo mecánico.

3. OBJETIVO GENERAL

Revisar los procedimientos utilizados para la limpieza de aisladores contaminados.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Describir los procesos que ejecuta la Electrificadora de Santander para la limpieza de aisladores eléctricos en los sistemas de distribución contaminados.
- Revisar los métodos propuestos en la norma del IEEE STD. 957-2005 para la limpieza de aisladores eléctricos contaminados.
- Realizar una comparación entre los procedimientos que realiza la Electrificadora de Santander y los que sugiere el STD. 957-2005 de la norma IEEE.
- Realizar una guía que contenga los criterios técnicos para la selección del proceso a ejecutar para la limpieza de aisladores, dependiendo de los niveles de contaminación.

4. DEFINICIONES

En este capítulo se exponen los términos y abreviaturas empleados en el entorno de los sistemas de distribución eléctrico, que permitan asimilar con mayor facilidad el funcionamiento, normatividad y selección de los métodos para la limpieza de aisladores contaminados.

Para los propósitos de este documento se aplican los siguientes términos y definiciones.

4.1 Aislador.

Los aisladores se componen de material aislante, son empleados para soportar los conductores eléctricos de las líneas eléctricas de transmisión y distribución. [1]

4.2 Aislador de cerámica.

Es un aislador fabricado en pasta de arcilla, caolín, cuarzo o alúmina. [1]

4.3 Aislador polimérico (no cerámico).

El aislador polimérico está constituido principalmente en su interior por material sólido, usualmente fibra de vidrio y una cubierta exterior de materiales poliméricos. [1]

4.4 Metros cúbicos por segundo (m³/s).

Es una medida de volumen. En este caso mide el volumen de agua o líquido descargado por segundo en condiciones estándar. [1]

4.5 Densidad equivalente del depósito de sal (ESDD).

Es una medida que cuantifica o mide el nivel de contaminación. [1]

4.6 No conductivo o no conductor.

Elaborado en material de alta rigidez dieléctrica, el cual se opone al paso de electrones. [1]

4.7 Sobreaspersión.

Porción del chorro de agua que se dispersa dirigiéndose a áreas no deseadas. [1]

4.8 Trabajador calificado.

Persona calificada para realizar trabajo en líneas, incluyendo labores en aire y en tierra. [1]

4.9 Desbastado.

Proceso de ensamble de un acople a una manguera, recortando la parte exterior de la manguera para que se ajuste a las dimensiones internas del acople. [1]

4.10 Tensión del sistema.

Tensión entre fases de los circuitos.

4.11 Conductividad del agua.

La conductividad (recíproca de resistividad) del agua se expresa en microsimens/centímetros (μ S/cm). [1]

4.12 Resistividad del agua.

La resistividad del agua expresada en ohmio-cm (Ω cm) u ohmio-pulgada (Ω pulgada), es la capacidad de oponerse a la circulación de corriente. [1]

4.13 Flameo.

Es una descarga disruptiva externa al aislamiento. Se produce entre las partes que normalmente son sometidas a la tensión de servicio.

5. ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

- ESDD densidad equivalente del depósito de sal (Equivalent Salt-Deposit Density). [1]
- gal/min galones por minuto. [1]
- gal/s galones por segundo. [1]
- di diámetro interno. [1]
- kPa kilopascales, unidad métrica para presión. [1]
- L/s litros por segundo. [1]
- m³/s metros cúbicos por segundo. [1]
- PTO toma de potencia. [1]
- r/min revoluciones por minuto. [1]
- RTV vulcanización a temperatura ambiente (Room Temperatura Vulcanizing). [1]

6. TIPOS DE CONTAMINANTES

Los aisladores están expuestos a depósitos de suciedad en todas las áreas de operación. Los contaminantes que se encuentran con mayor frecuencia tienen poco efecto en el desempeño de los aisladores, en tanto su superficie permanezca seca. La niebla, la neblina o la lluvia ligera usualmente crean condiciones que combinadas con estas capas contaminantes traen como consecuencia deterioros sobre el aislador.

Se han identificado varios tipos de contaminantes, que afectan el desempeño de los aisladores. Estos contaminantes se diferencian por la fuente de donde provienen las impurezas. La agricultura local y las condiciones industriales y geográficas son los principales focos de contaminación. Los diferentes tipos de contaminantes son: sal, cemento/cal, polvo, excremento de pájaros, químicos, esmog (emisiones de automóviles), efluentes de torres de refrigeración, humo, y orgánicos.

NOTA: Los contaminantes por hielo/nieve expuestos en la IEEE STD 957-2005, no se exponen en esta guía debido a la poca implicación en la región.

Por lo general, el viento y la lluvia realizan una acción de lavado en los aisladores, pero no es suficiente puesto que se crean mezclas que se adhieren fuertemente a la superficie del aislador.

6.1 SAL

En áreas cercanas a una masa de agua salada y en áreas adyacentes a autopistas, particularmente en vías elevadas, el viento puede transportar depósitos

de sal considerables. Estos depósitos pueden hacer que sea necesario limpiar los aisladores en áreas en las que se presentan periodos secos prolongados, seguidos de intervalos de lluvia con neblina o niebla.

La niebla salina acumulada sobre el aislador, puede causar flameo e incendios por corriente de fuga. Esta condición de contaminación por niebla salina, es muy común en estructuras adyacentes a vías con alto tráfico, particularmente a lo largo de vías elevadas. Los aisladores se deberían limpiar antes de que se presente niebla o neblina, no después, pues se adhiere con mayor fuerza a la superficie del aislador. [1]

6.2 CEMENTO/CAL

Los aisladores ubicados cerca de plantas de cemento, sitios de construcción, canteras de roca, pueden acumular depósitos de cemento o cal. Estos materiales pueden acumular una capa gruesa que se adhiere firmemente a la superficie del aislador, se puede requerir en estos casos que se frote con la mano, para retirar dicho material. Puede ser necesario un agente químico para remover las capas de cemento. El método de limpieza en seco por un medio abrasivo, también ha comprobado ser bastante eficaz. [1]

6.3 POLVO

Los tipos de polvo que se pueden depositar en los aisladores provienen de una gran variedad de fuentes. Algunos tipos de polvo que afectan el desempeño de los aisladores son polvo de tierra, fertilizante, polvo metálico, polvo de carbón, polvo proveniente de establos ganaderos y ceniza volcánica. [1]

6.3.1 Tierra

El polvo de tierra puede provenir de tierras aradas para cultivo, movimiento de tierras en proyectos de construcción, etc. Algunos métodos de limpieza de polvo de tierra son: lavado con agua, limpieza con aire comprimido y limpieza con paño (limpieza con línea energizada y manual). [1]

6.3.2 Fertilizante

El polvo de fertilizante se produce en las plantas de fertilizantes y por la aplicación de fertilizantes en agricultura. Se sabe que el polvo de fertilizantes crea una capa gruesa que no se puede eliminar mediante lavado a alta presión. En estos casos, para limpiar los aisladores es necesario frotar con la mano o lavar en seco. [1]

6.3.3 Metálico

El polvo metálico se origina en varios procesos de minería y de manejo de minerales. El polvo metálico se puede limpiar usando aire comprimido y limpiando con un paño (limpieza con línea energizada y manual). [1]

6.3.4 Carbón

Las operaciones de manejo y de minería del carbón y el quemado industrial de carbón son fuentes importantes de polvo de carbón. Las cenizas resultantes del quemado del carbón pueden formar compuestos que se adhieren firmemente a las superficies del aislador y se pueden eliminar solamente con lavado a alta presión, o con aire comprimido y una sustancia abrasiva. [1]

6.3.5 Establos ganaderos

El polvo proveniente de los establos ganaderos o en su caso el polvo de tierra que levantan los animales en estos grandes establos, se pueden depositar en los aisladores cercanos, cuando el clima está seco. Este polvo normalmente se retira con agua a alta presión. [1]

6.3.6 Ceniza volcánica

La actividad volcánica puede emitir grandes cantidades de contaminante a la atmósfera en un corto período. Durante los períodos de actividad volcánica y algún tiempo después, se acumulan gruesas capas de ceniza volcánica en los aisladores. Esta ceniza no se remueve fácilmente, a menos que se limpie al poco tiempo de que es depositada. Se puede usar lavado con agua o limpieza con aire comprimido o en su caso frotación con un paño. [1]

6.4 EXCREMENTO DE PÁJAROS

Los aisladores ubicados en la cercanía de las perchas para pájaros están expuestos a contaminación por excrementos. Estos depósitos usualmente son lavables y con frecuencia los limpian las lluvias fuertes, pero pueden causar problemas graves de confiabilidad del sistema. Para limpiar este contaminante se pueden usar todos los métodos, tales como el lavado con agua, la limpieza con aire comprimido y la frotación con un paño. [1]

6.5 QUÍMICO

En los aisladores se depositan contaminantes atmosféricos de una amplia variedad de procesos químicos industriales, rociado de químicos agrícolas y químicos (borato) para la extinción de incendios. Las características de estos contaminantes químicos varían ampliamente. Algunos químicos son muy solubles y se pueden limpiar fácilmente, mientras que otros se adhieren firmemente y se pueden remover solamente de forma manual. [1]

6.6 ESMOG (EMISIONES VEHICULARES)

En las áreas urbanas, las emisiones de los automóviles introducen en el ambiente una cantidad significativa de material. Además, las emisiones de motores diésel provenientes de los trenes afectan particularmente las áreas adyacentes a las servidumbres. Normalmente, los químicos industriales están presentes en áreas con problemas de smog pesado. Los contaminantes resultantes en los aisladores tienen características variables, dependiendo de la combinación de contaminantes presentes. Para limpiar el smog se pueden usar varios métodos, tales como lavado con agua, limpieza con aire comprimido y frotación con un paño. [1]

6.7 RESIDUOS DE TORRES DE REFRIGERACIÓN

Los residuos de torres de refrigeración están compuestos de vapor de agua y una pequeña cantidad de sólidos disueltos. En condiciones normales de viento y temperatura, los residuos de las torres de refrigeración se deberían dispersar rápidamente y no afectar el desempeño del aislador. Sin embargo, en algunas condiciones climáticas es posible que el residuo cree niebla localizada; esta niebla puede humedecer los aisladores secos y sucios, o si la temperatura es

suficientemente fría, se puede formar hielo sobre los aisladores. Cualquiera de las dos situaciones puede afectar el desempeño del aislador. El lavado con agua es una manera eficaz de limpiar el residuo de la torre de refrigeración. [1]

6.8 HUMO

El quemado industrial o agrícola o los incendios forestales pueden, con otras condiciones compatibles (Como humedad y precipitación) hacer que la contaminación resultante se acumule sobre el aislamiento. El humo se puede lavar con agua, o frotando con un paño de manera manual. [1]

6.9 ORGÁNICOS

La contaminación orgánica consiste en organismos vivos o muertos, o en subproductos generados por estos. Algunos ejemplos comunes son los mohos y las algas. La frotación con un paño y el lavado y la limpieza con aire comprimido pueden ser métodos de limpieza eficaces. [1]

7. HERRAMIENTAS

Para realizar la limpieza de aisladores se debe tener en cuenta, que para todo tipo de trabajo ya sea en línea energizada o desenergizada, existen diferentes tipos de herramientas que facilitan al operario de mantenimiento efectuar dichas limpiezas con mayor eficiencia y sin presentar riesgos hacia él mismo.

7.1 PÉRTIGAS

La pértiga para trabajo eléctrico es una herramienta comúnmente utilizada para realizar maniobras a dispositivos u objetos sometidos a tensión.

7.1.1 Diseño de pértiga

Su composición fundamental es FRP (plástico reforzado con fibra de vidrio). La pértiga es una herramienta para trabajo en línea viva que debe estar diseñada y construida para soportar tensiones altas y prolongadas, como también esfuerzos mecánicos severos.

NOTA: Las herramientas constituidas por FRP deben cumplir las especificaciones de la norma ASTM F711 para herramientas de línea energizada.

7.1.2 Tipos de pértigas.

- **Pértigas telescópicas:** Provistas con cabezal universal o roscado. La utilización de adaptadores permite el empleo de diversos accesorios según las maniobras a realizar, pudiéndose acoplar desconectores, espejos, horquillas y

dispositivos para maniobras de seccionadores, cambio de fusibles y cabezales detectores de tensión. En el mantenimiento de aisladores es de vital importancia, pues con esta herramienta se efectúa el desacople del aislador con el poste o estructura.

Figura 1. Pértiga telescópica.



Fuente [5].

- **Pértigas de gancho retráctil:** Están destinadas a la instalación y remoción de dispositivos que posean un ojal, pudiéndose emplear también para guiar y desplazar piezas, en este caso aisladores. Se construyen en un solo tramo de longitudes variables en función del alcance físico y tensión de servicio. La apertura y cierre del gancho se realiza a través de una varilla maciza de material sintético reforzado con fibra de vidrio.

Figura 2. Pértiga de gancho retráctil.



Fuente [5].

- **Pértigas de maniobra:** Esta herramienta es indispensable para el mantenimiento de aisladores, pues se destina para desconexiones de fusibles, cuchillas y seccionadores, para posteriormente trabajar en línea desenergizada.

Figura 3. Pértiga de maniobra.



Fuente [5].

- **Pértiga aislada para soporte:** Esta herramienta es indispensable en el cambio de aisladores puesto que se necesita de un mayor esfuerzo mecánico, siendo ideal para este tipo de operaciones. Se realizan trabajos con esta pértiga, mientras que los linieros están instalando Jumper abrazaderas o abrazaderas de puesta a tierra en líneas de hasta 34,5 kV.

Figura 4. Pértiga para soporte.



Fuente [5].

7.1.3 Condiciones

Cada herramienta para trabajo en línea viva (pértiga), deberá limpiarse e inspeccionarse visualmente para detectar defectos antes del uso diario. En caso de que se presente cualquier defecto o contaminación que puedan afectar negativamente las cualidades de aislamiento o la integridad mecánica de la herramienta, esta deberá ser retirada de servicio, examinada y probada en la forma prescrita por la norma ASTM D149¹ y ASTM D638², antes de ser devuelta al servicio.

Se recomienda para el mantenimiento de este tipo de herramientas utilizar un paño impregnado con silicona para su limpieza diaria, combinado con la inspección requerida, se trata de medidas de seguridad de sentido común que han sido una práctica habitual de muchas empresas. [2] [3]

➤ **Pértiga típica deteriorada:** dicha pértiga no pasará la prueba concerniente y especificaciones de la norma ASTM D149, incluso con un tratamiento de cera o silicona sobre su superficie. Se requiere de la restauración de su superficie y que cumplan las normas de seguridad y funcionamiento vigentes para la industria (ASTM F711³, IEC 855⁴) (Ver figura 5). [4]

¹ ASTM D149 norma para pruebas estándar de rigidez dieléctrica y tensión de ruptura en materiales eléctricos aislantes.

² ASTM D638 norma basada en pruebas mecánicas para examinar las propiedades de tracción de las pértigas.

³ ASTM F711 norma con características técnicas de los métodos de prueba para pértigas rellenas de espuma a base de fibra de vidrio reforzado con plástico (FRP).

⁴ IEC 855 norma para las características de aislamiento de pértigas con relleno de espuma para trabajo a tensión.

Figura 5. Pértiga en estado medio de deterioro.



Fuente [6].

➤ **Pértiga en alto estado de deterioro.** Esta herramienta no pasará la prueba prescrita en la norma ASTM D149, incluso después de la restauración a su superficie. Las herramientas en esta condición deben ser retiradas del servicio (ver figura 6). [2] [4]

Figura 6. Pértiga en estado alto de deterioro.



Fuente [6].

➤ **Pértiga en buenas condiciones.** Su mantenimiento se debe a una limpieza constante con cera o silicona, esta pértiga pasa la prueba y es apta para el servicio (ver figura 7). [4]

Figura 7. Pértiga en buenas condiciones.



Fuente [6].

7.1.4 Pruebas y mantenimiento

Cada dos años las herramientas para línea viva, deberán ser retiradas de servicio para su examen, limpieza, reparación y pruebas. Además, de la limpieza diaria a dicha herramienta, se hacen pruebas para asegurar su óptimo funcionamiento.

Todas las herramientas de FRP, se deben probar eléctricamente, siempre y cuando la reparación o renovación del acabado no se haya realizado. El empleador puede demostrar que la herramienta tiene defectos que podrían causar la falla en su uso y por lo tanto acelerar el proceso de mantenimiento.

➤ **Probador de aislamiento para pértigas portátiles:** Este instrumento es recomendado para verificar la rigidez dieléctrica, tensión de ruptura y como una alternativa a la prueba de laboratorio provista en la norma ASTM D149 (ver figura 8).

Cuando se requiere una prueba de herramientas bajo cualquiera de las circunstancias enunciadas anteriormente, los métodos específicos se describen en las reglas y regulaciones de las normas ASTM F1826⁵, ASTM F711 y en el estándar IEEE 516⁶. [14] [15]

⁵ ASTM F1826 .Especificación estándar para la línea viva y Herramientas de Mediciones telescópicas

⁶ IEEE 516. Guía para métodos de mantenimiento para herramientas de líneas energizada.

Figura 8. Probador de aislamiento para pértigas.



Fuente [6].

➤ **Pruebas eléctricas en laboratorio para pértigas:** para el desarrollo de pruebas de aislamiento realizadas a pértigas utilizadas en redes de distribución, se hace una breve descripción a continuación:

- La pértiga a probar debe tener una longitud mínima de 0,930 m.
- Antes de iniciar la prueba, la pértiga debe ser limpiada con un solvente de manera que no queden residuos en la superficie.
- Todas las pruebas a la pértiga deben ser hechas sin exponerla a condiciones de humedad.
- Después de limpiar la pértiga, se hace el montaje ubicándola dentro de los electrodos, 24 horas antes de ejecutar la prueba (ver figura 9).
- Aplicar tensión constante a 1 kV hasta 100 kV.
- Sostener la tensión de 100 kV durante 1 minuto
- Disminuir tensión al 50% en 10 segundos: Disminuir la tensión en 10 pasos, cada uno de 5 kV.

- Sostener tensión durante 10 segundos.
- Disminuir tensión hasta 0% en 10 segundos: Disminuir la tensión en 10 pasos, cada uno de 5 kV.
- Desmontar la muestra.

La pértiga es aprobada si cumple con los requerimientos provistos en la norma ASTM F71⁷. [2] [3] [4]

Figura 9. Montaje para prueba eléctrica de pértiga por medio de electrodos.



Fuente [6].

➤ **Inspección visual a cargo de un operario:** Se requiere de una inspección visual por parte del operario cada vez que se utilice dicha herramienta, buscando anomalías sobre la superficie del material, para posteriormente realizar la limpieza con una pequeña aspersion de silicona (ver figura 10). [4]

⁷ ASTM F71. Norma internacional que ampara el ensayo de varas dieléctricas (Medios de protección eléctricos, tubos aislantes rellenos de espuma, tubos huecos y pértigas aislantes macizas).

Figura 10. Inspección visual para evaluación física de la pértiga.



Fuente [6].

7.2 JUMPERS

Los jumpers son conductores con enganches mecánicos en sus extremos para operar en tensiones altas. Sirven para hacer un puente para desenergizar dicho elemento conectado.

7.2.1 Puente aislado (jumper) [15 kV]

Son para servicio pesado y se operan con una pértiga. La grapa admite altas corrientes en forma permanente, se monta y ajusta mediante una pértiga de gancho retráctil estándar. Se recomienda utilizar un perno de sostén para facilitar su instalación. En este caso para limpieza de aisladores, este puente se utiliza para el desmontaje de transformadores de potencial y el mantenimiento de interruptores (ver figura 11). [7]

Figura 11. Jumper 15 kV

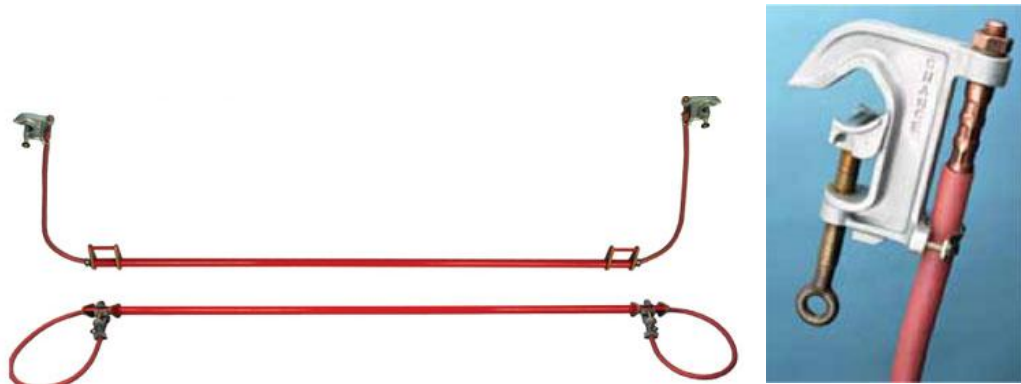


Fuente [7].

7.2.2 By pass jumper [15 kV]

Disponibile en cuatro tamaños. Este by-pass está compuesto de fibra de vidrio y FRP. El tubo que posee este jumper sirve de apoyo para facilitar el manejo del puente establecido o herramientas para trabajo en línea. Básicamente es un puente y su uso depende del área de trabajo para desmontaje de transformadores de potencial (ver figura 12). [7]

Figura 12. Jumper 15 kV con plástico reforzado



Fuente [7].

7.2.3 By pass jumper [34,5 kV]

Este jumper posee aluminio sólido, cubierto por un tubo de polipropileno con un mango para sujetar hecho en silicona. Su capacidad es de 400 A y posee una mayor capacidad de maniobra para cambio de transformadores de corriente y posterior mantenimiento del aislamiento (ver figura 13). [7]

Figura 13. Jumper 34,5 kV



Fuente [7].

7.3 TRAJE PARA TRABAJO A POTENCIAL O LÍNEA VIVA

El traje funciona con el principio de una jaula de Faraday que pone al liniero al mismo potencial que el conductor. Con la ropa pegada al cuerpo, el operador de línea puede trabajar cómodamente en el interior del campo eléctrico con las manos enguantadas a corta distancia. El traje de dos piezas conductoras está hecho de una mezcla de fibra de aramida resistente al calor y fibras de acero inoxidable microscópico (ver figura 14).

Tanto la chaqueta como los pantalones, están diseñados con la máxima protección, y se garantiza conductividad eléctrica. La capucha asegura conductividad eléctrica completa, la cual permite una mayor confiabilidad, movilidad y comodidad al instante de operación. El traje posee cierres a presión, con lo cual se asegura la unión de la chaqueta con el pantalón y su paso de corriente eléctrica. El traje proporciona facilidad de movimiento, pues su material

permite realizar funciones de operación sin ninguna incomodidad. En los tobillos y las muñecas del traje se tienen cierres para un ajuste perfecto.

Los guantes de este traje, están hechos de una mezcla fina de hilos similares a los utilizados en los trajes, los guantes son fuertes y duraderos. Los calcetines están hechos de una mezcla especial de aramida, acero inoxidable, algodón y goma, con lo cual se proporciona la comodidad necesaria para llevar puesta esta indumentaria durante horas.

Para el mantenimiento del traje y su respectivo lavado, se tiene que todas las prendas son totalmente lavables a mano o en su defecto en lavadora automática, siempre y cuando se utilice un detergente suave. [6]

Figura 14. Traje para trabajo a potencial⁸



Fuente ESSA.

⁸ Trabajo a potencial: también llamado trabajo en línea viva o en línea energizada.

7.4 ANDAMIOS

Un andamio es un armazón desmontable, fija o móvil, que sirve como auxiliar para la ejecución de las obras, haciendo accesible el trabajo y facilitando el movimiento de materiales al punto de trabajo (ver figura 15).

Hay diferentes tipos de andamio pero en este caso, se necesita que el trabajador no este expuesto a descargas, por esta razón se utilizan andamios aislados para trabajos eléctricos en línea viva. Estos andamios deben estar debidamente aislados para la adecuada protección del trabajador, puesto que no deben presentar descargas hacia tierra.

También se debe tener presente el riesgo de trabajo en alturas y por esto se utilizan aparejos que provisionen seguridad al andamio, estos aparejos en el caso de la ESSA se hacen por medio de pértigas, siempre conservando las distancias de seguridad.

Figura 15. Andamio para trabajo en línea viva



Fuente ESSA.

7.5 AEROSOL PARA PROTECCIÓN DE AISLADORES

La ESSA posee entre sus técnicas para preservar el aislamiento característico del aislador, la aplicación de un spray que no es más que un barniz aislante incoloro de secado rápido a base de resina alquídica, el cual al ser aplicado sobre el aislador deja una película flexible, resistente y de alta rigidez dieléctrica (ver figura 16).

Este spray posee una excelente adhesión a metales, plásticos, vidrios, maderas etc. Resiste al agua, corrosión, humedad, rayos UV, ácidos, álcalis y aceites además, este aerosol tiene las siguientes características: [8]

- No corrosivo
- De secado rápido (8 – 15 minutos)
- No daña la capa de ozono (no contiene CFC)
- Fácil aplicación (spray aerosol)
- A base de resina alquídica
- Alta rigidez dieléctrica, 500 V por capa de 24/45 μm
- Color transparente (puede sellar cualquier superficie)

Figura 16. Aerosol para mantenimiento de aislamiento



Fuente ESSA.

7.6 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA MANTENIMIENTO EN ALTURAS

Para ejecutar el debido mantenimiento de aisladores en alturas, el trabajador debe seguir un protocolo, este le debe dar certeza de su integridad para poder realizarlo. Ciertos protocolos vienen dados por normas de seguridad para trabajo en alturas; tales como equipos de protección contra posibles caídas, golpes o laceraciones en sus extremidades y su cabeza. Por tal motivo se sugieren los siguientes elementos de protección.

- **Eslingas:** son herramientas prácticas de elevación que permite enganchar elementos y que poseen alta capacidad mecánica contra esfuerzos. Se utilizan para asegurar al operario a la estructura, para que en caso de caída pueda estar asegurado (ver figura 17).

Figura 17. Eslinga



Fuente [9].

- **Casco:** brinda protección al operario y en caso de la caída de una herramienta se asegura que no se tenga un traumatismo (ver figura 18).

Figura 18. Casco



Fuente [10].

- **Guantes:** preferiblemente guantes dieléctricos (ver figura 19 a)) pues se asegura que no habrá descarga directamente sobre el operario. En casos donde no se expone a tensiones si no a esfuerzos mecánicos, ya sea por sogas o transporte de material pesado, se utilizan guantes de carnaza (ver figura 19 b) por su mayor resistencia.

Figura 19. Guantes para proyección a) Carnaza b) Dieléctricos



a)

b)

Fuente [11].

- **Gafas:** sirve como protección para material que puede caer directamente sobre los ojos ya sea sólidos, compuesto por químicos o simplemente agua (ver figura 20).

Figura 20. Gafas de protección en trabajo eléctrico



Fuente [12].

8. PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES UTILIZADOS EN LA ESSA

Los procedimientos utilizados en la ESSA para la limpieza de aisladores se llevan a cabo de dos formas, en línea viva o desenergizada. A continuación se dará una breve explicación de cada procedimiento; se aclara que estos procedimientos fueron explicados por técnicos de la ESSA, ya que no cuentan con un material documentado de los métodos utilizados en cada caso. Hay que tener claro que la ESSA independientemente del procedimiento, siempre que realiza limpieza hace cambio de elemento (aisladores, pararrayos, transformadores de corriente, transformadores de potencia, seccionadores). Los elementos retirados se transportan al lugar destinado por la empresa para realizar su limpieza (ítem 8.1).

Luego se efectúan las pruebas necesarias (ítem 9), que determinarán si el elemento al cual se le hizo mantenimiento puede volver a entrar en servicio cuando se requiera.

8.1 LIMPIEZA DE AISLADORES EN LA ESSA

El proceso de limpieza de los aisladores reemplazados consiste en hacerles un lavado con agua a presión por medio de una hidrolavadora, en instalaciones pertenecientes a la ESSA, seguido de un lavado a mano que se hace con agua, detergente y para refregarlos se usa un paño de algodón. Si el aislador presenta muestras de aceite o grasa, se utiliza alcohol industrial y toallas industriales que no dejen residuos en el aislador.

8.2 SUBESTACIONES

Una subestación es una instalación que modifica y establece los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica. Se conforma por varios elementos que poseen aislamiento, tales como: transformadores de corriente (CT'S), transformadores de potencial (PT'S), seccionadores, interruptores y pararrayos.

El procedimiento utilizado para la limpieza de aisladores en subestaciones depende del área de trabajo y del equipo al cual se le va a hacer su respectivo mantenimiento, siendo ejecutado por personal que este certificado. Antes de realizar cualquier procedimiento se evalúa el aislamiento de los andamios y pértigas que se van a utilizar, mediante un megohmetro para asegurar que no se presente arcos hacia el trabajador.

8.2.1 TRABAJO EN LÍNEA DESENERGIZADA O MUERTA

En las subestaciones el único procedimiento que realiza la ESSA en línea muerta, es el mantenimiento de los transformadores de corriente (CT'S).

➤ TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (CT'S)

En la ESSA no se realiza trabajo en caliente para sustituir este elemento, puesto que si se retira momentáneamente este transformador, la subestación queda desprotegida y en caso de falla no habrá ningún equipo que haga este monitoreo y por lo tanto no actuarán las debidas protecciones.

Para realizar el mantenimiento de los CT'S se llevan a cabo los siguientes pasos:

- Se desenergizan los dos extremos.

- Se hace el desacople al transformador de corriente por medio de un andamio y pértigas.
- Se retira de su posición de servicio por medio de una grúa.
- Se reemplaza por uno que se encuentre en óptimas condiciones de servicio.
- El transformador retirado es transportado a los laboratorios de la ESSA.
- Se efectúa la limpieza (ítem 8.1).
- Se aplican las pruebas utilizadas por la ESSA (ítem 9).

8.2.2 TRABAJO EN LÍNEA ENERGIZADA O LÍNEA VIVA

Para el mantenimiento de subestaciones en línea viva, la ESSA solo realiza limpieza a los siguientes elementos:

➤ PARARRAYOS (DPS)

Para el mantenimiento de los pararrayos la ESSA realiza los siguientes pasos:

- El operario certificado se pone el traje de aramida para trabajo en línea viva.
- Se ubica el andamio (ítem 7.4) en el lugar deseado, asegurándolo con pértigas en sus cuatro extremos.
- El operario asciende al andamio y se pone al mismo potencial del pararrayos.
- Suelta el conductor del pararrayos.
- Se desacopla la base del pararrayos, (esto lo realiza un operario desde el suelo).

- Se retira el pararrayos de su sitio por medio de un sistema de sogas y poleas (figura 21).
- El pararrayos retirado es transportado a los laboratorios de la ESSA.
- Se efectúa la limpieza (ítem 8.1).
- Se aplican las pruebas utilizadas por la ESSA (ítem 9).

Figura 21. Desmonte de pararrayos



Fuente ESSA.

➤ TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (PT'S)

Un transformador de potencial es un transformador de medición, se encarga de convertir los valores de tensión a valores más pequeños que por lo general es 120 V, para así poder estar monitoreando los valores que continuamente se tienen.

Para el mantenimiento de estos transformadores la ESSA sigue los siguientes pasos:

- El operario certificado se pone el traje de aramida para trabajo en línea viva.
- Se ubica el andamio (ítem 7.4) en el lugar deseado, asegurándolo con pértigas en sus cuatro extremos.
- El operario asciende al andamio y se pone al mismo potencial del transformador de potencial.
- Se suelta el conductor del transformador de potencial.
- Se retira este conductor ubicándolo a una distancia considerable.
- Se retira el transformador de potencial de su sitio de servicio por medio de una grúa (figura 22).
- El transformador de potencial retirado es transportado a los laboratorios de la ESSA.
- Se efectúa la limpieza (ítem 8.1).
- Se aplican las pruebas utilizadas por la ESSA (ítem 9).

Nota: Es necesario utilizar una grúa para retirar algunos elementos de la subestación debido a su gran peso.

Figura 22. Grúa levantando el PT



Fuente ESSA.

➤ **SECCIONADORES**

Los seccionadores son elementos encargados de aislar de una forma visible componentes del sistema, para la realización de mantenimiento la ESSA realiza los siguientes procedimientos:

- El operario certificado se pone el traje de aramida para trabajo en línea viva.
- Se hace un puente entre los dos extremos del seccionador
- Se realiza una conexión a tierra por ambos lados del seccionador
- Se efectúa una inspección visual de rupturas, puntos calientes y deterioros
- Se realiza una limpieza de los aisladores
- De ser necesario, se realiza cambio del seccionador

Nota: El seccionador es el único elemento de la subestación, que no se transporta a los laboratorios de la ESSA para hacerle mantenimiento.

8.3 DISTRIBUCIÓN

La red de distribución de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el abastecimiento de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

Para ejecutar el mantenimiento a los aisladores que conforman la parte de distribución, la ESSA ejecuta los siguientes pasos:

- Se suspende el servicio de energía eléctrica.
- Los operarios por medio de pretales suben al poste para tener contacto directo con los aisladores.
- Se desacoplan los aisladores.
- Se bajan los aisladores por medio de cuerdas.
- Se reemplazan los aisladores, por otros de repuesto.
- Se llevan a laboratorio para su respectiva limpieza (ítem 8.1).
- Se realizan las pruebas concernientes a la ESSA, para saber su óptimo funcionamiento (ítem 9).

9. PRUEBAS REALIZADAS EN LA ESSA PARA DETERMINAR EL ESTADO DE LOS AISLADORES

En la ESSA para los trabajos en aisladores se rigen por la norma NTC 1285⁹, esta norma detalla las pruebas a las que deben someterse los aisladores para garantizar que pueden prestar un buen servicio en el momento que entren en funcionamiento. En la norma se describen varias pruebas; la ESSA no realiza todas las allí mencionadas. Por esta razón solo se explicarán brevemente las que la empresa ejecuta. Las pruebas en la ESSA solo se le practican a los aisladores de vidrio, puesto que a los aisladores de porcelana se opta por el cambio en lugar de su mantenimiento debido a los costos.

Para la descripción de las pruebas realizadas en la ESSA se define la tensión de flameo como el valor eficaz (r.m.s) de la tensión a baja frecuencia que en condiciones especificadas se puede aplicar produciendo una descarga disruptiva sostenida a través del medio que rodea el aislador.

Para realizar las pruebas es necesario que la superficie de los aisladores esté limpia. Se aclara que dependiendo del tipo de aislador al cual se le va a practicar la prueba el montaje varía.

9.1 ENSAYOS DE TENSIÓN DE FLAMEO EN SECO A BAJA FRECUENCIA

➤ **Aplicación de tensión:** la tensión que se aplica inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta alcanzar aproximadamente el 75% del valor promedio esperado de la tensión de flameo en seco. La tasa continua de

⁹ NTC 1285 norma técnica colombiana que describe los métodos de ensayo para aisladores de potencia eléctrica.

incremento de tensión debe permitir que, el tiempo transcurrido hasta la iniciación del flameo no sea menor que 5 s, ni mayor que 30 s, después de alcanzado el 75% del valor de la tensión de flameo.

➤ **Valor de tensión de flameo en seco:** el valor de tensión de flameo en seco de un objeto de prueba, será la media aritmética de por lo menos cinco valores de flameos individuales, tomados consecutivamente. El periodo entre flameos consecutivos no debe ser menor que 15 s, ni mayor que 5 min.

9.2 ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN HÚMEDO A BAJA FRECUENCIA

➤ **Precipitación:** a continuación se mencionará el procedimiento convencional para el ensayo en húmedo con tensión alterna:

- *Boquillas de rocío:* el objetivo de la prueba es someter a un aislador, a una precipitación artificial, con la mayor uniformidad posible, producida por un número determinado de boquillas. [13]
- *Dirección del rocío:* se debe dirigir en forma descendente, de modo que al golpear el aislador forme un ángulo de 45° con la vertical. [13]
- *Tasa de precipitación:* la tasa normal de precipitación en el aislador debe ser de 5 mm/min \pm 0,5 mm/min. [13]

➤ **Aplicación de tensión:** a no menos de 1 min de normalizada la aplicación del rocío, se debe incrementar la tensión, hasta alcanzar rápidamente el 75% del valor promedio esperado de tensión de flameo en húmedo. La tasa continua de incremento de tensión será tal, que el tiempo para que se produzca el flameo no sea menor que 5 s, ni mayor que 30 s, después de alcanzado el 75% del valor de tensión y flameo. [13]

➤ **Valor de tensión de flameo en húmedo:** el valor de la tensión será la media aritmética de por lo menos cinco valores consecutivos, de tensión de flameo en húmedo. El periodo entre flameos consecutivos no será menor que 15 s ni mayor que 5 min. [13]

10. LIMPIEZA DE AISLADORES SEGÚN NORMA IEEE STD. 957-2005

En este capítulo se describen los procedimientos para la limpieza de aisladores contaminados según la norma IEEE STD. 957-2005, a continuación se presenta información sobre los equipos necesarios y los métodos que se pueden llegar a utilizar para la limpieza de aisladores contaminados.

Se omiten algunos procedimientos mencionados en la guía IEEE STD. 957-2005, debido a que no aplican para la región de Santander.

10.1 AISLADORES QUE SE VAN A LIMPIAR

En este capítulo se hará énfasis en el mantenimiento para los aisladores de líneas de transmisión y equipos de subestación, pues se fabrican en materiales cerámicos y poliméricos. La limpieza de los aisladores de distribución implican aspectos diferentes de los aisladores de líneas de transmisión, debido a la menor tensión involucrada y a las distancias de seguridad respectivas.

10.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Para el mantenimiento de las líneas de transmisión, se debe presentar una limpieza continúa, ya que los principales focos de contaminación para los aisladores se dan en estas, debido a que dichas líneas se alzan sobre terrenos de alta contaminación.

10.2.1 Aisladores cerámicos

Los aisladores en porcelana y vidrio con herrajes galvanizados, son los aisladores que requieren de una limpieza continua.

Los aisladores cerámicos se pueden limpiar de diferentes formas, y pueden estar energizados o desenergizados. Los métodos que se utilizan con mayor frecuencia se citan a continuación:

- Agua a alta presión (2 750 kPa a 7 000 kPa) (400 psi a 1 000 psi).
- Agua a presión media (2 100 kPa a 2 750 kPa) (300 psi a 400 psi).
- Agua a baja presión (lavado por riego) (1 400 kPa) (200 psi).
- Boquilla de aspersion fija para agua a baja presión.
- Limpieza con aire comprimido. Cascara de maíz y gránulos de CO₂.
- Frotación con línea energizada (usando una herramienta para línea energizada).
- Limpieza manual.

10.2.2 Aisladores poliméricos

Para hacer la limpieza respectiva de estos aisladores, se debe consultar previamente a los fabricantes, para obtener una asesoría sobre sus productos y sobre la aplicabilidad de los métodos de limpieza.

10.2.2.1 Directrices generales para lavado con agua a presión

La Tabla 1 presenta una guía general para el lavado de diferentes tipos de aisladores poliméricos con agua a presión.

Tabla 1. Lavado con agua a presión para aisladores poliméricos

1.Unidades de moldeo directo	
Silicona	Lavado con agua de baja a alta presión (1400 kPa a 7000kPa)
EPDM	Lavado con agua a alta presión (2750 kPa a 7000 kPa)
Aleación de EPDMs	Lavado con agua a alta presión (2750 kPa a 7000 kPa)
Epoxico	Lavado con agua a alta presión (2750 kPa a 7000 kPa)
Cerámico recubierto con polímero	Lavado con agua de media a alta presión (2100kPa a 7000kPa)
2. Campana individual pegadas a un revestimiento polimérico o entre si	
Silicona	Lavado con agua de baja a alta presión (1400 kPa a 7000 kPa)
EPDM/EPR	Lavado con agua a alta presión (2750 kPa a 7000 kPa)
Aleación de EPDMs	Lavado con agua alta presión (2750 kPa a 7000 kPa)
3.Campana individual con una interfaz no pegada	
Todos los compuestos	1400 kPa en la bomba, con una boquilla de 6 mm y a no menos de 4,6 m
NOTA: para los tipos 1 y 2, el chorro de agua se puede dirigir en cualquier ángulo al eje del aislador. El tipo 3 exige que el chorro de agua se dirija a la superficie superior (ahusada) de las campanas en un ángulo no superior a 90° (perpendicular) al eje del aislador.	

Fuente [1].

10.2.2.2 Frecuencia del lavado

Para el mantenimiento de los aisladores poliméricos se debe tener en cuenta que su lavado no va a ser tan frecuente como para los aisladores de porcelana o vidrio.

Nota Los aisladores poliméricos se pueden limpiar utilizando métodos diferentes del lavado con agua.

10.2.2.3 Limpieza desenergizada

Para la limpieza en línea desenergizada o línea muerta, se contempla la posibilidad el mantenimiento en dicho lugar mediante lavado a mano con un paño y con agua utilizando un detergente suave. Se debe hacer posteriormente un enjuague por riego con agua limpia a baja presión, para retirar cualquier residuo del aislador.

10.2.2.4 Limpieza energizada

Para la limpieza en línea energizada se debe contemplar el método por medio de limpieza abrasiva seca mediante aire comprimido. Este método de limpieza abrasiva se prepara con frecuencia de compuestos como cascara de maíz triturada, mezclada con cascara de nuez. Este proceso es muy similar a la limpieza con chorro de arena, puesto que consiste en un bombardeo de estas partículas hacia el aislador. Luego de este proceso se debe hacer el retiro de partículas sobrantes que quedan sobre el aislador, el retiro de estas partículas se hace por medio de aire comprimido limpio y seco.

Nota No se recomiendan técnicas de limpieza abrasivas para aisladores poliméricos, ya que pueden destruir temporalmente la Hidrofobicidad¹⁰ de su superficie.

10.3 EQUIPOS DE SUBESTACIÓN

Para los equipos de una subestación se ejecuta mantenimiento a componentes que tienen aislamiento asociado como los bujes, descargadores de sobretensión y cualquier unidad que necesite limpieza de aisladores y al no realizársele pudieran ocurrir fallas en dichos elementos ocasionando errores en el sistema.

10.3.1 Aisladores cerámicos

Se le practica el mismo mantenimiento que a los aisladores de líneas de transmisión.

10.3.2 Aisladores poliméricos

Se le realiza igual mantenimiento que a los aisladores de líneas de transmisión.

¹⁰ **Hidrofobicidad** Es la propiedad que tiene la superficie de un aislante sólido para formar gotas en lugar de formar una película continua de agua cuando existen condiciones de niebla, alta humedad o lluvia ligera.

10.3.3 Bujes

Los bujes son fabricados en materiales cerámicos o poliméricos, y se deben tratar con mucho cuidado al realizar su mantenimiento. Antes del lavado se deben tener en cuenta la presión del agua, el volumen, y el soporte mecánico de los bujes.

10.3.4 Descargadores de sobretensión (DPS)

Los descargadores de sobretensión se pueden elaborar en materiales cerámicos o poliméricos.

10.3.4.1 Cerámicos

Para realizar el lavado energizado a un aislador cerámico se debe tener en cuenta posibles esfuerzos eléctricos severos a los descargadores de sobretensión, debido a que se presentan desequilibrios de tensión, y no se debería llevar a cabo tal mantenimiento sin consultar al fabricante del DPS.

10.3.4.2 Poliméricos

Para el mantenimiento de los aisladores poliméricos se debe consultar al fabricante antes de realizar cualquier limpieza, ya que también se imponen esfuerzos eléctricos severos debido al desequilibrio de tensión.

10.4 EQUIPOS PARA LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Como en el caso de las subestaciones, hay que tener presentes los mismos tipos de mantenimiento asociados, pero en este caso varían las distancias de seguridad para la línea energizada ya que se reducen las tensiones pertinentes de trabajo.

10.4.1 Aisladores de porcelana y vidrio

Se usan los mismos métodos de limpieza de aisladores para líneas de transmisión.

10.4.2 Aisladores poliméricos

Igual que para los aisladores de líneas de transmisión.

10.4.3 Descargadores de sobretensión (DPS) de tipo distribución

A los DPS para los sistemas de distribución con cubiertas poliméricas no se deberán exponer al chorro directo de lavado a alta presión puesto que se verán afectados en su asilamiento. Para realizar dicho mantenimiento se debe solicitar al fabricante del descargador recomendaciones para el lavado.

10.5 LIMPIEZA DE AISLADORES ENGRASADOS

Para los aisladores que se encuentran contaminados en su superficie con grasa, se les puede realizar limpieza, ya sea en línea energizada o no. Si llegado el caso y se opta por una limpieza manual, debe hacerse en línea desenergizada.

En el caso de la limpieza manual, el método consiste simplemente en frotar con un paño la grasa que contiene el aislador hasta su retiro parcial. En dado caso que la grasa se haya endurecido y aterronado sobre el aislador, se opta por picar o raspar este contaminante, para posteriormente utilizar un método de limpieza abrasivo que complete el retiro en su totalidad de la grasa.

Para algunas situaciones donde se hace mantenimiento en línea energizada, se debería considerar métodos como el de limpieza abrasiva y limpieza con pértiga aislada, siendo este último el más utilizado en el mantenimiento de aisladores.

En la industria se han desarrollado recubrimientos especiales para los aisladores de alta tensión, estos recubrimientos le ofrecen al aislador mayor resistencia al arco y mayor hidrofobicidad que los aisladores comunes. Los recubrimientos compuestos por trihidrato de alúmina (ATH), exigen un mantenimiento diferente con respecto a los comerciales, dicho mantenimiento consiste en el uso de agua desmineralizada a una presión relativamente baja de 850 kPa (125 psi) y una capacidad alta de 3,2 L/s (50 gal/min) sobre el aislador.

Nota Cuando se realiza el mantenimiento para aisladores con recubrimiento ATH, se aconseja el retiro total de esta capa para posteriormente aplicar una nueva de ATH. No se debe aplicar un recubrimiento nuevo sobre uno ya deteriorado.

10.6 LIMPIEZA DE AISLADORES CON ESMALTADO RESISTIVO

Para el mantenimiento de aisladores recubiertos con esmalte resistivo, se proponen los mismos métodos de limpieza que los aisladores comunes de porcelana esmaltada, pero no se recomienda métodos como el lavado a alta presión debido a que se puede llegar a afectar las propiedades de dicho esmalte.

10.7 MÉTODOS

El método a utilizar para la limpieza del aislador depende del material que se compone, también se deben tener en cuenta aspectos como su construcción, si se trabaja en línea energizada o desenergizada y del tipo de contaminante que se va a intervenir.

10.7.1 ENERGIZADOS

10.7.1.1 Agua a alta presión

Para el método de lavado a alta presión se usa un chorro estrecho de agua con presiones que van de 2750 kPa a 7000 kPa (400 psi a 1000 psi) en la boquilla. Los tipos de boquilla que se usan con más frecuencia para este tipo de mantenimiento son: de sujeción manual, chorro a control remoto (boquilla larga), aspersión fija, y montadas en helicópteros.

➤ **Boquilla para sujeción manual**

Este método de limpieza con boquilla de sujeción manual es el método más utilizado para el lavado a alta presión. El operario sube a la torre ubicando la manguera y la boquilla a la posición de lavado.

Para el mantenimiento de los aisladores en subestaciones se puede utilizar este tipo de boquilla, ya sea ubicado desde el suelo o desde una canasta aérea.

Hay que tener presente la conductividad eléctrica del agua en el depósito del camión, se debe hacer un monitoreo constante cada vez que se agregue agua. Cuando se hace este tipo de mantenimiento debe asegurarse que nadie se suba, ni se baje y que todas las personas que estén en el suelo permanezcan retiradas del camión, ya que este puede adquirir un potencial relativamente alto.

Para el mantenimiento a las cadenas de aisladores de suspensión, se empiezan a lavar dirigiendo el chorro de agua al aislador que se encuentra más cerca del conductor energizado, para aprovechar tanto el impacto como la acción que tiene el agua de enjuague. Una vez que se laven los aisladores de la parte inferior, el chorro de agua se dirige hacia arriba para lavar las siguientes unidades de aisladores. Todo este procedimiento para cadena de aisladores de suspensión se basa en procesos ya realizados y su alto grado de eficiencia.

En los aisladores de terminal de línea (retención) para su mantenimiento se debe tener en cuenta lavar de tal manera que no vaya a haber una aspersion excesiva y cause flameo. Para mayor información consultar la norma IEEE STD. 957-2005.

➤ **Boquilla con chorro a control remoto**

Este sistema consiste en una boquilla montada en la pluma de un camión. La boquilla y la pluma se controlan desde una consola ubicada en la base de misma. Con este método se logra dirigir el chorro de agua sin dificultad cuando el lavado es difícil de llevar a cabo desde la estructura de la torre o de la subestación.

➤ **Boquilla de aspersión fija**

La limpieza de aisladores contaminados en líneas energizadas con sistemas de boquillas de aspersión fija han arrojado resultados eficaces para prevenir problemas de flameo. Para este sistema se deberían desarrollar y establecer parámetros y equipos de lavado para cada situación en particular. Esto debido a los diferentes parámetros que influyen en el lavado. Estos parámetros son precipitación, resistividad del agua, viento, nivel de la contaminación, diseño de la línea e instalación de los aisladores que se van a lavar.

Se usan los dos sistemas de lavado básicos:

- a) Lavado por aspersión para condiciones de viento en calma
- b) Lavado con pantalla de agua, para condiciones de viento fuerte

La Tabla 2 brinda información general sobre este sistema.

Tabla 2. Equipo de lavado con boquilla fija, y uso

Tipo de boquilla	Aspersión
Número de boquillas	Múltiple
Presión del agua	350 kPa a 3000 kPa (50 psi a 430 psi)
Instalación de la boquilla	Instalada permanentemente en la estructura de acero
Control del lavado	Fija
Cobertura del lavado	El agua envuelve e inunda el aislador en una oleada
Operación	Elimina los requisitos para habilidades relacionadas con el ascenso a la torre, y las habilidades especiales para el lavado
Aplicación	Adecuada en áreas en las que el lavado es frecuente (al menos una vez), y en donde las estructuras de la torre o estación son muy altas.
Otras características	Se requiere tubería a la boquilla para cada ensamble de aislador. Usualmente el agua se controla automáticamente.
Desventaja	El viento la afecta

Fuente [1].

Nota Para lavado en condiciones de viento fuerte, las boquillas se instalan solamente en el lado del equipo contra el viento. El agua se dispara hacia arriba y los vientos fuertes lo llevan sobre los aisladores.

➤ **Boquilla montada en helicóptero**

Debido a que este sistema de lavado es aislado y no conectado a tierra, la boquilla de aspersion se puede ubicar de forma segura muy cerca de los aisladores que se van a limpiar. El desempeño de los sistemas de lavado montados en helicóptero está influenciado directamente por la proximidad de la boquilla al objetivo. Sin embargo, como se puede observar en otros sistemas de agua a presión alta, el desempeño también está afectado por factores tales como la resistividad del agua, el volumen de agua y las condiciones del viento. Se debe tener cuidado de mantener las distancias de funcionamiento seguras con relación

a otras partes del helicóptero, incluyendo partes conductoras y no conductoras en la operación de lavado.

➤ **Resistividad del agua**

Con el fin de evitar flameos hacia el helicóptero y la tripulación se sugieren los siguientes valores mínimos para la resistividad del agua:

- a) ≤ 230 kV: $1\ 300\ \Omega\text{cm}$ ($512\ \Omega\text{pulgada}$)
- b) > 230 kV: $2\ 600\ \Omega\text{cm}$ ($1\ 024\ \Omega\text{pulgada}$)

➤ **Cantidad de agua para el lavado**

La cantidad de agua para el lavado a bordo del helicóptero está limitada por las condiciones del aparato. Por ello, debido a esto los helicópteros poseen un menor almacenamiento de agua y en consecuencia utilizan presiones mayores para el lavado (comúnmente alrededor de $6\ 895\ \text{kPa}$ ($1\ 000\ \text{psi}$), y usando orificios menores en la boquilla de chorro (usualmente de $3,2\ \text{mm}$ ($1/8$ pulgada) o menos).

➤ **Efecto del viento**

En general, cualquier método de aspersión de agua a presión alta perderá su efectividad y eficiencia bajo condiciones de viento fuerte. Sin embargo, la aspersión por lavado desde helicóptero será efectiva y eficiente si el helicóptero puede continuar maniobrando desde una distancia de algunos pocos centímetros (pies) con relación al objetivo del lavado. Se debe

valorar bajo condiciones de viento fuerte si es posible hacer lavado en forma segura por parte del piloto.

En esta técnica de lavado se hace uso de un sistema autónomo de lavado a alta presión portado en el aire por un helicóptero. El sistema es controlado por un operador de lavado en la aeronave, o por el piloto. El helicóptero se ubica cerca de la cadena de aisladores y el operador se coloca en la posición adecuada para dirigir la boquilla a la cadena de aisladores.

Existen 3 tipos diferentes de lavado con boquilla montada en helicóptero y se citan a continuación:

a. Boquilla fija montada en helicóptero

En este método se sitúa una boquilla fija desde el helicóptero a lo largo de la trayectoria de una guía hacia el exterior del helicóptero con el motivo de dirigir y mantener el lavado. El piloto controla la dirección del chorro de agua mediante el movimiento del helicóptero y también realiza control a la bomba que proporciona el flujo de agua según sea necesario.

b. Boquilla móvil en una varilla fija montada en helicóptero

Este método se asemeja a la boquilla fija, exceptuado que el piloto controla una boquilla móvil. El helicóptero se mueve hacia donde se encuentre ubicada la cadena de aisladores, y posteriormente el piloto se encarga del control de la boquilla móvil dirigiendo el chorro de agua.

c. Boquilla fija en una varilla móvil montada en helicóptero

En este método hay una segunda persona para controlar la dirección y disponibilidad del chorro de agua. El helicóptero se ubica en la posición requerida y luego el lavado es controlado realmente por la segunda persona.

10.7.1.2 Agua a presión media

Este sistema involucra varios métodos con boquillas utilizados en lavado con agua a alta presión, tales como: boquilla de chorro a control remoto y boquilla para sujeción manual.

Las ventajas de este sistema consisten en un menor esfuerzo para el equipo y menor fatiga de los empleados debido a las presiones de operación más bajas.

Existen pruebas que indican que las corrientes de fuga a través del chorro de agua a presión media usando este método están dentro de los límites de operación seguros. Las presiones usadas para este método están en el rango de 2100 kPa a 2750 kPa (300 psi a 400 psi).

10.7.1.3 Agua a baja presión (lavado por riego)

En ocasiones, como para la limpieza de bujes de transformadores de potencia, se puede usar un sistema de boquilla fija a baja presión. Las boquillas rocían el agua en un patrón pre dirigido hacia el buje, de manera que abarque el buje completo en una especie de pantalla de agua. Se realizan lavados frecuentes para impedir cualquier acumulación severa de contaminantes debido a la poca presión que se utiliza para este mantenimiento.

➤ Boquilla de aspersion fija a baja presión

Este sistema se usa principalmente en lugares en donde se requiera lavado frecuente. Para el lavado con boquilla de aspersion fija que opera a una presión

baja se utilizan presiones habituales de 350 kPa a 1030 kPa (50 psi a 150 psi). Debido a la baja presión se disminuye la eficacia para remover contaminantes no solubles diferentes de la sal marina. Este método también se puede usar para contaminantes solubles que se encuentran tierra adentro. (Véase la Tabla 3)

Tabla 3. Datos de diseño para equipos de lavado por aspersión a baja presión

Datos de diseño	Sistema de aspersión automático	
	275 Kv	400 kV
Resistividad al agua mínima permisible	10000 Ω cm	20000 Ω cm
Presión del agua en la boquilla	700 kPa	1000 kPa
Tipo de boquilla	Aspersión	Aspersión
Distancia mínima de la boquilla al conductor energizado	3,1 m	4,3 m
Número de boquillas por aislador	I y TC: 6 otros:4	Otros: 6 I: 8
Cantidad de agua	I y TC: 4.7 L/s Otros: 3,5 L/s	I: 7,4 L/s TC: 6,2 L/s Otros: 5,5 L/s
Duración del lavado (depende del tipo de aislador)	25 s	25 s
NOTA 1 I: Interruptor; y TC: transformador de corriente.		
NOTA 2 Véase Fujimura, T., Okayama, hit, e Isozaki, T.		

Fuente [1].

10.7.1.4 Limpieza con aire comprimido

En este caso se hace uso de aire comprimido y un compuesto de limpieza abrasivo, el cual requiere un compresor de aire con una capacidad mínima de 0,05 m³/s (110 pies³/min) (52 L/s) a 850 kPa (125 psi), un secador, una máquina

arenadora a presión, una varilla de aplicación, mangueras para el suministro adecuado y un compuesto de limpieza.

Los compuestos de limpieza abrasivos que se usan comúnmente se componen de cascara de maíz molida, mezclada con cáscara molida de nuez o nuez pacana, y en ocasiones se puede agregar piedra caliza en polvo para incrementar la abrasión. Existen compuestos no abrasivos como los gránulos de CO₂.

➤ **Gránulos de CO₂ (hielo seco)**

Los gránulos de CO₂ son un compuesto no abrasivo usado comúnmente. Para este procedimiento se utiliza el hielo seco con el cual se golpea la superficie del aislador, penetrando a través del contaminante hasta la superficie del aislador. Los gránulos se subliman en gas, el cual expulsa el contaminante de la superficie del aislador. Para mayor información ver anexo A.

10.7.1.5 Frotación con pértiga y paño en línea energizada (usando una herramienta para línea energizada)

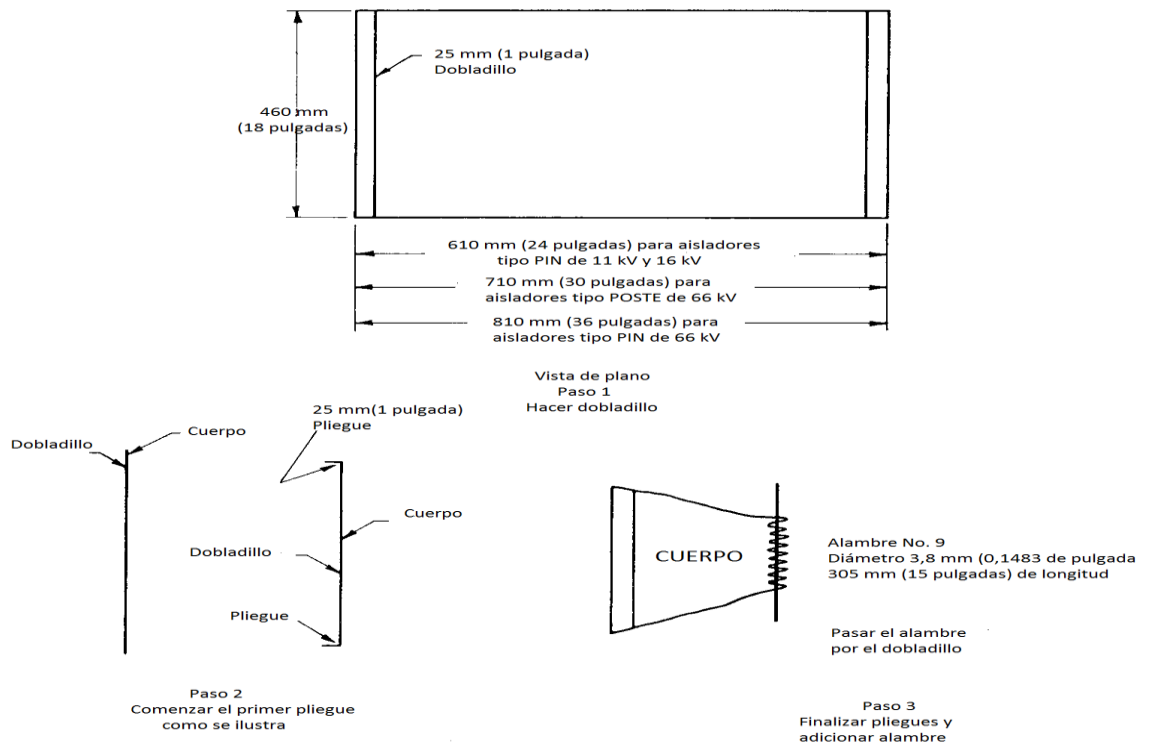
En equipos que trabajan a tensiones de 4 kV a 69 kV se utiliza un procedimiento con pértigas para trabajos en líneas energizadas y un paño rectangular de lona para limpiar los aisladores.

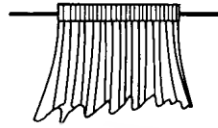
Este procedimiento es utilizado como un paso anterior al lavado con línea energizada, para reducir la posibilidad de flameo. El trabajador de la línea que lleva a cabo esta limpieza la puede hacer desde una escalera, en el suelo, en un camión con canastilla, o desde una torre de acero. La técnica consiste en que la pértiga esté enganchada en un ojete con el paño abrasivo, y se coloque alrededor

del aislador o buje, para seguidamente enganchar el segundo ojete del paño abrasivo con el gancho de la segunda pértiga.

Con lo anterior, la porcelana se puede limpiar con un movimiento hacia arriba y hacia abajo fácilmente. Las pértigas con el paño abrasivo se deben mantener lo suficientemente ajustadas para que no se caigan por la acción de limpieza. Usualmente, la limpieza comienza adyacente al conductor energizado y avanza hacia el extremo puesto a tierra de la cadena de aisladores (lado de la torre). La pértiga usada para este propósito usualmente mide 20 mm (0,75 pulgada) de diámetro y 3 m (10 pies) de longitud, esta pértiga es para un valor máximo de 345 kV.

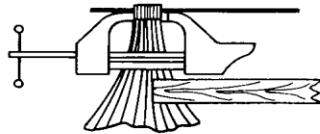
Figura 23. Ensamble de material de frotación



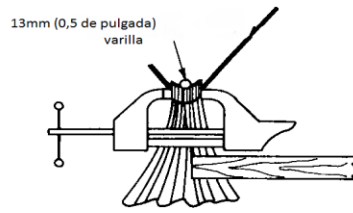


Nota: Paño de tejido basto de 10 oz/yd (340 g/m) de peso solamente el tipo aprobado, no se debe lavar, desechar cuando este demasiado sucio para permitir un uso eficiente

Paso 3

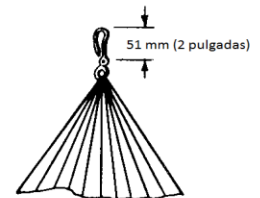


Paso 4
Ajustar el paño en la prensa
sin apretar demasiado



Vistas laterales

Paso 5
Comenzar a hacer el bucle
llevando hacia abajo la varilla
retirar asegurar la prensa



Paso 6
Completar el bucle unir.
Colocar el gancho, ambos
extremos deben quedar similares

Fuente [1].

10.7.2 DESENERGIZADA

Para métodos de mantenimiento en línea desenergizada (y puesta a tierra) se pueden utilizar todos los procedimientos mencionados en el numeral 10.7.1, incluyendo la limpieza manual. Al hacer mantenimiento en línea desenergizada (y puesta a tierra) los requisitos de resistividad del agua son los mismos que en el caso para línea energizada, pero cambian las distancias de seguridad debido a la ausencia de tensión.

10.7.2.1 Limpieza manual

La limpieza para los aisladores en forma manual es muy eficaz, pero presenta problemas debido a que su proceso es tedioso y a su vez lo costoso de su operación. La limpieza manual se utiliza principalmente en casos donde es difícil el

acceso para vehículos pesados, también se utiliza debido a diseños en las torres que impiden llegar hasta el aislador y su contaminación. La limpieza manual se utiliza por lo general para equipos de subestación, en los que el lavado a alta presión no resulta seguro debido a la proximidad de equipo energizado, o ineficaz debido a la dureza de los depósitos en la superficie.

En algunos casos se utiliza para la limpieza de aisladores, solamente paños secos y suaves. Para otros aisladores se pueden necesitar materiales adicionales tales como paños húmedos o remojados en parafina, solventes, cepillos de acero o lana de acero.

➤ **Almohadillas de nailon no abrasivas**

Las almohadillas de nailon no abrasivas se utilizan principalmente cuando los paños y toallas de papel no son eficientes.

➤ **Lana de acero**

Se utiliza la lana de acero cuando los paños y toallas de papel o almohadillas de nailon no son eficaces. Se debe tener cuidado de retirar todos los residuos metálicos que deja esta lana.

➤ **Solventes**

Para casos donde el contaminante es difícil de retirar por medio de agua o limpieza abrasiva, se pueden utilizar solventes para facilitar su limpieza. Se debe tener precaución cuando se aplican estos solventes debido a los vapores o

residuos. Después de la limpieza, el aislador se debería lavar con agua limpia para remover los residuos. Para aisladores poliméricos, en general no se pueden usar solventes, a menos que lo recomiende el fabricante.

Nota Si se utiliza solvente para realizar limpieza se debe tener un enjuague posterior para remover los residuos, para aisladores poliméricos no es recomendable utilizar solventes.

10.7.3 RESULTADOS

Los resultados de la limpieza correcta de un aislador se pueden verificar de la siguiente forma.

10.7.3.1 Visible (limpio-brillante)

El estado de la parte superior e inferior de las campanas del aislador debería ser limpia y brillante una vez que se hayan secado el agua o los solventes.

10.7.3.2 Vibración del aislador (tintineo)

Se presenta una buena limpieza si existe una vibración mecánica (tintineo) de la campana de un aislador, cuando es sometida al impacto del lavado a alta presión.

10.7.3.3 Ausencia de efecto corona

Existen descargas por efecto corona que se extienden desde la campana metálica (caperuza) a la porcelana durante el lavado a alta presión y se pueden escuchar

durante unos segundos después de terminar la limpieza, si esta descarga continúa después de algunos segundos, muestra que el lavado de los aisladores ha quedado incompleto, por lo que es conveniente efectuar un nuevo lavado.

10.7.3.4 Claridad del agua residual

La claridad que se presenta en el agua residual también es un indicador de la eficacia de la eliminación de la contaminación.

10.8 EQUIPO DE LIMPIEZA

10.8.1 EQUIPO DE AGUA A ALTA PRESIÓN (2750 kPa a 7000 kPa) (400 psi a 1000 psi)

10.8.1.1 Bomba

La bomba puede ser centrífuga o de desplazamiento positivo.

➤ Centrífuga

Estas bombas utilizan un propulsor giratorio o una serie de estos en una a cuatro etapas, y se usa comúnmente en aplicaciones para extinción de incendios.

Una sola bomba de cuatro etapas puede generar hasta 7000 kPa (1000 psi) con una descarga de 0,005 m³/s o 5 L/s (80 gal/min) y girar a una velocidad de 9600 r/min.

➤ **Desplazamiento positivo**

Se usan uno o más pistones para producir alta presión. La bomba puede funcionar mediante poleas y correas en V de una toma de potencia (PTO) impulsado a motor. Se hace coincidir las rpm del motor con las del cigüeñal de la bomba, requeridas para producir un chorro y presión adecuados. Este sistema es mucho más costoso comparado con la centrífuga debido a su combinación de poleas y correas para su funcionamiento.

➤ **Fuente de potencia**

Los motores de camiones de gasolina o diésel sirven para alimentar las bombas. Los motores a gasolina operan a una velocidad mayor que los motores que trabajan con diésel. La principal ventaja de usar la potencia del motor separado de la bomba, es no tener que accionar el motor del vehículo con la desventaja que el peso agregado del motor para la bomba, puede limitar la capacidad de porte de agua del vehículo, y añadir complejidad al sistema.

➤ **Controles**

Se debería considerar el uso de una válvula, esta puede mejorar la eficiencia tanto del motor como de los operadores. Este dispositivo consigue llevar el motor de la bomba a marcha en vacío cuando se cierra la boquilla de sujeción manual. Tan

pronto como se acciona el disparador de la boquilla, el motor de la bomba se ajusta automáticamente a las rpm y a la presión de la boquilla preestablecida.

10.8.1.2 Tanque

➤ Tipo de material

Para el transporte del agua se han usado tres tipos de materiales: fibra de vidrio, acero dulce, o acero inoxidable. Para cualquiera de los tipos de tanques se debe proporcionar una base de apoyo rígida y firme, como el bastidor de un camión o remolque, o una plataforma de acero. En los tanques de mayor capacidad, en donde haya oscilación y flexión, se deben usar montajes con sistemas de amortiguación, o se presentara daño. Los tanques de fibra de vidrio o plástico pueden tener capacidad limitada. Los tanques de 1,9 m³ (500 gal) o menos son los más populares para realizar mantenimiento. Los tanques de acero deben estar recubiertos en su interior y en su exterior por un a base de pintura que evite su oxidación.

➤ Capacidad

Para lavar los aisladores se han usado tanques desde 0,19 m³ a 1,9 m³ a 9,5 m³ (50 gal a 500 gal a 2500 gal). El tamaño del tanque a utilizar se debe a la fuente de agua, la cantidad de lavado que se vaya a ejecutar, la disponibilidad de vehículos de suministro y el tipo de terreno. Para lavado desde helicópteros con tanques pequeños a bordo, usualmente se usa un vehículo de suministro ubicado en la zona de aterrizaje o en la base auxiliar.

➤ **Método de llenado**

En donde se utilizan tanques aéreos para el suministro de agua, se debe usar una rejilla de acero inoxidable para filtrar cualquier material extraño.

Cuando se usa llenado con hidrantes o llenado a presión desde el nivel del suelo, las válvulas y las tuberías del sistema usualmente van ubicadas en la parte posterior o en el lado derecho del vehículo. Hay sistemas de bombeo que permiten el uso de bombas de lavado con cambios en la selección de la válvula, para extraer alto volumen de agua desde un hidrante al tanque.

➤ **Diseño**

Los tanques redondos, elípticos y semielípticos son los tipos más usados, al igual que los planos, cuadrados o rectangulares. Hay otras consideraciones para tener en cuenta en el diseño básico de tanques como la resistencia, el peso y la apariencia. El transporte de líquidos por carreteras pavimentadas no experimenta el mismo movimiento de agua que un tanque para lavado en caminos de tierra. El fabricante del tanque debe conocer de antemano el uso que se le va a dar. Cuando se diseña el tanque se deben proveer aberturas que tengan el tamaño adecuado para succión, indicador visual de nivel, indicador de nivel e indicador de resistividad.

10.8.1.3 Tubería

Es de vital importancia contar con una tubería eficiente. La falta de agua entre la bomba y la punta de la boquilla afecta la eficiencia de todo el sistema de lavado. El sistema de succión, los tubos y mangueras deben ser lo suficientemente grandes

para permitir un excedente de la capacidad de chorro a la bomba de alta presión cuando se trabaja a chorro y presión máximos

10.8.1.4 Mangueras

➤ Tipo

Se hace uso de mangueras tanto conductoras como no conductoras. Se utilizan mangueras para incendios de material no conductor y mangueras reforzadas en nailon poliplástico cuando se usan prácticas no conductoras. Cuando las condiciones exigen mangueras conductoras, se usan mangueras de caucho con malla de alambre con acoples grapados.

➤ Tamaño

Se usan mangueras de 15,8 mm a 25,4 mm (5/8 pulgada a 1 pulgada) de diámetro interior (di). Entre mayor diámetro posea la manguera, estas son más pesadas, más costosas, requieren carretes más grandes y mayor radio de doblado, pero la ventaja es que son mucho más eficientes.

➤ Carrete

El carrete se puede activar manualmente, con electricidad o hidráulicamente. Se debe contar con una guía para el enrollado de la manguera. Todos los accesorios deberían ser de tipo sumergible. Es muy importante contar con freno para bloquear el carrete cuando se desee.

➤ **Acoplamiento**

Se recomienda usar accesorios que sugiera el fabricante de mangueras y accesorios. Una persona calificada es quien debe hacer el ensamble y examinar cuidadosamente la manguera por dentro y por fuera, inspeccionando visualmente y marcando la profundidad hasta donde se introduce el acople macho a medida que penetra en la manguera.

10.8.1.5 Boquilla

➤ **Para sujeción manual**

Un diseño y acabado apropiado producirán un flujo de agua recto adecuado con discontinuidad mínima, esto se debe tener en cuenta pues la boquilla es el último accesorio por donde pasa el agua. Un rectificador de flujo puesto antes de la boquilla hace que el agua que gira en forma turbulenta cambie a un flujo recto a medida que entra en la boquilla. Los tamaños del orificio varían de 3,2 mm a 7,94 mm (1/8 de pulgada a 5/16 de pulgada), y varían con la distancia y la presión del agua.

➤ **Toma de agua a distancia**

En las torres de las líneas de transmisión existe la posibilidad de instalar boquillas montadas en la parte superior que permanezcan fijas, predirigidas hacia los aisladores. Luego estas boquillas se conectan a una bomba o carro tanque a la toma de agua para hacer el lavado a distancia.

10.8.1.6 Transporte

➤ Camiones

Se utilizan vehículos pequeños de tracción en las cuatro ruedas hasta vehículos diésel con tracción en las diez ruedas, de 27216 kg (60000 libras). Los camiones pequeños con tracción en todas las ruedas están equipados con bomba de agua solamente y toman el agua de los carrotanques o remolques. Los camiones medianos y pesados equipados con bomba/motor, pueden transportar el agua y llevar a cabo el lavado. El camión también puede transportar una bomba de tanque montada en una plataforma y un elevador para el operario, para cuando se limpia desde una canasta.

➤ Remolque

Existe la posibilidad de ensamblar un remolque de lavado en la parte posterior del equipo del camión existente. Desde el remolque, dos personas pueden llevar a cabo el lavado según los requisitos para cadenas de alta tensión en V, siempre y cuando la unidad de potencia de la bomba está equipada para producir flujo y presión para el funcionamiento simultaneo de dos eyectores. Con este método se lavan aisladores con tensiones de hasta 800 kV.

Para el lavado de equipos de una subestación generalmente se requiere de un vehículo de poca altura, con un sistema hidráulico el cual se ancle al suelo para evitar el desplazamiento del camión debido a la grava en la subestación. En una subestación se puede usar un remolque corto y se puede hacer la limpieza con dos eyectores. Se puede regular la salida de agua para lavar por riego (a baja

presión) los aparatos más delicados. Con una pluma de 9,1 m a 12,2 m (30 pies a 40 pies), se pueden lavar los aisladores de barrajes más altos.

➤ **Helicóptero**

Cuando es difícil acceder a los aisladores para realizar su limpieza, debido a que el terreno es escabroso o es lejano, o cuando se requiere mucha movilidad para las funciones de lavado rápido en grandes distancias, el lavado aéreo con helicóptero es una muy buena opción. Para realizar dicho mantenimiento es indispensable conocer que el helicóptero no posee un gran tanque para el almacenamiento de agua, debido a esto se debe tener en tierra apoyo para cargar constantemente agua y combustible cuando se requiera.

Para realizar el mantenimiento de aisladores desde helicóptero se debe determinar la tensión y las dimensiones de la estructura, también se debe inspeccionar la separación de las fases y la pluma que se posee para el lavado.

Se debe tener precaución en que el helicóptero en maniobra sus aspas de rotor y rotor de cola no hagan contacto con ningún componente de la estructura. Se debe revisar en toda ocasión las distancias de seguridad entre los conductores y las aspas.

Se debe asegurar que haya una buena comunicación con los demás tripulantes y con el apoyo en tierra. El mantenimiento que se hace por medio de helicóptero en líneas de transmisión es un proceso eficiente pero de mucho cuidado por lo que se sugiere lo siguiente:

- a) Todo elemento puesto en el helicóptero debe estar conectado equipotencialmente y también todo el elemento puesto en tierra (plataforma), estas conexiones se deben verificar constantemente.

- b) Se debe dar instrucciones detalladas de seguridad a los miembros de la tripulación antes de comenzar cualquier operación de lavado desde el helicóptero.

- c) Durante el lavado, el operador y el piloto deben mantener contacto por voz y trabajar como equipo. El piloto debe mantener comunicación radial con el personal de apoyo en tierra en la zona de aterrizaje. El personal de apoyo en tierra debe mantener comunicación con el centro de control que tiene jurisdicción sobre las líneas que se van a limpiar.

- d) El operador de lavado debe estar firmemente unido al helicóptero o a la plataforma de trabajo mediante un arnés y una cuerda de seguridad apropiados.

- e) Se deben mantener las distancias de seguridad de trabajo y el aislamiento como se describe en la norma IEEE STD. 516-2003, numeral 7.2.

- f) El personal de tierra no debe estar cerca de las bases de las torres de la línea que se va a lavar.

- g) Todos los equipos del helicóptero y de lavado, incluidas las plataformas, deben cumplir con lo establecido por la autoridad de aviación civil pertinente y deben tener un certificado adecuado.

10.8.1.7 Agua

➤ Calidad del agua

Se recomienda utilizar agua con alta resistividad o baja conductividad eléctrica para la limpieza de aisladores energizados. Se sabe que, en general, el agua lluvia y la nieve derretida tienen buenas características de resistividad. Es muy importante verificar constantemente las propiedades de resistividad que tiene el agua, debido a que pueden cambiar rápidamente debido a la temperatura. Es conveniente una resistividad mayor de 1 500 $\Omega \cdot \text{cm}$ (591 $\Omega \cdot \text{pulgadas}$) en todos los casos.

A continuación se mencionan características que afectan la calidad del agua.

- **Resistividad del agua**

La resistividad del agua es otro parámetro de vital importancia que influye en la corriente de fuga del chorro de agua. Un valor bajo puede hacer que se produzca flameo del aislador o lesión durante el lavado.

Tabla 4. Resistividad/conductividad del agua

Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$	Resistividad $\Omega \cdot \text{pulgadas} (\Omega \cdot \text{cm}/2,5)$	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm} (1/\Omega \cdot \text{cm} * 10^6)$
100	40	10 000
1 000	400	1 000
1 500	600	667
5 000	2 000	200
10 000	4 000	100
20 000	8 000	50

50 000	20 000	20
--------	--------	----

Fuente [1].

El agua con resistividad mayor a 1500 $\Omega\cdot\text{cm}$ (591 $\Omega\cdot\text{pulgada}$) se usa comúnmente para todo tipo de lavado, y por lo general se puede obtener de los hidrantes de la ciudad. También se usa agua desmineralizada con resistividad de 50000 $\Omega\cdot\text{cm}$ (19 685 $\Omega\cdot\text{pulgadas}$) o superior para trabajos donde no se pueda llevar el criterio de máxima distancia de chorro.

- **Temperatura del agua**

La resistividad del agua varía recíprocamente con la temperatura, es decir, que si aumenta la temperatura del agua, disminuye la resistividad, debido a estos cambios de temperatura, es necesario medir periódicamente la resistividad, especialmente en clima caliente.

- **Medición de la resistividad del agua**

Se necesita de un instrumento para medir la resistividad/conductividad del agua, ya que es muy importante que el personal que realiza el lavado conozca la resistencia del agua antes de usarla para limpiar aisladores energizados, con esto se asegura la prevención de accidentes debido a corrientes de fuga.

Los medidores de resistividad/conductividad que ofrece el comercio están disponibles en modelos portátiles, que se usan para el ensayo de cada tanque de agua (antes y después del llenado).Un sistema de monitoreo

constante de la resistividad suministra medición continua de la resistividad del agua mientras se lleva a cabo el lavado.

- **Suministro de agua**

El agua que se va a utilizar para el lavado de aisladores se debe obtener del suministro municipal más cercano o de una fuente limpia, como por ejemplo un hidrante. El trabajador debe inspeccionar el tanque del agua, verificando que haya suficiente agua para completar el lavado de los aisladores. No se deben aplicar aditivos al agua, solo se aplicaran en algunas ocasiones aditivos siempre y cuando se apruebe por el fabricante.

- **Presión del agua**

La presión del agua depende de la distancia de trabajo y se puede ajustar de acuerdo con lo requerido. La presión disminuirá a medida que aumenta la distancia, y si la distancia es considerable, el lavado no lograra la limpieza adecuada de los aisladores.

Se requieren una alta presión de agua y un chorro compacto, para:

- a) Realizar un buen trabajo de limpieza con la menor cantidad de agua.
- b) Reducir la sobreaspersión, y por lo tanto minimizar el flameo de los aisladores durante el lavado.
- c) Cerciorarse que se puede entregar el agua necesaria para extinguir un arco eléctrico si se presentara.

- **Aditivos**

No se debe adicionar jabones ni detergentes al agua. La limpieza se logra con el impacto del agua y el enjuague. Se pueden agregar al agua polímeros o una sustancias tipo poliméricas, para dirigir mejor el chorro de agua que con el agua solamente.

- **Monitoreo**

Se encuentran diversos sistemas de monitoreo o ensayo continuo para medir la resistividad o conductividad eléctrica del agua usada. Se debe ensayar en cada llenado o adición al tanque. La resistividad del agua disminuye a medida que aumenta su temperatura. Los sistemas de monitoreo continuo generalmente requieren una sonda dentro del tanque.

La sonda (o sondas) mide(n) constantemente la conductividad del fluido.

10.8.2 EQUIPO DE AGUA A PRESIÓN MEDIA (2100 kPa a 2750 kPa) (300 psi a 400 psi)

El equipo usado para este sistema es esencialmente el mismo que para trabajo con agua a alta presión.

10.8.3 EQUIPO PARA AGUA A BAJA PRESIÓN (1400 kPa) (200 psi)

Los aparatos de agua a baja presión o lavado por riego son similares al equipo de alta presión, excepto por los requisitos de servicio menos estrictos. Puede ser

conveniente un sistema manual o automático, dependiendo del grado y el tipo de contaminación.

10.8.4 LIMPIADOR DE AIRE COMPRIMIDO SECO

10.8.4.1 Presión

La presión para este tipo de trabajo es de 850 kPa (125 psi) pero puede ser hasta de 1 050 kPa (150 psi).

10.8.4.2 Volumen

La limpieza con este método necesita de un volumen de aire por encima del promedio (se recomienda hasta 1,0 l/s (2,0 pies cúbicos/min)).

10.8.4.3 Secadores

Se debe tener un secador de aire como uso obligatorio para sistemas energizados. El aire seco trae muchas ventajas, la más valiosa es la calidad dieléctrica mejorada y la menor obstrucción debido al componente de limpieza.

10.8.4.4 Manguera

Se debería usar una manguera conductora para conectar el compresor de aire al disparador de presión. En otras situaciones como para conectar el propulsor a la varilla de aplicación por medio de una manguera no conductora.

10.8.4.5 Boquillas

La boquilla se compone de material cerámico o acero inoxidable, con un recubrimiento especial de carburo para minimizar la erosión causada por el componente de limpieza. El ángulo de acople entre la boquilla y la varilla es importante para el control del flujo de aire y del componente de limpieza aplicado sobre diferentes formas de aisladores. Existen tres tipos de boquillas que son las más utilizadas en el proceso de limpieza y que proporcionan flexibilidad para limpiar todos los aisladores: boquilla recta, boquilla de 30° a 45° y boquilla de 120°.

Las boquillas deben ser de fabricación sencilla y fuerte, y que no se bloqueen fácilmente con cuerpos extraños. Deben tener la capacidad de proporcionar un efecto de limpieza satisfactorio teniendo en cuenta los vientos fuertes.

Las boquillas tienen una repercusión grande en la limpieza debido a que este es el último accesorio que toca el agua antes del aislador. Las boquillas son las que dirigen el flujo de agua y tienen un desempeño del chorro sobre el aislador. Las boquillas se deben inspeccionar diariamente cuando se utilicen. Si hay mellas o abolladuras que pueden repercutir a que el chorro pierda su compactación, se debe pulir y quitar estas imperfecciones para obtener una buena limpieza.

➤ **Boquilla fija**

El desempeño del lavado en línea energizada con boquillas fijas se ve afectado por factores como el volumen de agua, el tamaño del chorro, la fuerza, la resistividad del agua y la condición del viento. Por lo anterior es importante definir cada uno de estos parámetros para su efectividad.

- **Cantidad de agua para el lavado**

Existe una variable física conocida del agua para la boquilla de aspersión (wáter physical variable-WPV) que nos indica que tan eficaz resulta el lavado dependiendo de la cantidad de agua que se usa, también nos indica si la tensión no disruptiva aumenta o disminuye. Se busca que el fabricante de apoyo a la empresa a cargo del mantenimiento sobre qué cantidades de agua se puede utilizar.

- **Efecto del viento**

Para determinar los efectos del viento, aun cuando se utilice una WPV apropiada, la aspersión del agua puede perder su eficiencia bajo condiciones de viento fuerte. Por lo tanto, puede ser necesario desarrollar una boquilla de aspersión que pueda asegurar una limpieza y una tensión no disruptiva adecuada con viento fuerte.

Para líneas de transmisión la boquilla de chorro es la más conveniente por el menor efecto del viento y mayor rango de aspersión. En sistemas de distribución la boquilla de aspersión es la más adecuada.

10.8.4.6 Varilla

La varilla debe tener una rigidez dieléctrica adecuada para la tensión en la cual se va a usar. En general, la varilla aislada se usa para todas las aplicaciones.

10.8.4.7 Fuente de potencia

Se usa cualquier motor para el compresor de aire. En general, se usan motores diésel o de gasolina.

10.8.4.8 Materiales de limpieza

Generalmente se usa cascara de maíz triturada, piedra caliza en polvo, cáscaras de pecán (fruto de árbol nativo de América del norte), cáscaras de nuez y gránulos de CO₂. En situaciones cuando se usan las cáscaras de nuez estas dejan un residuo aceitoso que puede tener algunas ventajas.

10.8.5 ASPERSIÓN FIJA

El equipo está compuesto principalmente por un tanque de agua, una bomba, un motor, varias válvulas, boquillas, sistema de tubería y un sistema de control.

10.8.5.1 Tubería y motor

Generalmente, se utiliza una bomba centrífuga y un motor de inducción de tres fases. La capacidad de bombeo requerido se decide según el flujo máximo de agua de las secciones de lavado.

10.8.5.2 Boquillas

Ver ítem 10.8.4.5 (Boquillas).

10.8.5.3 Sistema de tubería

Los accesorios y tuberías que se usan regularmente están hechos de acero galvanizado. Poseen una soldadura para tubería subterránea, y soldadura a tope, con brida o con unión roscada para tuberías por encima del suelo.

10.8.5.4 Sistema de control

Para operar de manera óptima el equipo de lavado debe tener un sistema de control que verifique que el equipo esté en buenas condiciones, con resistividad del agua, presión y nivel del agua satisfactorios antes del lavado. En el lavado también se debe tener en cuenta la dirección del viento y la cantidad de contaminación que lleva el viento.

10.9 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL LAVADO CON AGUA DE EQUIPO ENERGIZADO

10.9.1 CORRIENTE DE FUGA

La corriente de fuga se define como la corriente que fluye a través de elementos normalmente no conductores, como por ejemplo las mangueras.

Se sabe que el valor de un 1 mA es el umbral aproximado de percepción de corriente que una persona es capaz de percibir como sensación de hormigueo suave en sus manos o dedos debido al flujo de corriente. Cuando la boquilla está conectada adecuadamente a tierra, no debería fluir corriente de fuga apreciable a través del cuerpo de una persona durante el lavado. Sin embargo, es necesario anticiparse a la posibilidad de que la conexión a tierra de la boquilla se pueda desconectar o abrir accidentalmente. Por esta razón, la corriente de fuga en el flujo de lavado se debe limitar a 2 mA.

El equipo de lavado, la varilla, la estructura y la persona que realiza el lavado deberían estar al mismo potencial eléctrico.

En subestaciones, los operadores de boquillas manuales usan botas de caucho, ropa impermeable y guantes de caucho para evitar mojarse y poder evitar una descarga considerable en acciones de lavado.

Los parámetros que influyen en la corriente de fuga con chorro de agua de lavado son:

- La tensión de la línea
- La distancia entre la punta de la boquilla y las partes energizadas

- La resistividad o conductividad eléctrica del agua
- La presión del agua
- El diámetro del orificio de la boquilla

Si las corrientes exceden 1 ó 2 mA se deben proteger de estas descargas mediante lo siguiente:

- El agua debe encontrarse en un rango aceptable de conductividad o resistividad
- El reemplazo de boquillas gastadas
- Mantener estrictamente una distancia de trabajo segura

10.9.2 DISTANCIA DE TRABAJO

La tabla 5 presenta las distancias mínimas entre las partes energizadas y la punta de la boquilla para diversas tensiones de líneas.

Tabla 5. Distancia mínima para el lavado energizado^a

tensión de la línea	Distancia mínima entre la boquilla y el conductor	Resistividad mínima del agua	Presión mínima de la boquilla	Diámetro máximo del orificio
(kV)	(m)	(Ω cm)	(kPa)	(mm)
13 e inferiores	1,82	1 300	2 758	4,76
13 e inferiores	1,82	1 300	2 758	6,35
16	2,13	1 300	2 758	4,76
34,5	2,44	1 300	2 758	6,35
34,5	2,44	1 300	2 758	4,76

69	2,74	1 300	2 758	4,76
69	3,66	1 300	2 758	6,35
115	3,05	1 300	2 758	4,76
115	3,96	1 300	2 758	6,35
230	3,66	1 300	2 758	4,76
230	4,57	1 300	2 758	6,35
345	3,92	1 300	2 758	4,76
345	5,22	1 300	2 758	6,35
500	4,27	50 000	5 516	6,35
500	6,10	3 000	3 792	7,94
500	6,10	50 000	5 516	6,35
NOTA Las distancias para 345 kV se interpolaron usando 230 kV y 500 kV y se encontró que estaban en línea con la práctica de la industria.				
^a La distancia está limitada por las dimensiones y configuración de la torre. Debido a la distancia limitada entre la boquilla y el conductor, se puede usar el agua desmineralizada con resistividad de 50 000 Ω cm (19 685 Ω pulgadas) o superior.				

Fuente [1].

La efectividad del lavado y la magnitud de la corriente de fuga disminuyen cuando aumenta la distancia entre el conductor y la boquilla. En los casos en que la distancia de lavado está limitada por las dimensiones de la torre, se puede usar agua desmineralizada puesto que posee alta resistividad.

10.9.2.1 Determinación de una distancia máxima del chorro

Para mantener un chorro compacto a alta presión y que abarque todo el aislador se debe tener en cuenta la distancia máxima entre la boquilla y el aislador. Si se conoce esta distancia no se debería exceder y con ello obtener un chorro más compacto y que se puede dirigir con mayor precisión. Más allá de esa distancia, el

chorro se convertirá en aspersión, que puede ocasionar que los aisladores no queden lavados adecuadamente, o en el peor de los casos, que ocurra flameo sobre el aislador.

Asimismo, no establecer una distancia máxima puede exponer a riesgos al trabajador y afectar la confiabilidad del circuito que se lava. Cuando se establece una distancia máxima del chorro se deben tener en cuenta los siguientes factores adicionales:

a) Tipo de aislador que se va a limpiar

- Caperuza y espiga
- Poste
- De disco

b) Configuración del aislador

- Vertical
- Horizontal

c) Impacto del chorro en la superficie del aislador

d) Nivel de contaminación de la superficie del aislador

e) Configuración del chorro de lavado a una distancia dada

Con cada uno de estos factores se debería considerar al establecer la distancia de chorro máxima que se puede usar y seguir realizando una limpieza segura y eficaz.

10.10 NORMAS Y/O REGLAS DE LAS COMPAÑÍAS INDIVIDUALES

Cada compañía debe establecer reglas y prácticas de funcionamiento.

10.10.1 Posiciones de trabajo

Cada compañía debería tener especificaciones para realizar estos procedimientos de mantenimiento. Las distancias mínimas de acercamiento establecidas por las autoridades de seguridad ocupacional son las distancias mínimas recomendadas para cualquier empresa prestadora de este servicio.

10.11 LIMITACIONES

Los factores que limitan una limpieza segura, económica y eficaz de los aisladores se citan a continuación:

- a) El clima, la carga del sistema, la distancia de aplicación del chorro, y el tipo de contaminación presente.

- b) La limpieza en seco con aire comprimido no se puede realizar de manera efectiva cuando la humedad es alta, ya que el contenido de humedad del material será alto. Un contenido de humedad alto hace que el material de limpieza seco forme terrones, lo que usualmente origina chorro errático del material.

- c) El lavado a presión de los aisladores puede llegar a ser ineficaz si las distancias de aplicación del chorro son demasiado grandes.

- d) La eficacia de la distancia del lavado puede variar dependiendo del tipo y tamaño de la boquilla, y de la presión aplicada en la boquilla.
- e) Cuando el flujo de lavado es muy largo, la presión del impacto se puede reducir lo suficiente para eliminar cualquier acción de limpieza y solo humedecer la superficie del aislador, lo que puede conducir al flameo del aislador.
- f) Al establecer una distancia máxima del chorro, con base en las variables mencionadas, es posible asegurar que se realiza una limpieza eficaz y se elimina flameo en el aislador.

10.12 PUESTA A TIERRA

Cuando se lavan aisladores sobre torres de acero, o cuando se lavan aisladores de estructuras en postes de líneas de 44 kV, la bomba, el motor y el ensamble del tanque se deben poner a tierra. Si llegado el caso se tiene conocimiento de que una torre o estructura de acero tiene puesta a tierra, se puede usar otra tierra de baja resistencia, y si no existiese se pondría una tierra permanente.

El eyector de aspersion se debe poner a tierra por medio de un cable flexible de cobre de mínimo 4 AWG. Si el eyector de aspersion es operado desde un camión, un dispositivo aéreo aislado con canastilla, o una escalera aérea montada en un camión, el eyector se debe poner a tierra al mismo electrodo que el bastidor del camión.

Si el operador trabaja desde el suelo, debe permanecer de pie sobre un tapete puesto a tierra, de manera que sus manos y pies estén al mismo potencial. El tapete de puesta a tierra también se debe conectar a una estructura de acero puesta a tierra, u otra tierra de baja resistencia.

Siempre debe haber señalización para cuando se esté trabajando con un camión ya sea que posea una canastilla o no, esto con el fin de que las personas hagan contacto con él y puedan producirse descargas debido a cargas estáticas presentes.

11. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA UTILIZADOS POR LA ESSA Y LA IEEE STD. 957-2005.

Para poder hacer un balance entre los procesos que utilizan tanto la ESSA como los que sugiere la IEEE STD. 957- 2005, hay que tener presente el tipo de contaminación a evaluar y además de ello en qué lugar de trabajo esta, sea en subestaciones o en sistemas de distribución.

11.1 TIPO DE LA LAVADO Y MÉTODOS QUE COMÚNMENTE UTILIZA LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER (ESSA)

11.1.1 TIPOS DE LAVADO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Para los sistemas de distribución se presentan normalmente contaminantes tales como: cemento, cal, polvo de tierra, polvo fertilizante, polvo metálico, polvo de carbón, excremento de pájaro, residuos químicos, esmog, petróleo, grasa y contaminantes no muy comunes como la sal y residuos de torres de refrigeración.

La ESSA frente a todo este tipo de contaminantes presenta un mantenimiento basado en el lavado con agua, ya sea un lavado con riego, a media presión o aplicando presiones altas. En los procedimientos utilizados en la ESSA el tipo de presión de agua a aplicar no depende en que entorno se esté trabajando, si no del tipo de contaminación y que tan fuerte se ha adherido al material, siempre y cuando se presente una buena limpieza; también se opta por una frotación manual para todo tipo de contaminante (ver tabla 6).

Nota: Es importante recalcar que la ESSA nunca hace trabajos de limpieza para sistemas de distribución en línea energizada.

11.1.2 TIPOS DE LAVADO EN SUBESTACIONES

Para el mantenimiento en subestaciones se muestran algunos de los mismos tipos de contaminantes ya mencionados en los sistemas de distribución, pero ya no se presentan contaminaciones debido a sal y a residuos de torres de refrigeración, ya que poco o nada se encuentran estos contaminantes. La ESSA utiliza los mismos procedimientos de lavado tanto para subestaciones como para sistemas de distribución (ver tabla 7).

11.1.3 MÉTODOS

La ESSA dispone entre sus métodos de lavado, agua a alta presión, a mediana presión y lavado por riego o baja presión, pero solo con boquilla de sujeción manual para todos los casos. Hay que tener presente que solo se aplican estos métodos en línea desenergizada.

11.2 TIPOS DE LA LAVADO Y MÉTODOS MENCIONADOS EN LA IEEE STD. 957-2005.

11.2.1 TIPOS DE LAVADO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

A diferencia de los tipos de limpieza utilizados en la ESSA, esta norma proporciona para cada tipo de contaminante soluciones de limpieza en línea

energizada o no, también menciona limpiezas abrasivas utilizando materiales orgánicos como la nuez y el maíz. Sugiere el lavado con agua a presiones bajas, medias y altas, y finalmente dispone de una limpieza seca por medio de frotación como la manual (ver tabla 6).

11.2.2 TIPOS DE LAVADO EN SUBESTACIONES

La norma describe los mismos tipos de lavado que para sistemas de distribución (ver tabla 7).

Nota En algunas ocasiones se usa el lavado por riego o baja presión en subestaciones trabajando en condiciones energizadas, esto debido a los posibles arcos eléctricos que se pudiesen llegar a presentar.

11.2.3 MÉTODOS

La norma IEEE STD. 957-2005 dispone de una gran variedad de métodos en línea viva y en línea desenergizada, esto depende de características como el terreno a dónde se quiere llegar para la limpieza, también depende de qué tipo de sistema eléctrico se debe limpiar y del tipo de contaminante a retirar. En la tabla 8 se muestran los métodos descritos en la misma y los utilizados en la ESSA, también se menciona el uso apropiado para cada uno (ver tabla 8).

Los métodos allí contrastados hacen parte de un estudio basado en los años de experiencia de empresas prestadoras de este servicio para mantenimiento de aisladores y de pruebas físicas que se mencionan en la IEEE STD. 957-2005. Estos métodos buscan el máximo aprovechamiento de los recursos para obtener una máxima eficiencia en los procesos de limpieza llevados a cabo.

Existen métodos como la limpieza desde helicóptero, el cual es mencionado ampliamente en la norma, basándose en su alta efectividad para la limpieza de difícil acceso y también en casos donde las cadenas de aisladores son grandes comparadas con las de un sistema de distribución. Este método exige el uso de un equipo costoso pero de gran utilidad para el mantenimiento de aisladores contaminados.

Finalmente se expone el método con limpieza de frotación manual como una técnica ampliamente utilizada debido a sus bajos costos de operación, especialmente orientado a los sistemas de distribución y a situaciones de fácil acceso.

Tabla 6. Tipos de contaminantes y tipos de lavado asociados para sistemas de distribución

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN												
CONTAMINANTE	IEEE std 957-2005						ESSA					
	LAVADO CON AGUA		LIMPIEZA AIRE COMPRIMIDO		LIMPIEZA SECA FROTACIÓN		LAVADO CON AGUA		LIMPIEZA AIRE COMPRIMI		LIMPIEZA SECA FROTACIÓN	
	riego a presión baja	presión alta	cáscara de maíz/nuez	CO ₂	frotación con línea energizada	frotación manual	riego a presión baja	presión alta	cáscara de maíz/nuez	CO ₂	frotación con línea energizada	frotación manual
Sal	✓	✓				✓	✓					✓
Cemento/cal			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo de tierra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo fertilizante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo metálico			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo de carbón	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Excremento de pájaro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Químicos	✓		✓	✓		✓	✓	✓				✓
Esmog	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Resid.torres de refrigeración	✓		✓	✓			✓	✓				✓
Humo de carbón	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Orgánicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Petróleo-grasa			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓

Tabla 7. Tipos de contaminantes y tipos de lavado asociados subestaciones

SUBESTACIONES												
CONTAMINANTE	IEEE std 957-2005						ESSA					
	LAVADO CON AGUA		LIMPIEZA AIRE COMPRIMIDO		LIMPIEZA SECA FROTACIÓN		LAVADO CON AGUA		LIMPIEZA AIRE COMPRIM		LIMPIEZA SECA FROTACIÓN	
	riego a presión baja	presión alta	cáscara de maíz/nuez	CO ₂	frotación con línea energizada	frotación manual	riego a presión baja	presión alta	cáscara de maíz/nuez	CO ₂	frotación con línea energizada	frotación manual
Cemento/cal			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo de tierra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo fertilizante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo metálico			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Polvo de carbón	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Excremento de pájaro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Químicos	✓		✓	✓		✓	✓	✓				✓
Esmog	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Humo de carbón	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Orgánicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Petróleo-grasa			✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓

Tabla 8. Métodos y usos

Método	Usos	IEEE std 957-2005		ESSA	
		Energizado	Desenergizado	Energizado	Desenergizado
Agua a alta presión					
Sistema de aspersión fijo	Instalado en forma permanente en la estructura (en donde se requiere lavado frecuente)	Si	Sí	No	No
Helicóptero	Lugares inaccesibles y método más rápido para múltiples sitios	Si	Sí	No	No
Boquilla a control remoto	En donde hay preocupación por una distancia de trabajo segura, o hay dificultad para lavar desde una estructura	Si	Sí	No	No
Boquilla para sujeción manual	El más común y menos costoso para trabajos pequeños; se puede usar en la mayoría de sitios	Si	Si	No	Si
Agua a presión media	Menos fatiga para el trabajador con presión media, y mayor producción				
Boquilla a control remoto	Igual que para alta presión	Si	Sí	No	No
Boquilla para sujeción manual	Igual que para alta presión	Si	Sí	No	Si
Agua a baja presión					
Sistema de aspersión fijo	Limpieza de bujes de transformadores y problemas de aspersión de sal marina	Si	Sí	No	No
Limpieza en seco con aire comprimido	Similar al chorro de arena; se usa para remover los contaminantes pesados				
Cáscara de nuez/maíz	Las partículas abrasivas molidas remueven los contaminantes pesados	Si	Si	No	No
Piedra caliza en polvo	Aditivo para la mezcla molida de cáscaras de nuez y maíz	Si	Sí	No	No
Gránulos de CO ₂	No tienen acción abrasiva sobre los aisladores	Si	Sí	No	No
Frotación con línea energizada	Se usan cuando no hay disponible equipo especial o antes del lavado en caliente, para reducir el flameo; se hace con pértigas para línea viva	Si	Si	No	No
Limpieza manual	Método profundo y eficaz cuando ocurren cortes				
Almohadillas de náilon/lana de acero	El acceso al dispositivo de aislamiento es difícil	No	Si	No	Si
Solventes	Se usan solventes para ayudar a la limpieza	No	Sí	No	Si

GUÍA PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN



12. GUÍA PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES CONTAMINADOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

La siguiente guía se desarrolló teniendo en cuenta los parámetros que propone la norma IEEE STD. 957-2005, esta guía tiene como objetivo dar indicaciones para escoger el mejor procedimiento para la limpieza de aisladores que se adapte a la red y que ofrezca confiabilidad a la misma, y a la vez sugiere como ejecutarlos, a continuación se presentan los métodos y para qué condiciones son efectivos.

12.1 TRABAJO EN CONDICIONES DE ENERGIZACIÓN

Para realizar trabajos en condiciones de energización en sistemas de distribución y subestaciones, antes de ejecutar cualquier procedimiento se debe verificar el buen estado de las herramientas (pértigas, traje para trabajo a potencial, andamios, etc.), los elementos de protección personal a utilizar (eslingas, guantes, casco, gafas, etc.), y que se respeten las distancias de seguridad reglamentadas para cada caso.

12.1.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

En los sistemas de distribución se presenta contaminación en los aisladores, dependiendo del tipo de material del aislamiento y de la clase de contaminante presente se determina el método de limpieza a ejecutar:

12.1.1.1 Aislamiento cerámico

➤ Si se presentan contaminantes en el aislamiento cerámico tales como:

- Sal
- Tierra
- Carbón
- Contaminación por establos ganaderos
- Excremento de pájaros
- Esmog
- Efluentes de torres de refrigeración
- Humo
- Residuos orgánicos

Se debe realizar una limpieza con agua a presiones entre 2100 kPa a 2750 kPa (300 psi a 400 psi), para ejecutar este proceso de limpieza se puede hacer desde el suelo o subiendo a la torre, en ambos casos se realiza el lavado por medio de una boquilla para sujeción manual. En este procedimiento cada vez que se agregue agua es necesario examinar la conductividad y resistividad de esta. La manguera que se debería usar es no conductora, para evitar que el camión que contiene el depósito de agua vaya a adquirir un alto potencial.

Para este procedimiento se sugieren los siguientes pasos:

- Si el lavado se realiza desde el suelo se debe ajustar la presión con la que se va a efectuar, para luego dirigir el chorro hacia los aisladores.
- Si se realiza desde la torre el trabajador debe subir la manguera, el eyector y la boquilla, lo puede hacer por medio de andamios o usar una canasta para levantar estas a la posición adecuada, con el fin de ejecutar el lavado.

- Si el lugar donde se va a llevar a cabo la limpieza cuenta con boquilla para sujeción fija el trabajador puede conectar una manguera y una boquilla a este sistema para ejecutar el procedimiento.
- El camión que contiene el depósito de agua debe estar ubicado de manera que la manguera no vaya a arrastrarse alrededor de la torre.
- El camión debe estar conectado equipotencialmente a la torre, al igual que el trabajador y la boquilla.
- Se sugiere que nadie se suba o baje del camión después de que este equipotencialmente conectado.
- El trabajador es quién indicará al conductor del camión que incremente o disminuya la presión del agua hasta lograr la presión completa y luego si dirigirla a los aisladores a limpiar.
- El lavado de los aisladores se debe realizar de abajo hacia arriba. Cuando ya se hayan lavado los aisladores de la parte inferior, se dirige el chorro unas unidades hacia arriba, se lavan esas unidades y luego se vuelve a dirigir el chorro a las unidades ya limpias para evitar flameos, este proceso es repetitivo hasta lograr limpiar el aislador en su totalidad.
- Para aisladores de suspensión se lava primero el que se encuentra más cerca del conductor energizado.
- Para aisladores de retención se debe ejecutar el lavado cuidadosamente para evitar una sobrepersión que cause flameo, se sugiere empezar a lavar desde el extremo en la dirección del viento de la cadena de aisladores y después en dirección contraria al viento.

- El chorro de agua se debe retirar de cualquier parte energizada de los aisladores antes de reducir la presión.

- Por otra parte si se presentan contaminantes en el aislamiento cerámico tales como:
 - Cemento
 - Cal
 - Fertilizante
 - Residuos de polvo metálico
 - Residuos químicos

Se debe realizar una limpieza abrasiva que involucra el uso de aire comprimido y de un compuesto seco, y se requiere de un compresor de aire con una capacidad mínima de 0,05 m³/s (110 pies³/min) (52L/s) a 850 kPa (125 psi), un secador de aire, varillas de aplicación, mangueras adecuadas para el suministro y un compuesto de limpieza, que se componen de cascara de maíz molida mezclada con cascara molida de nuez o nuez panaca.

Para llevar a cabo este procedimiento se proponen los siguientes pasos:

- Inicialmente se debe realizar el acople entre el compresor, las mangueras y las respectivas varillas de aplicación.

- El operador debe ubicar los equipos ya acoplados en el lugar adecuado para que el proceso de limpieza se pueda efectuar de forma segura y eficiente, ya sea desde el suelo o por medio de una canasta aérea.

- El operador que vaya a ejecutar la limpieza es quien va a controlar la apertura o cierre de la válvula que controla la presión con la que va a ser expulsado el compuesto abrasivo.

- La limpieza de los aisladores se debe realizar de abajo hacia arriba.
 - Antes de que el flujo de compuesto abrasivo haga contacto con el aislador, debería estar fluyendo una corriente completa de este y, de igual modo, una disminución en las libras por pulgada cuadrada sólo se debería hacer después de que no haya contacto con el aislador.
- Como método alternativo se presenta la frotación con un paño, este método se puede aplicar independientemente del tipo de contaminante presente, este procedimiento emplea pértigas y una lana especial (pañó abrasivo) para limpiar en vivo los aisladores que funcionen en tensiones entre 4 kV y 69 kV.

El procedimiento es el siguiente:

- Se puede efectuar desde el suelo, desde una escalera, en la canastilla de un camión o desde una torre de acero.
- Se requiere que haya una buena comunicación en todo momento entre los operadores presentes en la ejecución de la limpieza.
- Se hace uso de dos pértigas, una pértiga se debe enganchar en un ojete del paño abrasivo, luego se debe rodear el aislador a limpiar y con el gancho de la segunda pértiga enganchar el segundo ojete del paño abrasivo.
- La limpieza empieza adyacente al conductor energizado y avanza hacia el extremo puesto a tierra de la cadena de aisladores.

- Después de tener rodeado el aislador con el paño abrasivo y habiéndolo enganchado por sus extremos, se deben hacer movimientos hacia arriba y hacia abajo, manteniendo, lo suficientemente ajustadas las pértigas de tal manera que el paño abrasivo no se vaya a soltar.

12.1.1.2 Aislamiento polimérico

Si se presentan contaminantes en el aislamiento polimérico tales como:

- Sal
- Tierra
- Carbón
- Contaminación por establos ganaderos
- Excremento de pájaros
- Esmog
- Efluentes de torres de refrigeración
- Humo
- Residuos orgánicos
- Fertilizante
- Residuos de polvo metálico
- Residuos químicos

Se sugiere realizar una limpieza con agua de la siguiente manera:

- Para aisladores poliméricos se realiza de la misma forma que para los aisladores cerámicos con la diferencia que aquí la presión que se propone es de 2750 kPa (400 psi).

- La frecuencia de lavado para este tipo de aislamiento depende del nivel de contaminación. (Por lo menos una vez al año).
- Llegado el caso si el aislamiento está muy deteriorado, se debe hacer el cambio total del equipo por uno en buenas condiciones.

12.1.1.3 Aislamiento de vidrio

Para este tipo de aisladores se presentan los mismos pasos de mantenimiento que en los aisladores cerámicos para trabajo en condiciones de energización.

12.1.2 SUBESTACIONES

En las subestaciones se presenta contaminación en todos los equipos con aislamiento y el mantenimiento depende del tipo de material e impurezas presentes. Los métodos para la limpieza se exponen a continuación:

12.1.2.1 Aislamiento cerámico

Si se presentan contaminantes en el aislamiento cerámico tales como:

- Sal
- Tierra
- Carbón
- Contaminación por establos ganaderos
- Excremento de pájaros
- Esmog

- Efluentes de torres de refrigeración
- Humo
- Residuos orgánicos
- Polvo
- Ceniza volcánica

Se sugiere realizar una limpieza con agua a baja presión por medio de una boquilla de sujeción manual o fija. La presión de la bomba a nivel del suelo es de 1400 kPa (200 psi) con un rendimiento de la bomba de 2,5 L/s (40 gal/min).

Con estas condiciones el procedimiento se ejecuta de la misma manera que para los aisladores cerámicos en sistemas de distribución para trabajo en condiciones de energización, diferenciando que la presión del agua es menor, pero teniendo en cuenta la dirección del viento, para realizar el lavado de manera que el chorro se dirija en la misma dirección de esta.

Si la limpieza con el método de agua a baja presión no es suficiente se propone usar la limpieza de frotación con paño, y se seguirían los mismos pasos que en los aisladores cerámicos en sistemas de distribución para trabajo en condiciones de energización.

12.1.2.2 Aislamiento polimérico

No se realiza mantenimiento alguno. En caso de deterioro del aislamiento se procede a cambiar el equipo por uno en buenas condiciones.

12.1.2.3 Aislamiento de vidrio

Se sugieren los mismos pasos usados en el mantenimiento de aisladores cerámicos en subestaciones para trabajo en condiciones de energización.

12.2 TRABAJO EN CONDICIONES DE NO ENERGIZACIÓN

Al igual que en trabajo en condiciones de energización se debe verificar el buen estado de las herramientas a utilizar. Para la limpieza de aisladores se pueden utilizar todos los métodos propuestos en trabajo energizado; en condiciones de no energización adicionalmente se pueden aplicar los siguientes procedimientos de limpieza:

12.2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

12.2.1.1 Aislamiento cerámico

Si se presentan contaminantes en el aislamiento cerámico tales como:

- Cemento
- Cal
- Fertilizante
- Residuos de polvo metálico
- Residuos químicos

➤ Adicional a los métodos propuestos en trabajo energizado se sugiere lo siguiente:

- Retirar el equipo que contenga el aislamiento con dicha contaminación, para ser reemplazado por uno en buenas condiciones.
 - Luego de esto, llevar el equipo que se encuentra con el aislamiento deteriorado a un área de mantenimiento.
 - Ejecutar el proceso de limpieza, el cual consiste en limpiar el contaminante con hidrolavadora usando únicamente agua y jabón.
 - Si es necesario se utiliza solvente para facilitar la limpieza.
 - Después de culminar el proceso de limpieza se le realizan pruebas (ensayo de tensión de flameo en húmedo a baja frecuencia, ensayo de tensión de flameo en seco a baja frecuencia), para determinar si el aislador puede volver a ser puesto en servicio cuando sea necesario.
- Se presenta un método alternativo como lo es la limpieza manual, pues es una solución para problemas de difícil acceso a la torre.

La limpieza manual consiste en:

- Usar solo agua y detergente, y en caso de que haya presencia de grasas o aceites se puede utilizar un solvente para facilitar la limpieza.
- Consiste en frotar por medio de almohadillas de lana de acero, paños o toallas, el aislador que se quiere limpiar, si es necesario se pueden utilizar toallas industriales.

- La limpieza culmina cuando la periferia del aislador se observe libre de contaminantes o brillo.

12.2.1.2 Aislamiento polimérico

Si se presentan contaminantes en el aislamiento polimérico tales como:

- Sal
- Tierra
- Carbón
- Contaminación por establos ganaderos
- Excremento de pájaros
- Esmog
- Efluentes de torres de refrigeración
- Humo
- Residuos orgánicos
- Fertilizante
- Residuos de polvo metálico
- Residuos químicos

Para limpieza de estos se aplica el mismo método que para los aisladores poliméricos de sistemas de distribución para trabajos en condiciones de energización. Para este tipo de aislamiento no es conveniente aplicar limpieza manual.

12.2.1.3 Aislamiento de vidrio

Se presenta los mismos métodos de mantenimiento que en los aisladores cerámicos para trabajo en condiciones de no energización.

12.2.2 SUBESTACIONES

12.2.2.1 Aislamiento cerámico

Se presenta métodos de limpieza iguales a los expuestos en condiciones de trabajo energizado. Pero se omiten las distancias de seguridad debido a la ausencia de tensión.

12.2.2.2 Aislamiento polimérico

No se realiza mantenimiento alguno. En caso de deterioro del aislamiento se procede a cambiar el equipo por uno en buenas condiciones.

12.2.2.3 Aislamiento de vidrio

Se presenta igual método de limpieza que para los aislamientos cerámicos.

12.3 EQUIPOS PARA LA LIMPIEZA

Los equipos a utilizar para el mantenimiento de aisladores contaminados son los siguientes:

- Bombas
- Tanques
- Tuberías
- Mangueras
- Boquillas
- Camiones
- Remolques
- Helicóptero

12.4 RESULTADOS DE UNA LIMPIEZA EFICIENTE

Para evaluar la efectividad de la limpieza de aisladores el operario debe verificar las siguientes condiciones:

➤ Condición visible de la superficie

La condición de la superficie de la parte superior e inferior de las campanas de los aisladores debe estar visualmente limpia y lustrosa después de que el agua se haya secado.

➤ **Vibración de los aisladores**

La vibración mecánica (tintineo) de las campanas del aislador bajo impacto por el lavado a alta presión, evidencia una acción de limpieza eficiente.

➤ **Ausencia de formación de arco**

No debe presentarse efecto corona o formación de caminos conductores. No debe haber descargas por corrientes de fuga.

➤ **Claridad del agua que escurre luego del lavado**

Luego de realizar el lavado, el agua que escurre debería visualizarse con tono claro, para asegurarse de tener una limpieza eficiente.

CONCLUSIONES

- Para ejecutar procedimientos de limpieza de aisladores, se requiere que los trabajadores sean personas calificadas, que se respeten las distancias mínimas de seguridad, que se utilicen los elementos de protección personal.
- La guía que se elaboró contiene la información necesaria para seleccionar el método de limpieza adecuado de acuerdo al tipo de contaminación presente en sistemas de distribución, la cual es de fácil comprensión y no es extensa como si ocurre en la norma IEEE STD. 957-2005.
- Para el mantenimiento de aisladores contaminados existen diferentes métodos de limpieza que varían dependiendo del tipo de contaminación, se deben tener en cuenta los diferentes parámetros como el nivel de tensión, tipo de aislamiento, fuerza y dirección del viento, zona en la cual se va a trabajar, entre otras, para así elegir el método adecuado con el fin de que se tenga una máxima eficiencia y un menor costo de operación al ejecutar la limpieza.
- Al realizar la comparación entre los procesos de limpieza usados por la Electrificadora de Santander (ESSA) y los mencionados por la Norma IEEE STD. 957-2005., arroja como resultado que la norma expone métodos de limpieza asociados a cada tipo de contaminación ya sea en línea energizada o desenergizada y la ESSA sólo realiza mantenimiento en línea desenergizada con un solo nivel de presión para todo tipo de contaminante.

- En lugares con altos niveles de contaminación es necesario emplear métodos para la limpieza más fuertes, es decir que posean una mayor acción sobre el aislador, tales como la limpieza abrasiva y la limpieza por gránulos de CO₂.
- Para realizar una limpieza constante en sitios donde la contaminación es continua se presentan un tipo de limpieza fijo, apoyado en la torre de tal modo que se ahorra en costos de traslado de equipos y material hacia la zona de mantenimiento.
- Para ejecutar el mantenimiento en una subestación se debe optar por un método de limpieza con agua a baja presión, para evitar que la aspersion genere flameos y que estos a su vez ocasionen daños mayores.
- Se sugiere para el mantenimiento de los aisladores después de la limpieza, métodos que se basan en el recubrimiento de su superficie ya sea con silicona o compuesto RTV, todo esto con el fin aumentar la vida útil del aislamiento.
- En algunas ocasiones las empresas prestantes del servicio para el mantenimiento de aisladores se guían por las normas de mantenimiento como la IEEE STD. 957-2005 las cuales pueden ser muy extensas en su contenido y con un costo muy elevado en equipos, por ello se elabora una guía con los procesos más relevantes y más eficientes.

REFERENCIAS

[1] GUIDE FOR CLEANING INSULATORS, IEEE STD 957-2005.

[2] STANDARD TEST METHOD FOR DIELECTRIC BREAKDOWN VOLTAGE AND DIELECTRIC STRENGTH OF SOLID ELECTRICAL INSULATING MATERIALS AT COMMERCIAL POWER FREQUENCIES, ASTM D149-09(2013),ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

[3] STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS, ASTM D638-14, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

[4] STANDARD SPECIFICATION FOR FIBERGLASS-REINFORCED PLASTIC (FRP) ROD AND TUBE USED IN LIVE LINE TOOLS, ASTM F711-02(2013), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

[5] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <http://www.hfgp.com/>

[6] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <http://www.hubbellpowersystems.com/>

[7] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <http://www.munelec.cl/site/index.php/es/>

[8] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <https://www.tessco.com/products/displayProductInfo.do?sku=455543>

[9] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en

<http://meciplus.com/categoria-de-producto/equipo-industrial/pro-industrial/eslingas-pro/eslingas-de-posicionamiento-pro/>

[10] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en http://www.treballo.com/catalogo/proteccion_epis/proteccion_facial_cabeza/cascos_obra_riesgos_especiales/cascos_proteccion_riesgos_especiales.asp

[11] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <http://www.sela.es/catalogo/3/extremidades-superiores/11/guantes-industriales>

[12] [Citado en 14 de enero de 2016] Disponible en <http://www.sf-electric.com/nos-produits?PHPSESSID=l098v02igh7430utpjkc6ngud3>

[13] NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 1285, ELECTROTECNIA MÉTODO DE ENSAYO PARA AISLADORES DE POTENCIA ELÉCTRICA ,1996-10-23.

[14] STANDARD SPECIFICATION FOR LIVE LINE AND MEASURING TELESCOPING TOOLS, ASTM F1826-00(2011), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

[15] GUIDE FOR MAINTENANCE METHODS ON ENERGIZED POWER LINES, IEEE 516-2009.

[16] MÉNDEZ, David. Fallas en una línea de transmisiones provocadas por contaminación en el aislamiento. Trabajo de grado ingeniería mecánico electricista. Xalapa, Veracruz. Universidad veracruzana. Facultad de ingeniería mecánica eléctrica. Febrero 2010.

[17] GTC 96 GUIA PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES 2013-04-17

BIBLIOGRAFÍA

GUIDE FOR CLEANING INSULATORS, IEEE STD 957-2005.

GUIDE FOR MAINTENANCE METHODS ON ENERGIZED POWER LINES, IEEE 516-2009.

GTC 96 GUIA PARA LA LIMPIEZA DE AISLADORES 2013-04-17

MÉNDEZ, David. Fallas en una línea de transmisiones provocadas por contaminación en el aislamiento. Trabajo de grado ingeniería mecánico electricista. Xalapa, Veracruz. Universidad veracruzana. Facultad de ingeniería mecánica eléctrica. Febrero 2010.

NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 1285, ELECTROTECNIA MÉTODO DE ENSAYO PARA AISLADORES DE POTENCIA ELÉCTRICA ,1996-10-23.

STANDARD SPECIFICATION FOR FIBERGLASS-REINFORCED PLASTIC (FRP) ROD AND TUBE USED IN LIVE LINE TOOLS, ASTM F711-02(2013), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

STANDARD SPECIFICATION FOR LIVE LINE AND MEASURING TELESCOPING TOOLS, ASTM F1826-00(2011), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

STANDARD TEST METHOD FOR DIELECTRIC BREAKDOWN VOLTAGE AND DIELECTRIC STRENGTH OF SOLID ELECTRICAL INSULATING MATERIALS AT COMMERCIAL POWER FREQUENCIES, ASTM D149-09(2013), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS, ASTM D638-14, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

ANEXOS

ANEXO A

Limpieza de aisladores contaminados, con pellet de CO₂, en sistemas eléctricos energizados.

Los procedimientos de limpieza de aislamientos eléctricos que se ejecutan actualmente, con línea energizada; representan un alto peligro al ser ejecutados, y los más seguros implican mayores costos. El método que se expone permite hacerlo de forma segura, reduciendo costos; logrando ser más amigable con el medio ambiente.

Este método usa partículas pequeñas de CO₂ congelado, conocido como hielo seco. Siendo este, el gas dióxido de carbono congelado a temperaturas de -78.5 °C. Este gas es amigable con la naturaleza, puesto que es el mismo que exhalamos durante la respiración y el que utilizan las plantas para la fotosíntesis.

El proceso de limpieza con CO₂ se trabaja igual que el chorro de arena o como el de agua o vapor a alta presión, pero con mejores resultados. El hielo seco, se fabrica en forma de Pellet, que son pequeños cilindros de material, de 1mm de diámetro, aproximadamente y de una longitud aproximada de 5mm.

Este método está basado en tres fenómenos físicos: El impacto mecánico inicial, el choque térmico y la energía cinética por la sublimación.

El impacto mecánico inicial del Pellet de CO₂, se origina gracias a la velocidad de salida del material y las boquillas, en el momento que golpea el contaminante, en la superficie a limpiar.

El choque térmico que el Pellet de CO₂ ocasiona al entrar en contacto directo con el contaminante, genera una contracción y desprendimiento leve de la superficie a la que esta pegado. Haciendo que se pierda la adhesión entre el contaminante y la superficie de los aisladores eléctricos.

Repetidamente durante la ejecución del método, cuando las partículas posteriores del Pellet de CO₂, penetran a través del material contaminante que se está limpiando, el CO₂ congelado entra en contacto, con las capas más profundas y así se repite el fenómeno.

La energía cinética, es aplicada para eliminar totalmente el contaminante. Esta es aportada por los Pellets de CO₂, que traspasan el contaminante a retirar. En el choque con el material, los Pellets se transforman del estado sólido al gaseoso, y esto es conocido como sublimación. Cuando se da la sublimación hay un enorme incremento de volumen (aproximadamente de 500 a 800 veces), causando que el contaminante sea desprendido y arrojado.

Figura A.1. Limpieza de aisladores contaminados con Pellet de CO₂.



Fuente [16].

El hielo seco también tiene capacidad de eliminar todo residuo de humedad, en las superficies con las que entre en contacto, puesto que al sublimarse, el hielo seco satura la atmósfera de anhídrido carbónico que, siendo un gas seco, tiende a eliminar el contenido de humedad en el ambiente. Por lo anteriormente expuesto se recomienda la limpieza criogénica a las instalaciones eléctricas.

Ciertas ventajas de la limpieza criogénica son:

Proceso en seco. Este método es un proceso totalmente seco, ya que el hielo seco está compuesto por CO₂ y se evapora en contacto con la superficie.

Ningún residuo. El proceso no deja residuos, sólo hay que aspirar.

Ecológica. La limpieza en seco no utiliza sustancias químicas por lo que es un método limpio y amigable con el medio ambiente.

No abrasiva. Con este método las superficies de los aisladores no se desgastan como si sucede con otros tipos de limpieza.

Aumento de la productividad. Las interrupciones para el mantenimiento ocasionan pérdidas, con este procedimiento puede hacerse limpieza durante su operación normal, aumentando así la continuidad del suministro.

Eficaz. Debido a las boquillas y a las diferentes velocidades de aplicación, existe la posibilidad de ejecutar la limpieza, incluso en puntos de difícil alcance, sin dejar residuos de contaminante, en ninguna parte de los aisladores eléctricos.

Los equipos necesarios para realizar la limpieza de aisladores eléctricos con pellet de CO₂, deberían ser de preferencia del tipo portátil para ubicarlos con facilidad en el punto de limpieza. Como mínimo son los siguientes:

Compresor de aire. Es el encargado de impulsar el material de la limpieza. Se requiere que proporcione un caudal de aire suficiente para que los pellets alcancen la velocidad adecuada. Se requiere que por los menos sean de 2 m³ por minuto, a una presión de 120 lbs/pulg². Debe haber una máquina presurizadora del pellet de CO₂ que se alimenta con aire comprimido y pellet de CO₂, con la cual se regula la presión y velocidad de aplicación.

Herramienta de Aplicación. Está compuesto de mangueras y pértigas no conductivas, con una rigidez dieléctrica de no menos de 80KV por pie de longitud. Las boquillas para la aplicación son tubos, de distintos ángulos de ataque y diferentes diámetros, para poder ejecutar una limpieza completa de los aisladores eléctricos.

El pellet de CO₂, se debe mantener en recipientes criogénicos, para que no se vaya a presentar sublimación en el aire del ambiente. A pesar de ello, existen pérdidas durante el proceso.

Por resultados obtenidos durante años de operación se afirma que este método proporciona muchos beneficios. Este procedimiento puede llevarse a cabo en las instalaciones energizadas con alta tensión, con un grado de confiabilidad alto, para mantener la limpieza de los aisladores que han sido contaminados por cualquier elemento, alcanzando los mayores índices de confianza y continuidad en las instalaciones donde se ejecute. [16]

ANEXO B

MANTENIMIENTO DE AISLADORES DESPUES DE LA LIMPIEZA

B1. Recubrimientos de silicona para aisladores de alta tensión.

Los compuestos para recubrimiento de silicona similares a la grasa se han utilizado con éxito como protectores para los aisladores de porcelana y de vidrio en el mantenimiento en los últimos años. La experiencia del servicio con silicona ha demostrado que cuando mantienen su repelencia al agua, brindan protección del aislador. No obstante, la exposición prolongada a las chispas, la radiación ultravioleta, la erosión del agua o a la contaminación en general, se reducirá la repelencia al agua de la grasa y debido a esto se forman canales en el recubrimiento, originando corrientes concentradas que forman arcos. Bajo arcos de alta intensidad en recubrimientos de silicona relativamente delgados, se pueden formar estos canales en la grasa, originando puntos calientes locales en la superficie del aislador.

La efectividad del recubrimiento de grasa con silicona depende del grosor apropiado y de la uniformidad de la capa. Los requisitos para la protección difieren ampliamente según la ubicación y el ambiente, y controlan la selección del grosor.

Esto significa que cada instalación puede haber adoptado sus propias prácticas de aplicación para el mantenimiento del aislador. Por ejemplo, los contaminantes no absorbentes, como las partículas metálicas, requieren menos componente o fluido que las partículas absorbentes, como es el caso de los fertilizantes, si la intensidad de contaminación es similar.

Tabla B1. Cantidades típicas de grasa de silicona requeridas para recubrir un aislador específico

Descripción	Área	Cantidad de compuesto requerida
	m ²	Kg
Tipo vástago de una pieza de 13 Kv	0,07	0,10
Aislador de línea tipo poste a 34,5 Kv	0,22	0,34
Unidad de suspensión estándar de 0,254 m (10 pulgadas)	0,17	0,27
Unidad de suspensión tipo esmog de 0,254 ni (10 pulgadas)	0,23	0,35
Aislador de aparato de campana y vástago de 34,5 kV	0,39	0,62
Unidad de campana y vástago de 69 kV usada en columnas de dos unidades	0,46	0,74
Unidad de aparato de campana y vástago de alta tensión	0,72	1,16
Buje de 69 Kv	0,85	1,36
Buje de 138 Kv	1,99	3,18
Buje de 230 kV	4,59	7,26

Fuente [1].

Las mediciones reales en las instalaciones indican que las observaciones visuales con frecuencia son equívocas independientemente de la forma en que se ha aplicado el recubrimiento. Usualmente, los recubrimientos son mucho más delgados de lo que aparentan, especialmente en áreas de difícil acceso. Para evitar dejar secciones sin recubrimiento adecuado, se deberían hacer mediciones precisas, periódicamente, con un calibrador de espesor u otro dispositivo de medición.

Los puntos delgados en el recubrimiento de silicona del aislador se saturan rápidamente con partículas que las áreas más gruesas. Cuando esto sucede, la superficie del aislador pierde sus propiedades de hidrofobisidad al agua y se puede desarrollar el arco. Como resultado de la chispa excesiva, el fluido de

silicona se descompone y deja expuesto el relleno de sílice. Estas áreas muestran parches de color blanco o pálido sobre los aisladores.

A su vez, la exposición del sílice, absorbente de agua, aumentará localmente las corrientes superficiales y originará arco más grave y los así llamados puntos calientes. Para evitar este fenómeno, se debería aplicar un recubrimiento uniforme, homogéneo y se debería verificar periódicamente la repelencia al agua y el desarrollo de puntos de color pálido en los aisladores. Esto se debería realizar bajo condiciones de lluvia, neblina o aspersion de agua. Si existen corrientes de fuga, excesivas, audibles o visibles, el recubrimiento está llegando al final de su vida útil.

Nota: No se recomienda la aplicación de compuesto de silicona nuevo sobre un material de silicona contaminado.

B2. Recubrimientos de silicona RTV protectores para aisladores de alta tensión.

Cada vez con mayor frecuencia, se usan los recubrimientos de silicona vulcanizados a temperatura ambiente (Room Temperature Vulcanizing, RTV) para evitar flameos en aisladores de porcelana y en bujes. Estos recubrimientos están diseñados para reemplazar la grasa de silicona y el lavado con agua. Cuando se selecciona y aplican apropiadamente, estos recubrimientos durarán diez años o más, sin mantenimiento.

Los recubrimientos que pierden su hidrofobicidad tienen un desempeño de vida útil corto. Estos recubrimientos se vuelven inefectivos y fallan en evitar el flameo. Los recubrimientos seleccionados apropiadamente que mantienen su hidrofobicidad tienen larga duración en la prevención de flameo. Después del desempeño, la

facilidad de aplicación es la consideración más importante de estos recubrimientos, lo cual afecta el costo de su aplicación.

➤ **Selección.**

Los recubrimientos RTV disponibles en el comercio, varían significativamente en la composición de sus elementos sólidos. Un recubrimiento con un mayor porcentaje de elementos sólidos puede aparentar inicialmente ser mejor, pero estos recubrimientos más gruesos originan los siguientes problemas:

- Tiempo de secado.
- Preparación del material.
- Fluidez.

➤ **Aplicación.**

Las consideraciones para la aplicación, incluyen la formación de película, el tiempo máximo de utilización, la preparación de la superficie y del material. Este factor puede tener un impacto en el costo y duración del proyecto de aplicación.

- **Preparación de la superficie.**

La superficie debe estar limpia y libre de aceite, polvo, humedad o grasa y se debe tener en cuenta la limpieza por medio abrasivo o manual. La mayoría de la preparación de la superficie consiste en lavado con agua a presión alta seguida de lavado manual con alcohol.

- **Preparación del material.**

Los recubrimientos gruesos se deben disolver en solvente para facilitar la aspersion. Este procedimiento consume tiempo y requiere el uso de solventes peligrosos. Por lo tanto, es mejor tener un recubrimiento que se suministre listo para usar.

- **Formación de película.**

Las formaciones de película indican el grosor máximo que se puede lograr con una sola pasada usando equipo de aspersion y, por ello, tiene un impacto importante en el tiempo y costo de un proyecto de recubrimiento. Esta se ve afectada por la viscosidad del material, las características de fluidez. Debido a que estos recubrimientos se aplican normalmente a porcelana esmaltada, la fluidez es la propiedad más importante del material. El tipo de solvente controla el tiempo que toma en secar el material.

Nota: para el caso de aplicación en condiciones de energización se deben aplicar estos recubrimientos con estricta supervisión y solo por personal autorizado en trabajos en línea viva. Se presentan inconvenientes como el no poder medir el grosor del material y perdida excesiva de este.

➤ **Inspección.**

En los recubrimientos RTV, únicamente se pueden realizar dos pruebas para verificar el grosor:

a) Calibrador de película húmeda. Estos calibradores suministran una lectura sobre el grosor a medida que se aplica el revestimiento.

b) Calibrador ultrasónico de grosor. Proporciona lecturas del grosor del recubrimiento de silicona sobre las superficies de porcelana. Estos calibradores se deben verificar y calibrar antes del uso. [1] [16] [17]

ANEXO C

SUGERENCIAS

Las siguientes son prácticas de labor sugeridas, basadas en el análisis de la norma IEEE STD. 957-2005 y los procedimientos que lleva a cabo la ESSA en el trabajo para líneas energizadas:

- a) La boquilla se debe tener puesta a tierra junto con la superficie en la cual se encuentra el operador, para asegurar que el eyector y la persona están en el mismo potencial.
- b) Se debe alcanzar la presión normalizada en la boquilla antes de ser dirigido hacia el aislador.
- c) El equipo de limpieza debe estar conectado a tierra o, de lo contrario, se debería tener cuidado para asegurar que los trabajadores y el público permanezcan lejos del equipo.
- d) La limpieza se debe hacer preferiblemente en la dirección del viento.
- e) Para reducir el riesgo de una interrupción del circuito, se deben inspeccionar los aisladores, las crucetas y los herrajes, antes de realizar la limpieza.
- f) Con aisladores tipo suspensión: el chorro continuo se debe dirigir primero al aislador inferior, ascender progresivamente en la cadena y devolverse a las unidades inferiores.

- g) En aisladores de retención: el chorro se debería dirigir primero al conductor y luego a la estructura, teniendo en cuenta un método alternativo si la dirección del viento es la misma que la del chorro.
- h) Con aisladores de tipo columna: la limpieza se debe hacer desde el aislador inferior hacia arriba, con regresos periódicos a las unidades inferiores para eliminar el residuo procedente de las unidades superiores.
- i) Con aisladores tipo vástago o tipo poste: el chorro se debe dirigir hacia la superficie inferior del aislador y hacia arriba hasta el conductor. Si se usa agua, se debe tener precaución cuando se humedecen las crucetas para no ocasionar flameo.
- j) No se recomienda limpiar aislamientos muy deteriorados, es preferible hacer el cambio total del equipo.
- k) En equipos con disposición de varios niveles de altura, se debe limpiar primero los aisladores de nivel inferior.
- l) Si se inicia un arco considerable cuando se limpia el aislamiento que da soporte a los conductores energizados, el chorro se debe mantener en el arco hasta que se disipe.
- m) Cuando se realiza limpieza en subestaciones, se debe tener cuidado al elegir la dirección del chorro, puesto que el equipo que se halle en un área de sobreaspersión se puede humedecer parcialmente, originando riesgo de flameo.
- n) El operador de la manguera debe usar equipo protector para evitar la posible inhalación de polvo o lesiones oculares. Esto es particularmente importante cuando se usan limpiadores secos.

o) Las descargas de efecto corona se pueden extender desde la campana metálica hasta la porcelana durante el lavado energizado con presión alta, y se pueden escuchar durante unos pocos segundos después de terminar la limpieza.

Si esta descarga continúa, puede indicar lavado incompleto, en cuyo caso se recomienda volver a aplicar el chorro de lavado.

p) Si la columna del aislador es larga, por ejemplo, cadenas de aisladores para 230 kV y en adelante, se pueden lavar por secciones, para obtener una limpieza eficaz.

q) Si se opta por el reemplazo del equipo contaminado, se debe tener en cuenta el método para el retiro del equipo, con las normas de seguridad pertinentes en trabajo con línea energizada.

r) Inspeccionar cada herramienta mirando sus condiciones de aislamiento.

s) El operario debe estar debidamente certificado tanto para trabajos en línea energizada como en alturas.

t) Se deben revisar las conexiones de puesta a tierra en todos los casos.

u) Los flameos que ocurren durante el lavado de líneas energizadas se pueden minimizar de las siguientes maneras:

1) Usando presión alta del agua y un chorro compacto.

2) Evitando que el agua de lavado contaminada salpique los aisladores secos no lavados.

3) Impidiendo el humedecimiento parcial de los aisladores no lavados.

v) Para trabajo desenergizado, se debe aplicar las prácticas de puesta a tierra de cada compañía.

w) Las herramientas y equipos se deben inspeccionar antes de su uso, y cualquiera de ellos que presente defectos se deben sacar del servicio o reparar antes de utilizarlos.

Nota: Para el trabajo en condiciones de desenergización, se deben llevar a cabo las mismas sugerencias, pero se omiten casos en los que se habla de arcos, flameos debido a la ausencia de tensión.