



Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERIA ELÉCTRICA

PRESENTA:

HERNÁNDEZ JUÁREZ LINDA YULIANA

NOMBRE DEL PROYECTO:

**“ESTUDIO Y ANALISIS DE LA OPERACIÓN DE APARTARRAYOS TIPO ALEA,
CLASE 1 EN LINEAS DE SUBTRANSMISION 115KV”**

PERIODO DE REALIZACIÓN:

AGOSTO-DICIEMBRE DEL 2018

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 ESTADO DEL ARTE	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVO.....	3
1.5 METODOLOGÍA.....	4
2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1 GENERALIDADES	5
2.1.1 Marco Jurídico	6
2.1.2 Tipos de Mantenimiento	6
2.2 PARÁMETROS IMPORTANTES DE LA LÍNEA.....	11
2.2.1 Tipos de torres y su geometría.....	11
2.2.2 Sobretensiones en los sistemas de potencia.....	12
2.2.3 Formas de onda normalizada.....	13
2.2.4 Efectos de las descargas atmosféricas.....	15
2.2.5 sobretensiones por descarga atmosféricas.....	16
2.2.6 Formación de las descargas atmosféricas.....	18
2.2.7 Efectos de las descargas atmosféricas en las líneas	21
2.3 MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	26
2.3.2 Angulo de blindaje.....	27
2.3.3 Mejoramiento de la resistividad del terreno.	31
2.4 INSTALACIÓN DE APARTARRAYOS EN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN	34
2.4.1 Recomendaciones para la instalación de apartarrayos.	36
2.4.2 Apartarrayo permanente conectado.	36
2.4.3 Apartarrayo con entrehierro	38
3. DESARROLLO	38
3.1 ANTECEDENTES DE APARTARRAYOS TIPO ALEA CLASE 1	38
3.2 EVIDENCIAS DE ACTIVIDADES EN CAMPO	52
3.3 FACTORES QUE INFLUYEN AL MAL FUNCIONAMIENTO DE LOS APARTARRAYOS TIPO ALEA, CLASE	
1, FALLADOS.....	64
3.4 FACTORES QUE CONTRIBUYERON A LAS FALLAS POR SOBRETENSIONES EN LAS LÍNEAS DE	
SUBTRANSMISIÓN.....	65
4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	72
ANEXO A: TÉRMINOS EN DESCRIPCIÓN DE APARTARRAYOS	72
ANEXO B: MAPAS DE PROMEDIO ANUAL DE DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA.....	74
ANEXO C: DATOS BÁSICOS DE APARTARRAYOS.....	74
ANEXO D: INFORME NO: K3411-18-2014 ENTREGADO POR LAPEM.....	76

Índice de figuras

Figura 1.-Diagrama a bloques del hardware.....	4
Figura 2.-Onda normalizada de impulsos atmosféricos. [3].....	14
Figura 3.-Nube cumulolimbus.....	17

Figura 4.-Descarga de nube a tierra.	17
Figura 5.-Descarga de nube a nube.	17
Figura 6.-Descarga durante un tornado y Descarga intra- nube o tipo sabana.	18
Figura 7.-Clasificación de las descargas nube- suelo por su polaridad.	18
Figura 8.-Isodensidad de rayos a Tierra de la República Mexicana elaborado por IEE (PERIODO 1983-1993) [1].	20
Figura 9.-Impacto en el hijo de guarda.	22
Figura 10.- Impacto de una descarga atmosférica en una torre.	22
Figura 11.-Impacto de un rayo en una torre.	23
Figura 12.-Impacto de un rayo en un conductor de fase.	25
Figura 13.-Diagrama de elementos distribuidos a lo largo de una línea de transmisión.	26
Figura 14.-Ilustración de la implementación de las torres por su función	27
Figura 15.-Geometría analítica.	28
Figura 16.-Altura de la torre contra ángulo de blindaje.	29
Figura 17.-Ángulo de blindaje.	30
Figura 18.-Modelo geométrico para un solo hilo de guarda.	31
Figura 19.-Método de medición de resistencia de la red de tierra.	32
Figura 20.-Medición de la resistividad por el método de Wenner.	33
Figura 21.-Dirección de la medición para las torres.	33
Figura 22.-Características tensión-intensidad de los apartarrayos de ZnO y SiC.	36
Figura 23.-Característica típica de un varistor de óxido de Zinc.	37
Figura 24.-Tensión temporal del varistor de óxido de Zinc.	37
Figura 25.-Características general del apartarrayo con gap.	38
Figura 26.-Localización de puntos donde se presentaron falla originados por descargas atmosféricas en el 2018.	43
Figura 27.-Vista completa de localización de puntos donde se presentaron fallas originadas por descargas atmosféricas en el 2018.	43
Figura 28.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km ² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2018.	44
Figura 29.-.- Localización de puntos donde se presentaron falla originados por descargas atmosféricas en el 2017.	46
Figura 30.-Vista completa de localización en puntos donde se presentaron fallas originadas por descargas atmosféricas en el 2017.	46
Figura 31.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km ² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2017.	47
Figura 32.-Localización de puntos donde se presentaron falla originados por descargas atmosféricas en el 2016.	48
Figura 33.-Vista completa de localización en puntos donde se presentaron fallas originadas por descargas atmosféricas en el 2016.	49
Figura 34.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km ² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2016.	49
Figura 35.-Esquema de líneas que presentaron falla.	51
Figura 36.-Representación geográfica del disparo múltiple.	52
Figura 37.-Aislamiento de vidrio flameado de la línea 73750 estructura 4, fase B.	52
Figura 38.-Aislamiento de vidrio flameado con exceso de contaminación de la línea 73750 estructura 4, fase B.	53

Figura 39.-Aislamiento de porcelana flameada con exceso de contaminación y última disco explotado en la línea 73650 en la estructura 67, fase B.	53
Figura 40.-Aislamiento de porcelana flameada en los primeros discos parte superior en la línea 73650 estructura 67, fase B.	54
Figura 41.-Estructura 6 tipo TAS de suspensión soporta cuatro circuitos 73990, 73820, 73370, 73810, cuenta con dos hilos de guarda.	54
Figura 42.-Se percibe en la línea 73810 contiene en las tres fases aislamiento epóxico.	55
Figura 43.-Sustitución de aislamiento epóxico por aislamiento de vidrio en fase “A”, línea 73810.	55
Figura 44.-Instalación de Apartarrayo tipo ALEA, clase 2, en fase “A” y “B” en la línea 73810.	56
Figura 45.-Se observa tipo de suelo rocoso.	56
Figura 46.-Evidencia de varillas de tierra enterradas en pata 1, 2 y 4.	56
Figura 47.-Medición del sistema de tierra en la pata 3 a la estructura 6 en la línea 73810.	57
Figura 48.-Evidencia de aislamiento epóxico flameado, se observa contaminación por polvo y corrosión en la parte metálica superior del aislamiento.	57
Figura 49.-Se encuentra zona destrozada en la parte inferior del aro metálico y material degradado en los discos del aislador epóxico.	57
Figura 50.-Aislamientos dañados en el aro metálico y con marcar de flameo aislamiento 1 y 2 se encontraban en la línea 73370 en la fase “A” Y aislamiento 3 de la línea 73810 fase “A”.	58
Figura 51.-Estructura 71, tipo TAS soporta la línea 73350.	58
Figura 52.-Estructura número 71 aislamientos de vidrio contaminados en fase A, B Y C.	59
Figura 53.-Ubicación de la estructura número 124 de la línea 73450.	59
Figura 54.-La resistencia de la pata 1 tiene un valor de 0.390Ω , se detectan conectores de varilla inadecuados se requiere de soldadura para mejores resultados de uso.	60
Figura 55.-La resistencia de la pata 4 tiene un valor de 84.96Ω	60
Figura 56.-La resistencia de la pata 3 tiene un valor de 268Ω	60
Figura 57.-La resistencia de la pata 2 tiene un valor de 214.5Ω , aquí se trabaja para la mejora del sistema a tierra.	61
Figura 58.-Instalación de los 4 electrodos para realizar la medición de resistividad del terreno.	61
Figura 59.-Canal donde se realizaron las mediciones y resultados de la resistividad del suelo con distancia de 3 metros entre varillas.	62
Figura 60.-Se realiza la segunda medición.	63
Figura 61.-Se utiliza la escala de $3 \text{ k}\Omega$ a 4 polos, con una distancia de 4 mts entre electrodo.	63
Figura 62.-Se utiliza la escala de $300 \text{ k}\Omega$ a 4 polos, con una distancia de 4 mts entre electrodo.	63

Índice de Tablas.

Tabla 1.-Distancia mínima de trabajo.	8
Tabla 2.-Nivel de contaminación.	10
Tabla 3.-Clasificación de sobretensiones.	13
Tabla 4.-Clasificación de las sobretensiones según IEC 60070.	14
Tabla 5.-Distancias de incidencia con referencia al modelo geométrico para un hilo de guarda.	31
Tabla 6.-Resistividad promedio de la Tierra.	32
Tabla 7.-Resistividad de diferentes terrenos.	34
Tabla 8.-Historial de número de fallas originados por descarga atmosférica.	40
Tabla 9.-Datos estadísticos con especificaciones de las líneas que presentaron falla originada por descarga atmosférica en el 2018.	42
Tabla 10.-Nivel de DRT por km y temperatura que se encuentra según la ubicación de las estructuras que presentaron falla por impacto con descargas atmosféricas en el 2018.	45

Tabla 11.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km ² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2017.	48
Tabla 12.-Municipios donde se presentaron disparos en el 2016 y el nivel DRT km ² al año.	49
Tabla 13.-Datos obtenidos de inspecciones sobre mantenimiento al sistema de tierra.	50
Tabla 14.-Número de estructura y observaciones detectadas en líneas que presentaron falla.....	51
Tabla 15.-Propuestade línea 73990, 73L00 y 73T30.	69
Tabla 16.-Propuesta de línea 73650, 73810 y 73970.	69
Tabla 17.-Propuesta de línea 73510, 73S10 y 73820.....	69
Tabla 18.-Propuesta de línea 73800, 73840 y 73370.....	70
Tabla 19.-Propuesta de línea 73520 y 73530.....	70
Tabla 20.-Propuesta de línea 73730 y 73450.....	71
Tabla 21.-Propuesta de línea 73350 y 73750.....	71

Título

Estudio y análisis de la operación de apartarrayos tipo alea-clase 1 en líneas de subtransmisión de 115 kv.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Las redes eléctricas lamentablemente presentan con frecuencia disturbios transitorios conocidos como sobretensiones, que pueden ser de origen interno (fallas por maniobra,) o externo (descargas atmosféricas). En las internas las magnitudes se incrementan al aumentar el voltaje de operación del sistema que se forman como consecuencia de las oscilaciones entre las energías de los campos magnético y eléctrico producidas por un arco internamente, a su vez, se clasifican en dos sobretensiones de maniobra y sobretensiones de servicio.

La magnitud de las sobretensiones externas recae esencialmente en el diseño del sistema y como estas penetran en líneas aéreas desde la atmosfera a consecuencias de descargas atmosféricas directas caracterizadas como las más peligrosas, recayendo a la falta de análisis, estudio y cálculo de la distribución de protecciones y a su vez el nivel isocerámico del suelo, teniendo como factores importantes las condiciones climáticas y atmosféricas en la región.

El índice de fallas reportadas a la CFE en los equipos de protección para sobretensiones en las líneas de subtransmisión se deben en parte a los rastros de daños encontrados por descargas atmosféricas en el material de protección detectadas por los trabajadores, además de que los apartarrayos instalados no cuentan con pruebas de un estudio previo a la instalación lo que se encuentra poco confiable para promover como una solución segura.

Las líneas de subtransmisión cuentan con múltiples sistemas de protección tales como cables de guarda, sistemas de conexión a tierra para limitar los efectos de las descargas atmosféricas, pero cuando un rayo viola el blindaje e incide directamente en los conductores de fase provoca flámeo directos de los aislamientos o en caso de caer en un hilo de guarda o directamente en la torre y está por diferentes factores presenta alta impedancia.

Generando ondas reflejadas que al sobrepasar el nivel de aislamiento al impulso por rayo provoca flámeos inversos en las cadenas de aisladores o incluso pueden llegar a equipos primarios de las subestaciones con lo que se puede dar la salida de operación la línea. Teniendo como principal razón el dictamen de un sistema de protección efectivo para limitar sobretensiones y contar con análisis para su instalación o reubicación si este sea necesario para los apartarrayos sin dejar a la deriva las posibles consecuencias severas si no se evita que las fallas persistan en zonas críticas.

1.2 Estado del Arte

Oscar Jonathan Amaro Sánchez, Héctor Miguel Ortiz Rivera, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. “Metodología Para La Optimización En La Aplicación De Apartarrayos De 400 Kv” Proponer una metodología que optimice la protección contra descargas eléctricas de origen atmosférico en líneas de transmisión de 400 kV mediante la instalación de apartarrayos de óxidos metálicos, basados en el modelo de una red de potencia aplicado al ATP Draw. [1]

Enrique Zapata Pérez, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. Protección de líneas de distribución, contra descargas atmosféricas con apartarrayos de óxidos metálicos. Estudio de coordinación de aislamientos y guías para sobretensiones para la continuidad, calidad y seguridad del sistema eléctrico, limitar sobretensiones con protecciones de óxidos metálicos en líneas de distribución y la afectación por contaminación. [2]

José Roberto Duarte Gómez, Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad Zacatenco, México, D.F. “Blindaje en líneas de transmisión”, Tiene como propósito dar a conocer la importancia de proteger una línea de transmisión mediante el blindaje en base a métodos analíticos, normativos y la adecuada instalación del equipo que se requiere para el blindaje para las líneas de transmisión. [3]

Fernando Elizarraraz Rivera, Sergio A. Corrales Sánchez, Dirección de Modernización Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales, Informe No: K3411-18-2014 “Análisis de falla de apartarrayos de línea tipo ALEA con gap en aire de las líneas pertenecientes a la CFE Zona de Distribución Los Ríos.” Tiene como propósito identificar el modo de falla de los apartarrayos Marca MAPPEC tipo ALEA, clase 1, planteando hipótesis de la falla raíz más probable comprobándolo en base las pruebas realizadas por LAPEM. [4]

Verónica Avelar Mondragón, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” México D.F. “Análisis De La Aplicación De Apartarrayos En Sistemas Eléctricos De Potencia Mediante Simulación” analiza el efecto de descargas atmosféricas de impacto directo en redes de transmisión empleando el programa de simulación de transitorios electromagnéticos ATP-Draw/EMTP. [5]

Lo que aquí se propone como proyecto es implementar un dictamen técnico a base de cálculos, estudio y análisis para la óptima distribución de los apartarrayos tipo ALEA clase 1 en las líneas de subtransmisión 115kv con la finalidad de limitar las fallas por descargas atmosféricas en el sistema eléctrico tomando como factores esenciales el estudio del diseño de las protecciones como aspectos ambientales del estado de Chiapas.

1.3 Justificación

En el sistema eléctrico nacional las líneas de subtransmisión en 115 kV son de suma importancia siendo este el medio físico el cual se distribuye la energía eléctrica, que al impactar una descarga atmosférica provocan pérdidas severas tanto económicas, ambientales

y sociales. Es ahí donde se propone para el sistema de líneas de subtransmisión zona Tuxtla tener como prioridad alcanzar la eficiencia del sistema de distribución en alta tensión y contribuir a impulsar el desarrollo de la infraestructura básica y de servicio eléctrico con cada usuario en convenio a CFE.

El impacto económico en función de Comisión federal de electricidad en pérdidas de suministro de potencia elevando los costos si en cierto caso la línea llegara a salir de operación, aumentando el costo de equipos de protección, aisladores, o si la falla abarca a ser un disparo múltiple o alcanzar a dañar equipos en la subestación más propensa a recibir el impacto entre otros elementos de poner en riesgo la confiabilidad de la empresa con cada uno de los usuarios.

razones por las cuales en base a la necesidad de diseño y análisis se demostrara empleando la metodología apropiado para la selección y aplicación efectiva de apartarrayos tipo ALEA clase 1, clase 2 y clase 3 sea la indicada en cada caso, en base un análisis de investigación técnico y estadístico para su correcta ubicación y distribución en la línea mejorando el nivel de protección, mencionando los beneficios que el sistema de protección en subtransmisión logre la reducción de las salidas por descargas atmosféricas ubicadas en zonas de terreno partidario a recibir más impactos por rayos.

1.4 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema analítico que optimice la protección contra disparos transitorios de origen atmosférico en líneas de subtransmisión de 115kV mediante la ubicación eficaz de apartarrayos tipo ALEA, tomando en cuenta los parámetros económicos factibles para CFE planteando hipótesis de los factores que originan fallas transitorias e implementando métodos confiables para la ubicación y distribución adecuada de los apartarrayos estudiando el historial de las condiciones en las líneas.

- Estudiar y analizar los efectos por sobretensiones de origen atmosférico en líneas de subtransmisión de 115 kV determinando los riesgos a los que se someten las cadenas de aisladores.
- Determinar si los sistemas de protección como blindaje y sistema puesta a tierra de las líneas que presentan falla se encuentra en buenas condiciones para evitar problemas en aislamientos.
- Justificar por qué se debe estudiar detalladamente la zona de instalación de apartarrayos tipo ALEA clase 1 para proteger las líneas de subtransmisión 115 kV.
- Detallar los criterios a seguir para la ubicación óptima de apartarrayos a lo largo de la línea de subtransmisión en zonas rurales.

- Estudiar factores ambientales, cerámico, geográficos de la zona y maniobras rutinarias donde se presentaron disparos transitorios críticos en las líneas.

1.5 Metodología

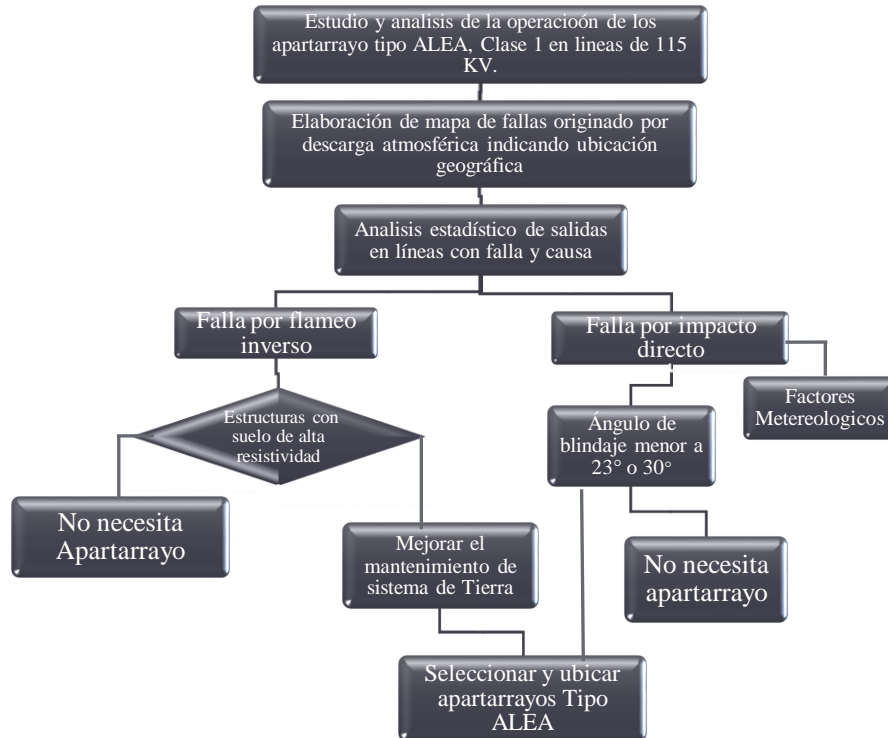


Figura 1.-Diagrama a bloques del hardware.

Título del método.-Estudio y análisis de la operación de apartarrayos tipo alea-clase 1 en líneas de su transmisión de 115 kv. **Elaboración de mapa de fallas por descarga atmosférica indicando ubicación geográfica.**- Se analizaran datos estadísticos en donde se encuentran instalados apartarrayos con ayuda del google Earth .**Análisis estadístico de salidas en las líneas con falla y causas.**-Posteriormente se procederá a indicar los apartarrayos instalados que presentaron fallas.

Obteniendo análisis estadísticos en las salidas de las líneas de subtransmisión.**Falla por impacto directo.**- corroborar que el blindaje con hilos guarda sea eficiente para la línea y analizar la geometría de la línea. **Factores Meteorológicos.**-Es necesario el estudio del estado del tiempo atmosférico y las condiciones climáticas de las zonas en las que se presentaron disparos en las líneas de subtransmisión.

Ángulo de blindaje menor en base a norma.- Pruebas en el laboratorio indican que un buen ángulo promedio es de 30 grados, sin embargo se encontró que si la torre esta recta sobre una ladera el ángulo debería ir decreciendo con respecto al gradiente de ladera. Si no es menor al ángulo de blindaje **no necesita apartarrayo** de lo contrario se optara por la **Selección y ubicación de apartarrayos tipo ALEA.**

Se llegara al fin de realizar con las características de operación que los parámetros de la línea determinaran y se deberá coordinar para su buena operación, realizando los ajustes necesarios para que quede garantizada su operación. **Falla por flameo inverso.**- Se analizará en base el perfil del dictamen en las inspecciones mayores, menores y aéreas que los lineros detecten, cabe destacar que se debe realizar un estudio de la parte de la línea donde la medición de resistencia al pie de la torre los aisladores se encontraron flameados.

Estructuras con suelo de alta resistividad.-Estudios de campo para la detección de alta resistividad del suelo así como detección de torres con alta impedancia a su pie. De no encontrar mediciones altas en resistencia **no se necesita instalar apartarrayo**, de lo contrario se contribuirá a **Mejorar el mantenimiento del sistema de tierra.**-Realizar estudios de la naturaleza del suelo composición química y donde se encuentra ubicada la torre por consiguiente se llevara a cabo la **Selección y ubicación de apartarrayos tipo ALEA.**

2 Fundamento Teórico

2.1 Generalidades

Las divisiones de distribución, juegan un papel muy importante en el mantenimiento y la operación de las Líneas de Alta tensión en el Sistema Eléctrico Nacional, el cual está expuesto a incidencias de salidas por diferentes causas que las originan, mismas que se han clasificado en normalizadas y no normalizadas.

Causas Normalizadas. Las salidas de líneas por causas normalizadas las comprenden dos grupos.

Primer grupo, le corresponden aquellas salidas debidas a componentes de la propia línea o imputables al mantenimiento de las mismas como:

- Estructuras
- Herrajes y accesorios
- Aisladores
- Conductores de fases o cable de guarda
- Equipo de seccionamiento
- Control o telecomunicaciones

Segundo grupo, se le asigna aquellas causas ajenas a las líneas y que tienen la influencia de las condiciones atmosféricas de los lugares que atraviesa en su trayectoria como:

- Brecha
- Contaminación
- Descargas atmosféricas
- Vientos fuertes
- Quema de caña o vegetación
- Impacto de choque

Causas no normalizadas. Las salidas de las líneas por causas no normalizadas, comprenden aquellas originadas por actividades que realiza el personal encargado de la operación de las mismas, fenómenos atmosféricos y acciones ilícitas, como:

- Maniobras y libranza
- Pruebas
- Ciclones
- Sismos
- Vandalismo y robo de conductor
- Falla de equipo en instalaciones extremas
- Disturbios en el Sistema Eléctrico
- Fallas técnicas
- Falta de Energía

2.1.1 Marco Jurídico

Leyes:

Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica DOF 27-XI-1983 última reforma DOF22-XII-1993.

Reglamentos:

Reglamento de Ley del Servicio Público Energía Eléctrica DOF 31-V-1983 última reforma DOF25-XII-1997.

Reglamento de Seguridad e Higiene en Trabajo CFE edición –IV- 1999.

Reglamento denominado “Reglas de despacho y Operación del sistema Eléctrico Nacional” Dirección de Operación edición-X-2001.

Normas:

Norma oficial Mexicana NOM-008 SESF1CFI-1993, sistema general de unidades de medida

Norma oficial Mexicana NOM 001 SEDE-1999 instalaciones eléctricas DOF 27-IX-1999.

Normas de Seguridad

- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo CFE
- Capítulos 800 Trabajos en Transmisión
- Capítulos 100 Trabajos de Distribución

2.1.2 Tipos de Mantenimiento

Con el fin de garantizar la continuidad en el suministro de Energía Eléctrica, y la conservación en forma oportuna de los elementos o componentes que conforman las líneas, se hace necesaria la elaboración de un programa de mantenimiento en el Sistema Integral de Administración de Distribución (SIAD).

Las actividades de inspección y mantenimiento son asignados a grupos de trabajo denominados cuadrillas, conformadas con los elementos necesarios para la ejecución de las mismas.

Para la ejecución de los trabajos de mantenimiento de líneas, es importante describir al personal de campo en forma sencilla y precisa la o las actividades a realizar en un trabajo.

Para realizar los trabajos de inspecciones y mantenimiento de líneas de alta tensión, se forma cuadrillas de 2, 4 y 8 elementos, siendo la unidad de trabajo. Toda cuadrilla deberá tener un responsable que es quien dirigirá el trabajo asignado.

Generalmente para el mantenimiento de una línea de alta tensión, se aplican los siguientes tipos de mantenimiento:

a) Mantenimiento Predictivo

Tiene la finalidad de combinar las ventajas de dos tipos de mantenimiento preventivo y correctivo para lograr el máximo tiempo de operación y eliminar el trabajo innecesario. Lo cual exige mejores técnicas de inspección y medición para determinar las condiciones de la línea de alta tensión, con un control más riguroso que permite la planeación correcta y efectuar las inspecciones y pruebas verdaderamente necesarias.

b) Mantenimiento Preventivo

Tiene como objetivo evitar las interrupciones de las líneas, mejorando la calidad y continuidad en su operación, y es consecuencia de las inspecciones programadas.

c) Mantenimiento Correctivo

Es el que se realiza en condiciones de emergencia, de aquellas actividades que quedaran fuera del control del mantenimiento preventivo, buscando tener recursos a fin de lograr el menor tiempo de interrupción. Este tipo de mantenimiento no es deseable, ya que afecta la disponibilidad de la línea.

2.1.2.1 Mantenimiento a realizar para el programa de actividades

- Inspección Mayor
- Inspección Menor
- Patrullaje o Inspección Aérea
- Inspección de Brechas por terceros
- Control de quema de Caña y Maleza
- Medición de Resistencia a Tierra
- Detección de puntos calientes
- Cambio de aislamiento con línea energizada
- Cambio de aislamiento con línea des energizada
- Reapriete de Herrajes
- Sustitución de Empalme de Conductor o Guarda
- Sustitución de conectores de hilo de guarda
- Sustitución del cable de guarda
- -Lavado de aislamiento en vivo

2.1.2.2 Precauciones cuando se trabaja a potencial a tierra

La distancia mínima de trabajo es obtenida de la distancia mínima de aislamiento en aire para la tensión de la línea más un factor por movimientos inadvertidos. Las tensiones utilizadas en México se muestran en la siguiente tabla.

Tensión fase a fase en kv	Distancia a emplear en m
0.05-0.30	EVITE CONTACTO
2.44- 13.75	0.6
15.1- 36.0	0.75
115	1.5
161- 169	1.75
230	2.5
400	4.4

Tabla 1.-Distancia mínima de trabajo.

2.1.2.3 Contaminación en aislamientos externos de Líneas de Alta Tensión

Este procedimiento tiene la descripción del proceso de contaminación tanto en aisladores sintéticos como cerámicos y la clasificación de la contaminación utilizada en México. Así mismo se describe las principales alternativas de solución al problema de contaminación en aislamientos y el proceso de lavado en vivo.

La demanda de la Energía Eléctrica ha crecido más rápidamente, para poder satisfacer la demanda del usuario, fue necesario incrementar la tensión nominal así como reducir las fallas en el aislamiento externo de líneas y subestaciones. Esto motivó nuevas investigaciones en materiales, recubrimientos o nuevos perfiles del aislamiento. Donde definieron a la contaminación como una de las más frecuentes causas de falla en aislamientos externos.

2.1.2.4 Clasificación de la contaminación

México es un país con una gran variedad de climas y suelos, la contaminación ambiental en aislamientos externos es la 2ª causa más frecuente de falla en líneas de Alta Tensión y subestaciones de energía eléctrica. La severidad del nivel de contaminación está directamente asociada tanto con la climatología como con el tipo de contaminante de la región. La clasificación se clasifica en base su origen, composición química y el nivel de severidad.

De acuerdo a su origen, la contaminación se clasifica en:

a) Contaminación Rural.

La contaminación rural asociada fundamentalmente con la rama agropecuaria, presenta niveles bajos de contaminación. Es causa de las diversas variables meteorológicas (viento, temperaturas de bulbo seco y húmedo, presión barométrica, etc.), sobre el relieve, el suelo del lugar, la localización y altura dependiendo que región se trate.

b) Contaminación Industrial

Es producida por la emisión de desechos industriales a la atmosfera, principalmente a través de sus chimeneas, depende de la actividad económica del lugar, este tipo de contaminación puede ser controlado, su nivel y el tipo de contaminante que predomina depende de la cercanía del foco de emisión y de la industria que la produce.

c) Contaminación Marina

Es generada por la brisa marina, por la cual tiene una dirección de mar a tierra por lo que lleva un alto contenido de sal con un grado de humedad elevado. Estos aislamientos se ven expuestos a condiciones severas de contaminación y depende en gran medida de las condiciones meteorológicas predominantes.

d) Materia Soluble

Está formada por partículas sólidas de elementos químicos cuyo índice de disolución en agua es alto. Desde el punto de vistas eléctrico, la materia soluble (llamada comúnmente sal), es la que permite la conducción eléctrica de fase a tierra a travesar de la superficie del aislador.

e) Materia Insoluble

Generalmente la materia insoluble no contribuye en la conductividad eléctrica, pero si influye en la tensión de flameo debido a su capacidad para retener agua. Un ejemplo de material insoluble es el caolín.

f) Ligera

Las áreas de contaminación ligera deben estar situadas por lo menos de 10 a 20 Km. Del mar y no deben estar expuestas a vientos directamente del mar. Algunas áreas de contaminación ligera son las siguientes:

- Áreas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción
- Áreas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvia
- Áreas agrícolas
- Áreas montañosas

g) Media

Este nivel de contaminación se encuentra en:

- Áreas con industrias que no producen humo particularmente contaminante y/o con una densidad promedio de casa equipadas con calefacción

- Áreas con alta densidad de casas y/o industrias sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias
- Áreas expuestas a vientos del mar pero no demasiado cercas de la costa

h) Alta

Este nivel de contaminación se encuentra en:

- Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de calefactores que producen contaminación
- Áreas expuestas al mar o expuestas a fuertes vientos del mar

i) Muy Alta

Este nivel se encuentra en:

- Áreas de extensión moderadas sujetas a polvos productivos y a humos industriales que producen depósitos conductivos
- Áreas de extensión moderada, muy cerca de la costa y expuestas a brisa del mar o vientos fuertes
- Áreas desérticas caracterizadas por grandes periodos sin lluvia que llevan arena, sal y sujetas a condensación regular.

En la siguiente tabla se expresa el nivel de DESD, la medición de DESD es un método económico para identificar el nivel de contaminación de un aislador, es método fue ideado para contaminación salina, donde el contaminante principal es altamente soluble (NaCl).

Niveles de contaminación	DESD (mg/cm ²)
Muy ligera	Menor que 0.03
Ligera	0.03-0.06
Media	0.06-0.12
Alta	0.12-0.24
Muy alta	0.24-0.48
Excepcional	Mayor que 0.048

Tabla 2.-Nivel de contaminación.

De acuerdo a la norma IEEE 957, se han identificado 8 tipos de contaminantes como los mas comunes a encontrar, sobre la superficie de un aislador y que afectan el desempeño del aislamiento, mismas que se indican a continuación:

- ❖ Sal
- ❖ Cemento
- ❖ Polvo
- ❖ Excremento
- ❖ Productos Químicos
- ❖ Smog (Emisiones Vehiculares)
- ❖ Emisiones De Torres De Enfriamiento
- ❖ Humo (Incendios, Fábrica De Tabiques, Etc.)

2.2 Parámetros importantes de la línea.

Un objetivo común en el diseño de las líneas de transmisión es tener un promedio de menos de 0.50 desconexiones al año causados por rayos por cada 100 millas de líneas de transmisión. Para una línea aérea determinada, con un voltaje nominal específico, los siguientes factores afectan este objetivo de diseño:

- 1) Altura de la torre.
- 2) Número y ubicación de cables de blindaje.
- 3) Número de discos de aisladores estándar por hilo de fase.
- 4) Impedancia de torre e impedancia de torre a tierra.

Es bien sabido que los rayos caen en objetos altos. Por lo tanto, las estructuras con marco en forma de H, más cortas, son menos susceptibles a las descargas atmosféricas que las torres en celosía más altas. También las longitudes de claro más cortas con más torres por kilómetro reducen el número de impactos. Los alambres de blindaje instalados arriba de los hilos de fase los protegen de manera eficaz de las descargas atmosféricas directas.

Por experiencia se sabe que la probabilidad de un impacto directo en los hilos de fase localizados dentro de arcos de $\pm 30^\circ$ debajo de los hilos de guarda se reduce un factor por un factor de 1000. Por consiguiente se espera que algunas descargas caigan en estos alambres de blindaje aéreos. Cuando esto ocurre, las ondas de corriente y voltaje que viajan se propagan en ambas direcciones a lo largo del alambre de blindaje que recibe el impacto.

Cuando una onda llega a una torre, una onda reflejada regresa hacia el punto donde cayó el rayo, y aparecen dos ondas refractadas. Una de ellas se mueve a lo largo del alambre de blindaje hacia el claro siguiente. Puesto que el alambre de blindaje está conectado eléctricamente a la torre, la otra onda refractada desciende por la torre y su energía se desvía a tierra sin daño alguno. Sin embargo, si la impedancia de la torre o la impedancia torre a tierra es demasiada alta.

Los voltajes IZ producidos podría exceder la resistencia al rompimiento de los discos de los aisladores que sostienen los hilos de fase. El número de discos aisladores por cuerda se selecciona para evitar el salto del arco aislador. Asimismo, las impedancias de torre y las resistencias de cimentación se designan tan bajas como sea posible. Si la construcción inherente de la torre no da una baja resistencia de manera natural, se utilizan varillas de conducción a tierra. En ocasiones se utilizan conductores enterrados que se extienden por debajo de la línea llamados contrantenas.[7]

2.2.1 Tipos de torres y su geometría.

Las líneas de transmisión aéreas son constituidas principalmente por torres de transmisión es por ello que se debe reconocer el tipo de torre de transmisión para el análisis de su geometría e impedancia que tiene tanto propia y al pie de ella. [1]

Por su función:

- Torres de remate.
- Torres de tensión.
- Torres de suspensión.
- Torres de flexión.
- Torres de transposición.
- Estructuras de emergencia ERS.

Por su construcción:

- Autosoportadas de celosía.
- Autosoportadas tubulares.
- Con retenidas.
- Modulares

Por su material de construcción:

- Madera.
- Concreto.
- Tubo de acero.
- Celosía de acero.
- Tubo de acero relleno de concreto.

Por su arreglo de conductores:

- Portal.
- Delta.
- Nivel sencillo.
- Dos niveles.
- Tres niveles.
- Barril.

2.2.2 Sobretensiones en los sistemas de potencia

En 1995 se realizó un monitoreo sistemático en varios alimentadores para determinar los parámetros que definen la calidad de la energía; se encontró que en términos generales la distorsión armónica no representa por el momento un problema relevante tanto para los usuarios como para la red de distribución. El problema de mayores efectos que indico el estudio se relaciona con los abatimientos de voltaje. [2]

En los sistemas eléctricos de potencia con frecuencia se presentan sobretensiones de distintos tipos que pueden provocar flameo en el aislamiento del equipo si no son protegidos adecuadamente, en consecuencia pueden ocurrir problemas severos como es la pérdida del suministro de potencia en una línea de transmisión o la salida de servicio de una subestación. Una sobretensión es una tensión anormal cuyo valor pico es superior al valor pico de operación normal de un equipo por una falla, maniobra o descarga atmosférica

Una sobretensión es cualquier valor de tensión entre un conductor de fase y tierra o entre conductores de fase, que tiene un valor pico que excede al correspondiente valor pico de la tensión máxima del equipo. Debido a que una sobretensión es variable en el tiempo y tiene un carácter aleatorio es difícil de representar, por esta razón sus parámetros tales como: duración, amplitud y efectos en el sistema son sólo una aproximación que si es adecuada es bastante efectiva.[1]

El principal riesgo de los equipos durante una sobretensión es la afectación o destrucción del aislamiento que puede dar origen a la pérdida de continuidad del suministro de energía. Aunque las causas de las sobretensiones son muchas, así como los parámetros y variables que intervienen en cada categoría, es posible distinguir unos pocos parámetros cuya influencia será decisiva en la mayoría de los casos [5].

a) Valor de cresta: Es el valor máximo de una sobretensión y depende de ciertos factores, según sea la causa de origen. Los factores de mayor influencia son el instante de impacto del

rayo, impedancia característica de la línea, cables y equipos, coeficientes de reflexión en los puntos de transición cercanos al impacto y la resistencia de puesta a tierra de la torre.

b) Frecuencia de las oscilaciones: Son originadas por la frecuencia de las fuentes que alimentan la red lo cual el modelo matemático incluye una representación con parámetros distribuidos. La frecuencia natural de un circuito es el resultado de intercambio de energía entre el campo eléctrico y el campo magnético, y depende de los valores de sus parámetros no disipativos (L y C):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

En el caso de una línea o cable, la frecuencia de las oscilaciones originadas por reflexiones de ondas entre sus extremos se da por la siguiente expresión. Donde τ Tiempo de propagación en la línea, cable o conductor.

$$f = \frac{1}{4\tau}$$

Si la sobretensión es unidireccional (no oscilatoria) originada por un rayo, el tiempo de la cresta dependerá especialmente del tiempo a la cresta de la descarga atmosférica, en el orden de microsegundos.

a) Duración: Depende esencialmente de la causa y amortiguamiento de equipos de la red. También es necesario dar una clasificación a las sobretensiones; lo cual se va a hacer de forma general:

Clasificación de sobretensiones	Descripción
Sobretensiones Externas(causadas por agentes externos al sistema)	Sobretensiones de descarga atmosférica (impacto de un rayo)
Sobretensiones Internas (causadas por el propio sistema)	-Sobretensiones Temporales (oscilaciones ligeramente amortiguadas causadas por rechazo de carga, liberación de línea fallada y recierre). -Sobretensiones por Maniobra (operación de cierre y apertura de interruptores)

Tabla 3.-Clasificación de sobretensiones

2.2.3 Formas de onda normalizada.

La norma IEC 60071-1 clasifica las sobretensiones de forma más específica, considerando su duración, frecuencias de oscilaciones, tiempos de frente y cola en dos grupos [6]. Baja frecuencia: Son de larga duración y de frecuencia igual o próxima a la frecuencia de operación, a su vez se dividen en permanente y temporal. El objetivo de verificar en el laboratorio las simulaciones el comportamiento de los aislamientos frente a los diferentes tipos de sobretensiones, se han establecido formas de onda normalizadas.

La amplitud de la corriente de descarga, referida como valor pico o de cresta de la onda de corriente corresponde al valor máximo alcanzado por la corriente, usualmente las ondas de la primera corriente corresponden al valor de descarga negativa y presentan dos picos, siendo

en la mayoría de las veces el segundo superior al primero, En la perspectiva de la aplicación en ingeniería para la protección de sistemas eléctricos contra descargas, este sería el parámetro físico de la corriente de descarga o del rayo.

CLASES	BAJA FRECUENCIA		TRANSITORIOS		
	PERMANENTE	TEMPORAL	FRENTE-LENTO	FRENTE-RAPIDO	FRENTE-MUY-RAPIDO
FORMA DE TENSION					
LIMITES DE LAS FORMAS DE TENSION	$f = 60 \text{ Hz}$ $T_d \geq 1 \text{ h}$	$50 < f < 500 \text{ Hz}$ $0.03 < T_d < 3600 \text{ s}$	$30 < T_f < 3000 \mu\text{s}$ $0.3 < T_d < 30 \text{ ms}$	$0.3 < T_f < 30 \mu\text{s}$ $3 < T_d < 300 \mu\text{s}$	$3 < T_f < 300 \text{ ns}$ $0.3 < f < 100 \text{ MHz}$ $30 < T_d < 300 \text{ kHz}$ $0.03 < T_d < 3 \text{ ms}$
FORMA DE TENSION NORMALIZADA	$f = 60 \text{ Hz}$ $T_d = (*)$	$48 \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_d = 1 \text{ min}$	$T_f = 250 \mu\text{s}$ $T_d = 2500 \mu\text{s}$	$T_f = 1.2 \mu\text{s}$ $T_d = 50 \mu\text{s}$	bajo consideración
PRUEBA DE AGUANTE NORMALIZADA	Prueba a la frecuencia del sistema de larga duración	Prueba a la frecuencia del sistema de corta duración	Prueba de impulso por maniobra	Prueba de impulso por rayo	(impulso cortado) bajo consideración

Tabla 4.-Clasificación de las sobretensiones según IEC 60070.

Considerando de mayor interés ya que determina los niveles máximos de sollicitación impuesta por la corriente del rayo a los componentes del sistema, como ejemplo pueden ser los aisladores de una línea de transmisión alcanzada por un rayo y la máxima elevación de potencial en el suelo. Las dos cantidades son prácticamente proporcionales al valor pico de la corriente, por lo que es un parámetro crítico para el dimensionamiento del aislamiento. [3]

-Tensión permanente a frecuencia industrial o sistema: Tensión aplicada permanentemente con valor eficaz constante y frecuencia de operación de la red.

-Sobretensiones temporales: Son de la larga duración (desde varios milisegundos a varios segundos), y de frecuencia igual o próxima a la frecuencia de operación. Transitoria: Son de corta duración (ms), oscilatoria y muy amortiguada, se subdivide en:

-De frente lento: Es oscilatoria, con un tiempo de frente entre 200 y 5000 μs y con un tiempo de cola menor a 20 ms.

-De frente rápido: Es unidireccional, con un tiempo de frente entre 0.1 y 20 μs y con un tiempo de cola menor a 300 μs .

-De frente extra rápido: Oscilatoria, con un tiempo de frente inferior a 0.1 μs 5000 μs , duración inferior a 3ms y oscilaciones de 30kHz y 100MHz.[1]

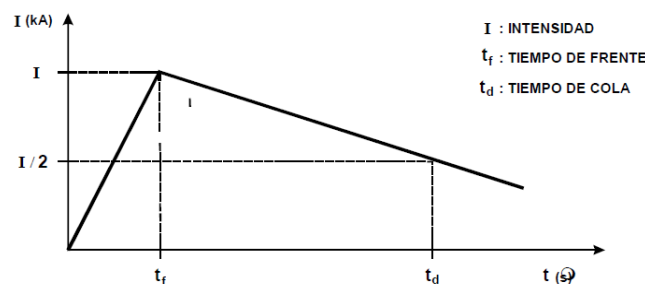


Figura 2.-Onda normalizada de impulsos atmosféricos. [3]

2.2.4 Efectos de las descargas atmosféricas

De las ondas debidas a rayo, solo llegan a la subestación aquellas cuya magnitud es inferior al nivel de aislamiento de la línea y que, por lo tanto, no alcanzan a contornear los aisladores de la instalación. Estas ondas pueden ser de polaridad positivas, predominando esas ultimas. A la hora de diseñar nuestro sistema de protección contra efectos atmosféricos debemos tener en cuenta que deben cubrirse las siguientes necesidades.

El rayo corresponde a una descarga eléctrica en la atmosfera, que se produce entre una nube y la superficie, o entre dos nubes. El aire, desde el punto de vista eléctrico es un buen aislante. Sin embargo, cuando la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos supera un cierto valor límite, en torno a los 30.000 volts, se produce la ruptura dieléctrica de este, haciendo que el aire sea conductor eléctrico y se produzca una masiva descarga eléctrica en la forma de un rayo.

En su trayectoria, el rayo transporta corrientes eléctricas que pueden llegar como término medio a 30.000 Amper (en el hogar, las intensidades eléctricas están en torno a los amperios con voltajes de 220V) durante millonésimas de segundo con potenciales que se han llegado a estimar en valores que sobrepasaban los 15 millones de voltios, pudiendo llegar incluso a los 200 millones.

El aumento de temperatura en los puntos por donde pasa la descarga (hasta un valor cercano a 30.000°C) y el brusco aumento de presión debido al calentamiento asociado generan una gran luminosidad (relámpago) y ondas de sonido que constituyen el trueno. La velocidad de propagación del sonido en el aire es del orden de 1200 Km/h de modo que el tiempo transcurrido entre el avistamiento del relámpago y el trueno permite estimar la distancia del observador al punto de ocurrencia del rayo.

El rayo que cae al suelo produce la fulgurita (del latín fulgor, relámpago), nombre que se le da en mineralogía a las rocas cuya superficie ha sido fundida por rayos y también a los agujeros característicos que se forman en las rocas a causa del mismo agente. Diariamente en el mundo se producen unas 44.000 tormentas y se generan más de 8.000.000 de rayos según el sistema de detección mundial de meteorología.

Se calcula que aproximadamente solo el 60% de los rayos producen truenos, esto se debe a que a menudo las ondas de varios rayos consecutivos se mezclan para formar uno o se anulan mutuamente. El sonido tiende a rebotar en las moléculas que hay en el aire lo que hace que el sonido viaje en todas direcciones, por lo tanto, mientras más lejana este la fuente del sonido, mas distorsionado será el sonido.

Las nubes no son elementos eléctricamente neutros, se sabe que la zona inferior de las nubes de tormenta tiene densidad de carga negativa, mientras que la superior la tiene positiva. A pesar de que no existe una teoría que explique en su conjunto el fenómeno de ionización de las nubes, una de las investigaciones más extendida apunta que las gotas grandes de vapor de agua en suspensión al ser empujadas por una fuerte corriente ascendente de aire, se quedan cargadas positivamente.

Mientras que el aire a su alrededor queda cargado negativamente, la distribución de carga negativa en la parte inferior de la nube hace que en la región de tierra que se encuentre debajo de ella aparezca una distribución de carga positiva, la diferencia de potencial entre la zona superior de la nube y la inferior o entre la inferior y la tierra, puede ser tan elevada que puede llegar a los 10.000 volts.

Alcanzados esos 10.000 volts el aire, que normalmente es aislante, deja pasar e exceso de carga negativa, produciéndose el fenómeno del rayo o el relámpago. Este valor de tensión de ruptura varía con las condiciones atmosféricas, y es favorecido por la humedad ambiental “Denominados rayo” a la descarga eléctrica ente una nube y la tierra, mientras que se denomina “relámpago” a la descarga producida en el interior de la nube. [2]

2.2.5sobretensiones por descarga atmosféricas.

Las tormentas eléctricas ocurren siempre que hay una separación de carga eléctrica en gran escala en la atmosfera, la descarga atmosférica es un destello luminoso en el cielo que proviene de una nube tipo cumulonimbus durante una tormenta. El fenómeno se debe a la cantidad de carga eléctrica de diferente polaridad almacenada en diferentes partes de dicha nube, se distinguen los siguientes tipos de fenómenos eléctricos atmosféricos: [3]

-Rayo intra-nube: Es el tipo más común de descarga. Ocurre entre centros de carga opuestos dentro de la misma nube de tormenta.

-Rayo entre- nubes: Ocurre entre centros de carga en dos diferentes nubes con la descarga recorriendo el espacio de aire que hay entre ellas, que puede llegar a 20 Km.

-Rayo nube- tierra: Es el más dañino y peligroso aunque, por fortuna, no es el más común. La mayoría se originan cerca del centro de carga negativo de la nube de tormenta y liberan carga negativa hacia la tierra.

Existen otros fenómenos eléctricos tales como las descargas de efecto corona, comúnmente conocidas como “fuegos de San Telmo” pero tienen mucha menor intensidad. Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencia y alta corriente, por ello, son causa de interferencias en sistemas electrónicos. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se requiere de las técnicas para señales en altas frecuencias. [2]

Cuando las partículas de agua empiezan interactuar por los efectos del viento en una cumulonimbos están a colisionar se fracturan y separan bajo la influencia de corrientes ascendentes y la fuerza de la gravedad provoca que acumulen en la parte inferior de la nube granizo y copos de nieve cargados eléctricamente y así las partículas más ligeras de cristales de hielo y gotas de agua súper congeladas cargadas positivamente se acumulan en la parte superior de la nube.

Esta separación de carga produce un campo eléctrico dentro de la nube y en las regiones de la nube con cargas de polaridad opuesta. Una vez que el campo eléctrico alcanza una rigidez dieléctrica crítica ocurre una descarga formándose un canal líder comienza en la base de la

nube, cambia su dirección en intervalos; con forme el canal líder se acerca a tierra se empieza a formar un canal líder positivo.

Estas nubes son un cumulo extremadamente denso que se desarrolla de forma vertical y con un extremo superior en forma de glacial. Se extiende por más de 40 km y así se forman tormentas. [3]

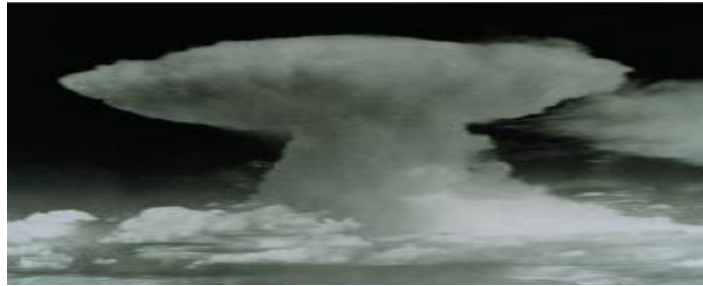


Figura 3.-Nube cumulolimbus.



Figura 4.-Descarga de nube a tierra.



Figura 5.-Descarga de nube a nube.



Figura 6.-Descarga durante un tornado y Descarga intra- nube o tipo sabana.

También existen descargas atmosféricas en la alta atmosfera como son los blue jet, red sprites y los Elve. Los blue jets son descargas luminiscentes que son expulsadas de la parte alta de una nube de tormenta, se propagan en forma de cono muy delgados, tienen una velocidad vertical de 100 km/s se propagan y desaparecen a una altitud entre 30-40 km. Las redes sprites son destellos luminosos que aparecen en la parte superior de las nubes de tormenta, ocurren cuando se presentan descargas intra- nubes o nube a tierra.[3]

2.2.6 Formación de las descargas atmosféricas

Cuando el campo eléctrico alcanza una rigidez dieléctrica crítica ocurre una descarga formándose un canal líder que es un canal súper caliente por el cual viajan electrones de la nube a tierra, este canal líder comienza en la base de la nube, cambia su dirección en intervalos; con forme el canal líder se acerca a tierra se empieza a formar un canal líder positivo, este líder es originado desde tierra a la nube y viaja hasta encontrarse con el canal líder negativo proveniente de la nube.

El líder negativo y el líder positivo se conectan electrones de carga negativa fluyen de la nube a tierra (carga positiva) esta descarga es conocida como descarga o rayo de retorno. La cantidad de carga negativa disponible en la nube determina a cantidad de carga positiva de la carga de regreso.

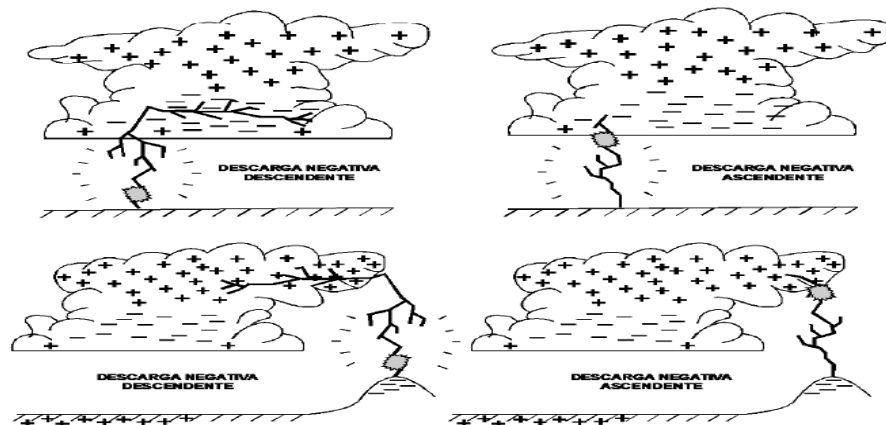


Figura 7.-Clasificación de las descargas nube- suelo por su polaridad.

El efecto luminoso se percibe en ese instante ya que se propagan a la velocidad de la luz ($V_{luz} = 300 \times 10^6$ m/s). El canal de la guía experimenta temperaturas altas debido a la neutralización ya antes descrita. Los canales tienen un radio de unos cuantos centímetros y es ionizado térmicamente y es lo ya antes explicado el efecto luminoso que uno identifica como rayo, una descarga puede consistir en uno o más rayos.

En los estudios de impulsos atmosféricos en las redes eléctricas, solo interesan las descargas con trayectoria de corriente entre la nube y tierra, no habiendo interés con las descargas entre nubes. En las evaluaciones relativas a la protección contra descargas atmosféricas, ciertamente, la primera información cuyo conocimiento se requiere de inmediato, consiste en que tan frecuente un sitio o local es solicitado o sometido a esfuerzo dieléctrico por el fenómeno.

El parámetro que cuantifica esta frecuencia es la densidad de descargas en el sitio, la densidad de descargas se representa por el índice N_g y establece una medida del número medio de descargas que inciden en el suelo por año, estando expresado en descargas/ $\text{Km}^2/\text{año}$, el índice se refiere al número de descargas atmosféricas plenas. Muchos parámetros influyen el valor de este parámetro, sobre todo la distribución de las lluvias en la región, la latitud y el relieve del sitio.

Las regiones montañosas y altas tienden a presentar índices más elevados de densidades de descargas atmosféricas con relación a las regiones bajas adyacentes, lo mismo ocurre con las áreas de alto índice de precipitación pluvial, condiciones que está muy influenciada por la distribución de las corrientes de aire que circula en el planeta tierra. Otra forma de expresar la intensidad de la actividad atmosférica, es por medio de los mapas ceráunico.

Que representan las zonas geográficas con un número promedio de días con tormenta anual, se han desarrollado algunas relaciones empíricas que relacionan la densidad de rayos a tierra con el nivel ceráunico como la siguiente que es la más usada. La información de la densidad de rayos a tierra o del nivel ceráunico se representa por lo general en mapas del país, o la región del país como referencia. [3]

$$N_g = 0.04 DT^{1.25}$$

Dónde:

DT = Nivel Ceráunico

N_g = Densidad de rayos a tierra

Desde el punto de vista del diseño de los sistemas eléctricos de potencia es de interés el conocimiento de cuántos rayos inciden o caen en una cierta zona geográfica. Esto permite determinar la actividad atmosférica en forma regionalizada y establecer diferencias en los criterios de diseño. La forma de medir esta intensidad de las descargas atmosféricas es por medio de dos conceptos: El concepto de nivel ceráunico y el concepto de densidad de rayos a tierra.

Como ya se ha mencionado el concepto de nivel cerámico representa el número promedio de días con tormenta anual en un sitio. Este concepto se estableció en las década de los 20's para analizar el efecto de las descargas atmosféricas sobre los sistemas de transmisión y se mide por observación en las estaciones meteorológicas, determinando los días con tormenta.

El nivel cerámico se indica por un valor que representa el número promedio de días con tormenta anual en un lugar específico. En una zona geográfica de una región de un país, los puntos o lugares que tienen el mismo nivel cerámico, se unen formando lo que se conoce como mapa isocerámico, el que es usado para diseño en los sistemas eléctricos.

Los niveles cerámico se establecen con periodos de once años que corresponden a lo que se conoce como un ciclo solar. La razón de esto es que en este lapso de tiempo se cubren todas las posibles variaciones estacionales en una región. [3]

En las compañías también se utilizan datos de rayos en tiempo real junto con el monitoreo de interruptores, relevadores o alarmas de subestación, o ambos, con el fin de mejorar las operaciones, reducir o evitar el daño y agilizar los resultados la restauración de sus sistemas. En la figura 4 se muestra un mapa que nos muestra la isodensidad de rayos a tierra en la República Mexicana, elaborado por el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas).

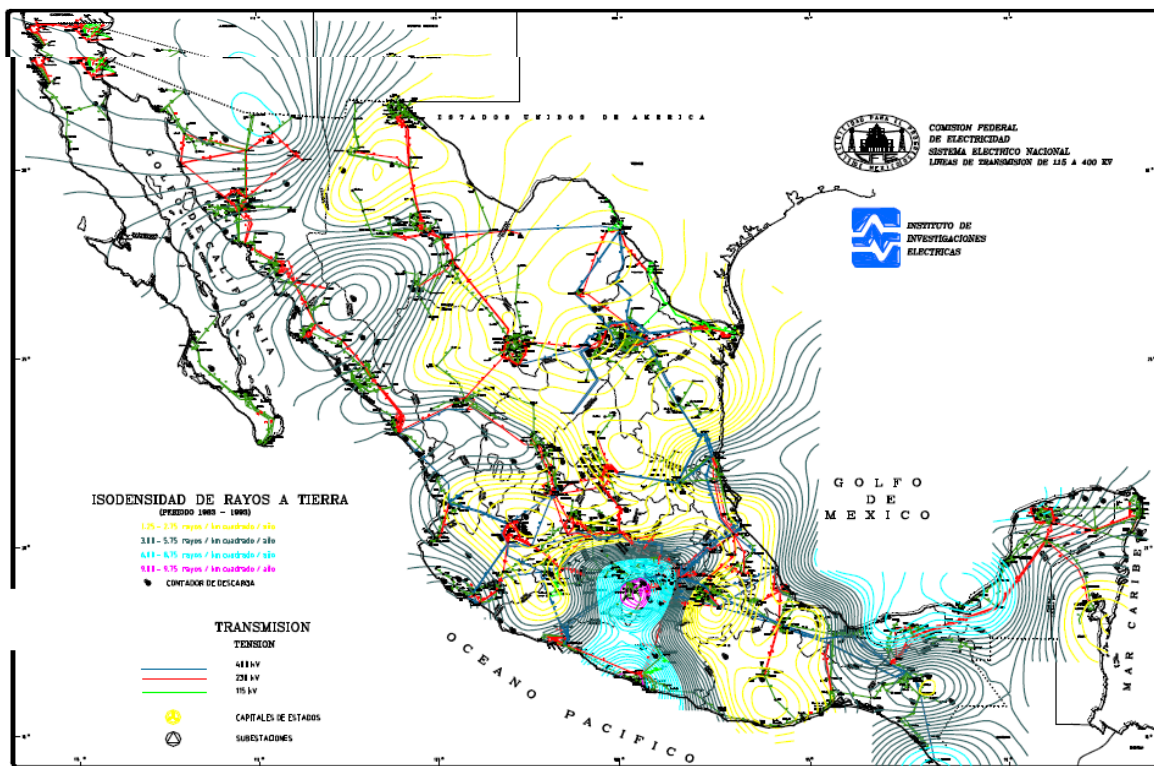


Figura 8.-Isodensidad de rayos a Tierra de la República Mexicana elaborado por IIE (PERIODO 1983-1993) [1].

2.2.7 Efectos de las descargas atmosféricas en las líneas

Las sobretensiones de origen atmosférico pueden ser originadas por el impacto directo de rayos en líneas eléctricas y subestaciones, o inducidas por rayos que impactan en las proximidades de una línea o subestación. Los impactos directos de rayos sobre líneas de transmisión producen pérdida de aislamiento del material, contorneando los aisladores y produciendo fallas a tierra que son despejadas en última instancia por las protecciones convencionales.

La propagación de una sobretensión atmosférica por una línea tiene lugar a una velocidad próxima la de la luz; durante esta propagación tanto el valor de la cresta como el tiempo de subida se ven fuertemente amortiguados debido al efecto pelicular y al efecto corona. Para evitar los efectos de las descargas atmosféricas en los conductores de fase de una línea de transmisión.

Se procede al blindaje de los mismos mediante cables de guarda o de tierra, y a la reducción de la resistencia de puesta a tierra de las torres para disminuir el riesgo de flameo inverso. Las líneas de transmisión están generalmente blindadas, por lo que el contorneo se puede originar cuando una descarga alcanza un conductor de fase o un cable de tierra, ya sea en una torre o en algún punto intermedio de un vano.

Los efectos secundarios de un impacto de rayo directo o cercano incluyen:

-Carga electrostática: La célula de tormenta induce una carga estática en cualquier estructura inmersa en la tormenta. Esta carga estática estará relacionada con la carga de la célula de la tormenta. Por esto se inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a tierra que será un posible causante de interferencias.

-Pulsos electromagnéticos: Son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente, a través del canal de descarga del rayo. Después de que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, llega a formarse un camino tan conductivo como un conductor eléctrico. La corriente de neutralización comienza a fluir rápidamente y produce un campo magnético en relación a la misma.

-Pulsos electrostáticos: Son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura, sobre la superficie de la tierra.

a) Impacto en el hilo de guarda.

La figura 5 representa cuando un rayo impacta en medio del vano del hilo de guarda, cuando se produce el impacto en medio de un vano, se originan dos ondas con intensidad igual a la mitad de la del rayo, que se propagan en sentidos opuestos hacia las torres más próximas. Las tensiones originas en este cable y en el conductor de fase serán:

$$U_g = \frac{Z_g I_{max}}{2} U_f = K U_g$$

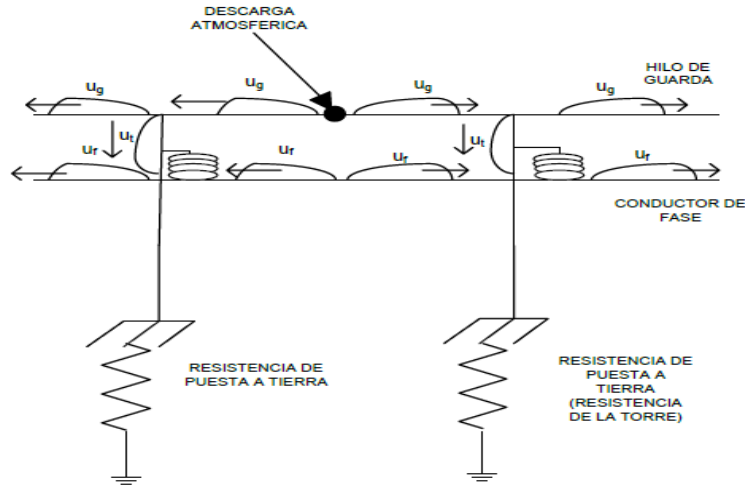


Figura 9.-Impacto en el hijo de guarda.

Siendo Z_g la impedancia características del cable de tierra, I_{max} la intensidad de cresta del rayo, y K el coeficiente de acoplamiento entre el cable de tierra y el conductor.

Si la diferencia $U_g - U_f = (1-K)U_g$ es suficientemente grande, entonces el contorno se producirá entre el cable de tierra y el conductor de fase en el punto de impacto. En caso contrario, las ondas de tensión que se produjeron en el punto de impacto alcanzaran las torres más próximas donde se originarán ondas que viajarán a tierra. El valor de cresta de las tensiones entre las terminales de las cadenas de aisladores dependerá entonces de las distintas reflexiones de ondas que se originen en la torre. [1]

Si el impacto se produce directamente en el punto de conexión con la torre, la corriente del rayo se dividirá entre una parte que viajara a tierra a través de la torre, y otra que se dividirá a su vez en dos partes iguales que se propagaran en ambos sentidos por el cable de tierra.

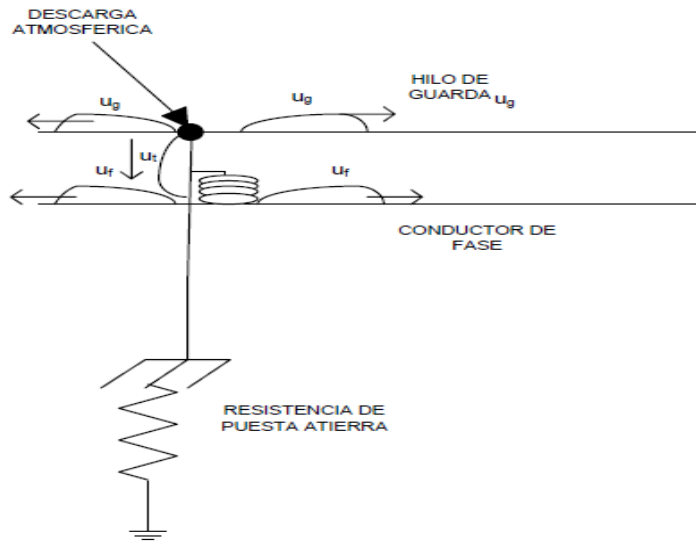


Figura 10.- Impacto de una descarga atmosférica en una torre.

b) Impacto directo de la descarga atmosférica en la torre.

En la figura 7 se muestra el esquema que se empleara para analizar la sobretensión que se originapor el impacto directo de una descarga atmosférica en una torre.

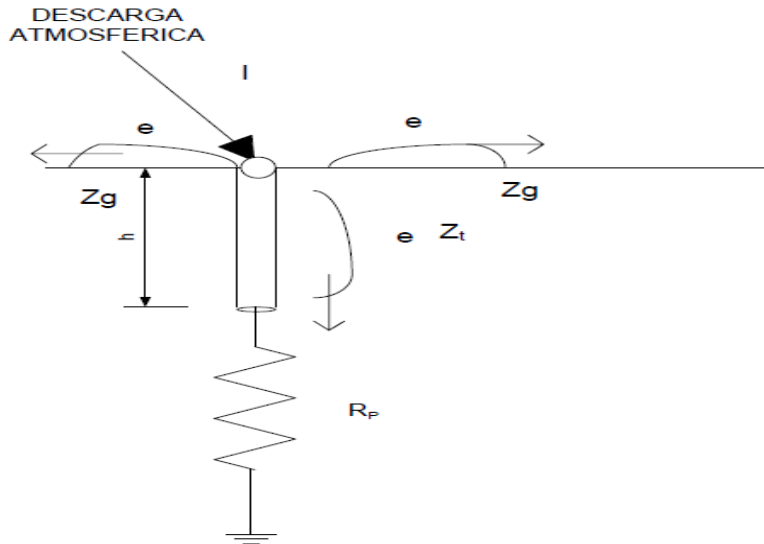


Figura 11.-Impacto de un rayo en una torre.

El circuito equivalente incluye:

- La torre, que es representada mediante una línea ideal con impedancia característica Z_t y el tiempo de propagación.
- Los tramos del cable de tierra a ambos lados de la torre, que son representados por líneas aéreas ideales, de longitud infinita en impedancia característica Z_g .
- La impedancia de puesta a tierra de la torre, que es representada por una resistencia constante R_p .

Se supone que la descarga atmosférica se comporta como una fuente de corriente ideal (impedancia paralelo infinita), en forma de rampa, con un valor de cresta y un tiempo de frente t_f . La tensión que aparece en la torre por el impacto de la descarga atmosférica será:

$$e(t) = \frac{\frac{Z_t Z_g}{2}}{Z_t + Z_g} \cdot i(t) = \frac{Z_t Z_g}{2Z_t + Z_g} \cdot i(t)$$

Donde $i(t)$ es la intensidad de la descarga atmosférica.

El estudio se puede simplificar si se supone que: $Z_t = \frac{Z_g}{2}$

En tal caso queda:

$$e(t) = \frac{Z_g}{4} \cdot i(t) = \frac{Z_t}{2} \cdot i(t)$$

Los coeficientes de reflexión en ambos extremos de la torre serán:

-Unión torre-puesta a tierra:

$$Tt = \frac{Rp - Zt}{Rp + Zt} = \frac{2Rp - Zg}{2Rp + Zg}$$

-Unión torre-hilo de guarda:

$$Tg = \frac{\frac{Zg}{2-Zt}}{\frac{Zg}{2+Zt}} \sim 0$$

Puesto que la aproximación anterior significa que no hay reflexión de ondas en el punto de unión de la torre con el cable de tierra, el diagrama reticular presenta todas las ondas que aparecerán después del impacto. La tensión máxima que se alcanzará en la torre antes de que llegue ninguna onda reflejada desde la puesta a tierra se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Ut = e(2T1) = \frac{Zt}{2} \cdot i(2T1) = \frac{Zt}{2} \cdot 2T1 \cdot \frac{Imax}{tf}$$

La relación $\frac{Imax}{tf}$ es la pendiente inicial de la corriente de la descarga; usando la notación para designar este factor se tiene:

$$Tt = Zt \cdot Tt \cdot Si$$

Después de que llegue la onda reflejada en la puesta a tierra, la tensión en la unión torre-cable de tierra puede continuar subiendo hasta alcanzar un valor máximo, que vendrá dado por la siguiente expresión:

$$U_{i\max} = e(t_f) + \Gamma_i e(t_f - 2\tau_i) = e(t_f) \cdot \left[1 + \Gamma_i \frac{t_f - 2\tau_i}{t_f} \right] = [R_c t_f - \Gamma_i Z_i \tau_i] \cdot S_i$$

Siendo: $Re = \frac{Zg \cdot Rp}{Zg + 2Rp}$

Se puede comprobar que el valor máximo de la tensión que se alcanzará es proporcional a la pendiente del frente de la onda de corriente de la descarga del rayo. Otro factor que tienen una influencia notable en este valor máximo es la resistencia de puesta a tierra: en general, cuanto más elevado sea su valor, más elevada será la tensión que se originará por flameo inverso.

c) Impacto en un conductor de fase.

La figura 8 muestra un esquema con el impacto de un rayo en un conductor de fase, que generalmente será el conductor situado en la fase más elevada o en una fase exterior. La corriente del rayo se dividirá en dos partes iguales que darán lugar a dos tensiones que se propagarán en ambos sentidos. La tensión máxima vendrá dada por la expresión:

$$U1 = Zc \cdot Imax / 2$$

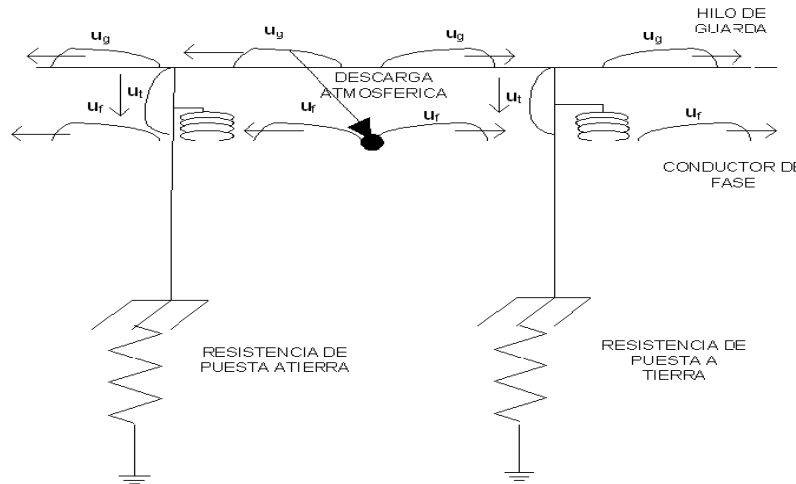


Figura 12.-Impacto de un rayo en un conductor de fase.

Siendo Z_c la impedancia característica del conductor de fase. En las otras fases de la línea también se originaran sobretensiones por acoplamiento.

Si K es el coeficiente de acoplamiento entre dos fases, la tensión máxima inducida en otra fase será: $U_2 = KU_1 = KZ_c I_{max} / 2$

El contorneo en la línea puede originarse entre conductores de fase si la diferencia de tensiones. $U_2 = KU_1 = KZ_c I_{max} / 2$

Es superior a la rigidez dieléctrica entre los conductores, o en la cadena de aisladores más próxima al impacto si las tensiones que se propagan desde el punto de impacto superan la tensión soportada. Solo se producirá contorneo si la intensidad del rayo que cae sobre un conductor supera un cierto valor crítico I_C .

Dada la distribución estadística de las intensidades de las descargas atmosféricas, la mayor parte de las descargas daría lugar a una falla en el aislamiento si el impacto se produjera sobre un conductor de fase, por esta razón, debe evitarse la caída directa de rayos sobre los conductores de fase, lo que se consigue instalando cables de tierra que sirvan de blindaje contra el rayo.[1]

d) Sobretensiones transitorias ondas viajeras

Para comprender las sobretensiones, en nuestro caso las sobretensiones que se presentan en las líneas de transmisión, debemos de tener en cuenta el concepto claro y el funcionamiento de las ondas pues de estas erradica el problema de las sobretensiones.

Una línea de transmisión se puede considerar hecha de varios elementos, entre los cuales podemos mencionar, capacitores, resistencias e inductores. Sin embargo si despreciamos la resistencia, la línea de transmisión se puede representar por varios elementos distribuidos a lo largo de este (modelo distribuido), tal como se muestra en la figura:

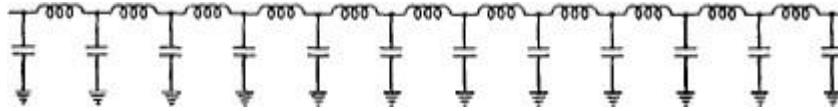


Figura 13.-Diagrama de elementos distribuidos a lo largo de una línea de transmisión.

Si se aplica un voltaje, el primer capacitor se cargará inmediatamente al valor del voltaje aplicado, sin embargo, debido al primer inductor conectado en serie, el segundo capacitor sufre un retardo para cargarse, similarmente el capacitor tres se retarda su carga aún más debido al segundo inductor.

Si la tensión aplicada es una onda transitoria, es decir comienza en cero alcanza un máximo y retorna de nuevo a cero, entonces se observará el mismo efecto en los capacitores intermedios, creando así una onda que viaja desde el inicio al final en un tiempo t .

Las ondas viajeras de sobretensión por rayo o por maniobra de interruptores se desplazan sobre los conductores y llegan a los equipos en las subestaciones eléctricas o bien cambian de medio dieléctrico en su desplazamiento.

En cada medio se tiene una impedancia característica distinta, de manera que cuando una onda viajera pasa de un medio a otro con diferente impedancia, una parte de la onda pasa al otro medio y otra se refleja. En el punto de transición la energía de la onda incidente debe ser igual a la suma de las energías de las ondas reflejada y transmitida. [3]

2.3 Métodos de protección contra descargas atmosféricas

Las necesidad de transportar grandes cantidades de energía desde las grandes plantas generadoras hacia los centros de consumo implica que las líneas de transmisión sean diseñadas no solo para trabajar con diferentes tipos de perfiles topográficos, sino también con variados tipos de terrenos, tales como rocosos, arenosos, de cultivo, áridos, etc., los cuales presentan diferentes valores de resistencia y por lo tanto diferente respuesta ante la corriente de descarga.

La causa principal y más frecuente de sobretensiones de frente rápido en redes de potencia es el rayo, aunque también se pueden originar como consecuencia de maniobra en situaciones en las que las distancias entre los equipos y el interruptor son muy cortas [5] cuando el tipo de terreno no presenta una resistencia favorable, entonces se pueden tomar medidas para el mejoramiento como son:

- Mejoramiento en el blindaje del sistema.
- Mejoramiento de la resistividad del terreno.
- Uso de apartarrayos.

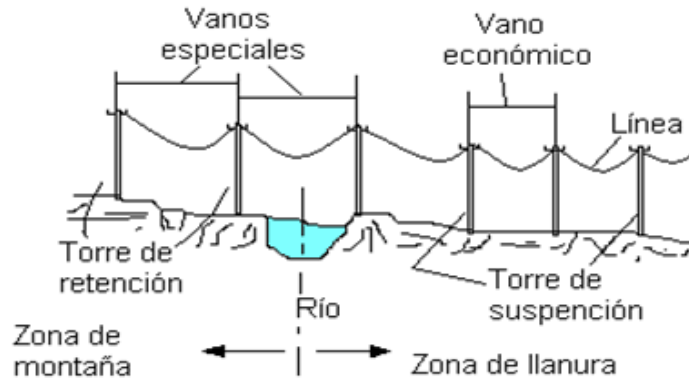


Figura 14.-Ilustración de la implementación de las torres por su función

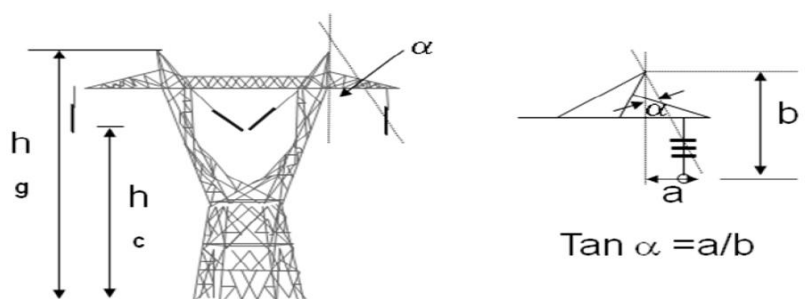
2.3.2 Angulo de blindaje.

El objetivo del blindaje es el de reducir el número de interrupciones que provocan las descargas atmosféricas, de forma que cuando estas impacten sobre el sistema de blindaje y se deriven a tierra. Las descargas atmosféricas que impactan en los hilos de guarda generan sobretensiones transitorias que son amortiguadas por la longitud de la línea pero dañan los elementos conectados a ella.

Las líneas aéreas de transporte y distribución de energía eléctrica están expuestas a las descargas atmosféricas, siendo este uno de los motivos más habituales de fallo del aislamiento. En caso de que un rayo impacte sobre una línea aérea, se origina una elevada sobretensión que puede producir el cebado de los aisladores si se supera su nivel de aislamiento. En tal caso la sobre tensión se descarga a tierra a través el apoyo, lo que implica una falla a tierra.

Si el aislador permanece contorneado, una vez haya pasado la sobre tensión, las protecciones deberán despejar la falla abriendo la línea y regenerándola. Para disminuir el número de salidas debido a descargas atmosféricas es habitual la instalación de cables guarda (Overhead Ground Wire, OGW), en la parte superior de los apoyos. Con esto se pretende que las posibles descargas atmosféricas impacten sobre un cable de guarda y se deriven a tierra las posibles sobre intensidades.

En forma práctica, el blindaje se expresa como un ángulo entre los conductores de guarda y los conductores de las fases externas de la línea como se muestra en la figura.



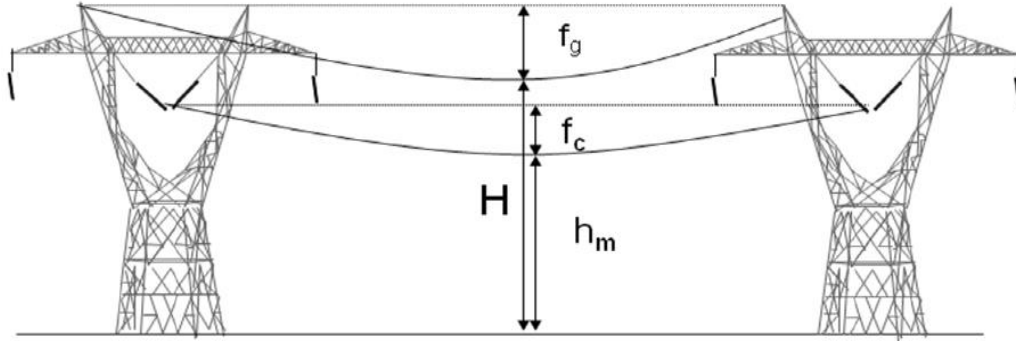


Figura 15.-Geometría analítica.

Donde:

a = Ángulo de blindaje.

f_c = Flecha del conductor de fase en el punto medio.

f_g = Flecha del cable de guarda en el punto medio del claro.

h_c = Altura equivalente del conductor.

h_g = Altura equivalente del hilo de guarda.

h_m = Altura del conductor de fase en el punto medio.

H = Altura del cable de guarda en el punto medio.

Debido a que la posición relativa de los conductores de fase y los cables de guarda varían en el punto medio del claro con respecto a la posición de la torre o estructura, entonces el ángulo de blindaje α se calcula para el punto medio del claro. La altura equivalente del cable de guarda en terrenos planos se calcula como:

Para terrenos ondulados:

$$H = h_g - \frac{2}{3} f_g, \text{ para los conductores de fase}$$

Para terrenos ondulados:

$$h_m = h_c - \frac{2}{3} f_c$$

$$H = h_g$$

$$h_m = h_c$$

Para terreno montañoso:

$$H = 2h_g$$

$$h_m = 2h_c$$

Siendo: $b = H - h_m$ Separación entre los cables de guarda y el conductor de fase en el punto medio del claro.

El ángulo de blindaje es indicativo de la probabilidad de que un rayo incida sobre los conductores de fase, en general los ángulos de blindaje se relacionan con las alturas de las estructuras (a mayor altura, mayor probabilidad de descarga), de manera que se establecen las siguientes relaciones:

- Para líneas de transmisión del cable de guarda y un $h_g \leq 25.0$ m; $15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, la probabilidad de violar la zona de protección es de $P = 40\%$.

➤ Para líneas de transmisión con dos cables de guarda y un $h_g \leq 30.0$ m; $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$, la probabilidad de violar la zona de protección es de $P = 12\%$

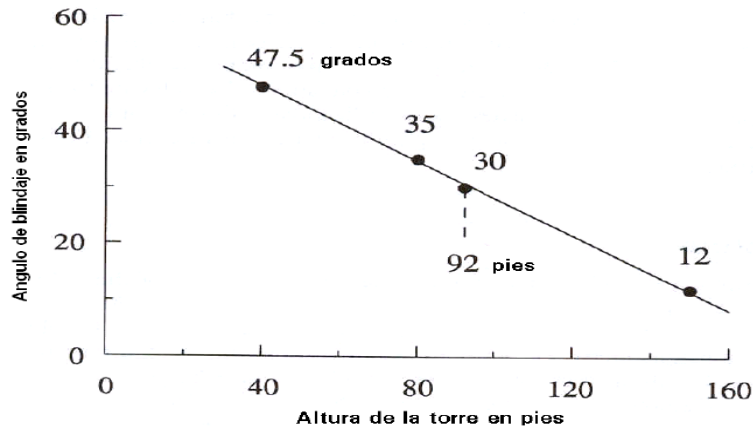


Figura 16.-Altura de la torre contra ángulo de blindaje.

En el diseño del hilo de guarda se debe considerar su ubicación en la estructura y sus características mecánicas, esto es su resistencia a las cargas mecánicas con una flecha adecuada. En cuanto a sus características eléctricas este debe tener bajas pérdidas por inducción y por tanto tensiones inducidas de un valor seguro al personal.

El objetivo final en el diseño del cable de guarda es entonces su ubicación en la estructura tal que reduzca la posibilidad de incidencia de descargas atmosféricas directas o indirectas al hilo conductor. Aunque el método del ángulo fijo es el más utilizado (como el caso anterior) existe otro método más efectivo que considera la corriente de rayo, dicho método es el método electrogeométrico.

El concepto de una distancia de caída S es introducido, Lo que esto significa es que cuando la punta de la descarga o de la guía está dentro del alcance de la distancia S de un objeto aterrizado, la probabilidad de que la guía termine en este objeto es significativamente más grande que la probabilidad de que golpee a otro objeto más alejado. Se ha observado que S es una función de la corriente y se ha propuesto por la siguiente relación:

$$S = 10I^{0.65}$$

Donde S esta dado en metros e I en kA. De esta manera, si $I = 10$ kA, $S = 44.7$ m y si $I = 50$ kA, $S = 127$ m. Siguiendo la aproximación de Anderson, se construye el diagrama mostrado en la figura, la cual muestra la disposición relativa de un conductor de tierra G y un conductor fase ϕ definido por el ángulo de blindaje α . Seleccionando alguna corriente I , los arcos son trazados con G y ϕ como centros y radio S correspondiente a I .

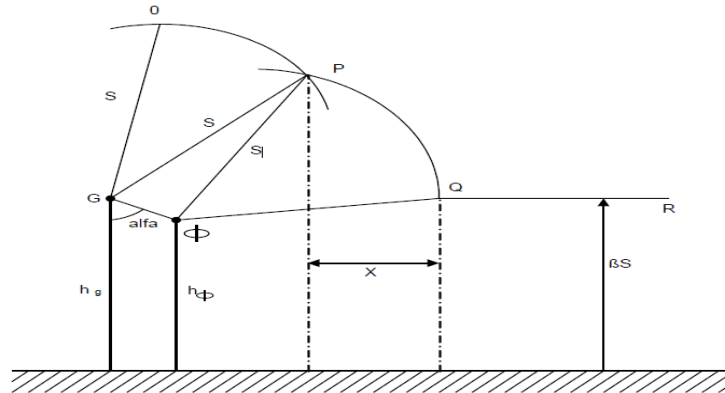


Figura 17.-Ángulo de blindaje.

La línea horizontal en la línea βS , indican que las guías que se aproximen en la cercanía de βS de la superficie de la tierra son dispuestos a terminar en la tierra en lugar de G o ϕ . De acuerdo a Anderson $\beta \approx 0.8$ para líneas de Extra Alto Voltaje (EHV) y 0.67 para líneas de Ultra Alto Voltaje (UHV). Esta línea y los dos arcos definen tres regiones, las guías con magnitud de corriente I que penetran el arco OP tenderán a terminar en el conductor de tierra, de la misma manera si la guía penetra la región QR irá a tierra.

Si la guía penetra entre el arco PQ la corriente I será atraída al conductor fase y eso representa una falla de blindaje. Visto desde arriba, hay un campo desprotegido de ancho X que es paralelo a la línea de transmisión. Para valores mayores de S , correspondiendo a valores más altos de I , el arco PQ se reducirá. En algún valor de I que nosotros designamos I_{\max} , los puntos P y Q coincidirán.

No debe de haber fallas de blindaje para magnitudes de corrientes de rayo por encima de la corriente I_{\max} . Recíprocamente como S se reduce para corrientes más pequeñas que los escogidos por la figura 14 el arco PQ y su proyección X incrementará. Sin embargo, hay una corriente que designamos I_{\min} , bajo el cual una caída al conductor fase será de pequeña consecuencia debido a que generará un voltaje insuficiente para causar un flameo en la cadena de aisladores.

En una primera aproximación este voltaje corresponde al voltaje de flameo crítico de la cadena de aisladores. De esta manera si despreciamos la impedancia del canal del rayo, Donde V_{CFO} es el voltaje crítico de flameo del aislador y Z_0 es la impedancia de impulso de la línea. En esta ecuación arbitrariamente ignoramos el potencial a 60 Hz del conductor fase. El valor de X corresponde a I_{\min} que llamaremos X_s .

$$I_{\min} = \frac{V_{CFO}^2}{Z_0}$$

Para que una falla de blindaje ocurra, la corriente debe estar en el rango $I_{\min} < I < I_{\max}$, y las caídas deben terminar dentro de una zona que designamos X_s . La probabilidad de un estado actual dentro de un rango particular se puede obtener de la distribución de probabilidad acumulativa de magnitud es de corriente. Es decir, la probabilidad $I_{\min} < I < I_{\max} = P_{\min} - P_{\max}$. [1]

Origen	r_g a tierra o suelo		r_c a conductores fases e hilos de guarda	
	A	b	A	b
Young	27.0	10.0	γr_g^d	0.32
Brown-Whitehead	6.4	0.75	7.1	0.75
Love	10.0	0.65	10.0	0.65
IEEE-1991 T&D Committee	βr_c^a	0.65	8.0	0.65
IEEE-1992 T&D Committee	βr_c^b	0.65	10.0	0.65
Mousa and IEEE-1995 Substations Committee	8.0	0.65	8.0	0.65

Tabla 5.-Distancias de incidencia con referencia al modelo geométrico para un hilo de guarda. Expresiones para la distancia de incidencia (Striking distance), $r = AI_b$ como se muestra en la figura. Se dan las siguientes distancias de descarga o incidencia:
A los conductores de fase r_c .
A los hilos de guarda r_s .

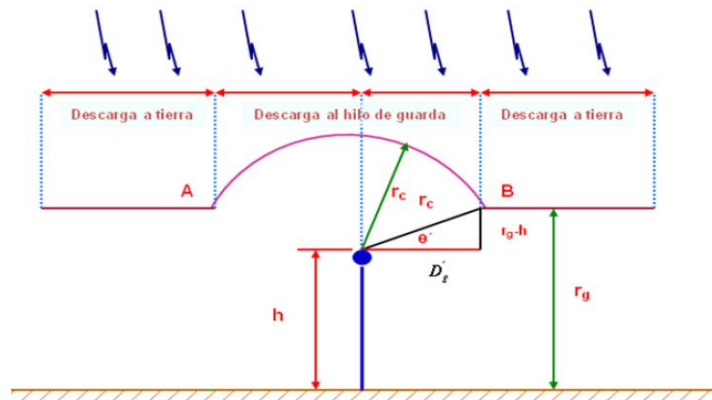


Figura 18.-Modelo geométrico para un solo hilo de guarda.

2.3.3 Mejoramiento de la resistividad del terreno.

De acuerdo a la finalidad de las redes de tierra, estas deberán permitir el paso de las corrientes a tierra con un mínimo de resistencia, según estudio Técnico –Económico, se construirá por lo tanto, formando una malla de cables desnudos enterrados conectados entre sí y a los electrodos de tierra mediante conectores apropiados.

Otra característica importante, es la sección de conductor suficiente para soportar las corrientes de falla o de descarga atmosférica (si se requiere consultar la Norma NRF-011-CFE-2004).

2.3.3.1 Resistividad

Se define la resistividad del suelo, como la resistencia medida en cubo de materia, de un metro por lado, medido entre placas de metal colocadas sobre caras opuestas OHMS-METRO (Ω/m), o en OHMS-CENTIMIENTO (Ω/cm). La resistividad del suelo es extremadamente variable de un lugar a otro y para un sitio dado, puede variar vertical y horizontalmente.

Los factores principales que determinan la resistividad son: el tipo de suelo, el contenido de humedad, las sales disueltas en el agua, la profundidad y la temperatura etc. Cuando la resistividad del terreno donde se encuentra la estructura es alto, es de esperarse que la resistencia a tierra también sea elevada.

Tipo de tierra	Resistividad en ohm- metro (Ω/m)
Suelo orgánico mojado	10
Suelo húmedo	100
Suelo seco	1000
roca	10000

Tabla 6.-Resistividad promedio de la Tierra

Las mediciones de resistividad del suelo y de resistencia eléctrica de la red de Tierra se deben realizar en época de sequía debido a que las condiciones son más críticas.

2.3.3.2 Medición de resistencia Eléctrica de la Red de Tierra en construcción.

Se utiliza el método de caída de potencial y su valor máximo aceptable es de 10Ω . Este método se basa en la inyección de una corriente de prueba en el electrodo bajo análisis (red de tierra). Se toman mediciones de la tensión a diferentes distancias entre el electrodo bajo análisis E y el electrodo auxiliar de potencia P, el valor representativo de la resistencia se tendrá cuando la diferencia entre dos o tres mediciones sea despreciable.

El procedimiento se debe realizar con el hilo de guarda desconectado y con un medidor de resistencia de baja frecuencia (120 a 150 HZ) y que la corriente de inducción sea mayor a 1 mA, se debe consultar la especificación de CFE-00JL0-28.

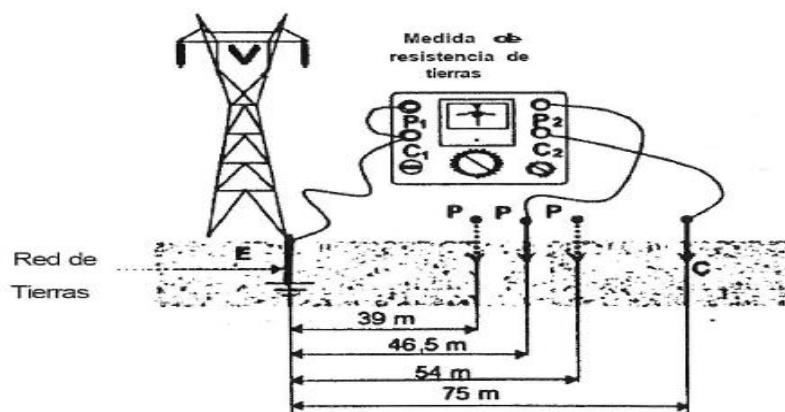


Figura 19.-Método de medición de resistencia de la red de tierra.

2.3.3.3 Método de WENNER o Método de los cuatro electrodos

Se debe medir la resistividad del suelo, se debe medir con el método Wenner, colocando el instrumento de medición en el centro de la estructura, y los electrodos verticales se deben colocar paralelos al sentido de la línea, con una separación de 1.6 m para la primera

medición y 3.2 m para la segunda medición. Los valores obtenidos se deben asentar en el formato SYL-06 del Capítulo 10 del procedimiento.

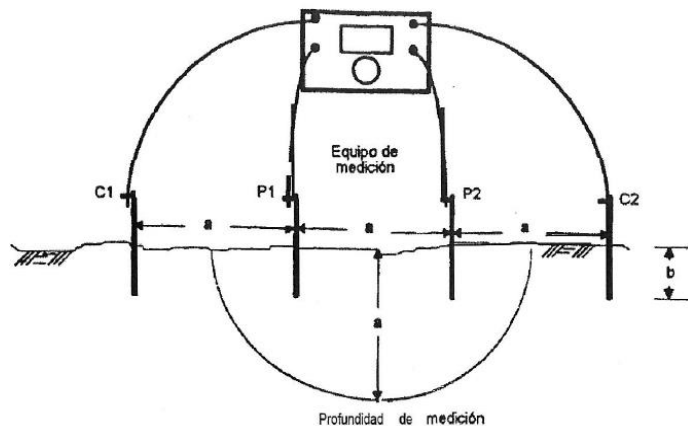


Figura 20.-Medición de la resistividad por el método de Wenner.

2.3.3.4 Medición de la Red de Tierra

Se debe realizar una sola medición de resistencia eléctrica por estructura. La distancia de instalación de los electrodos verticales de corriente C y de potencial P, deben ser de 75 m y 46.5 m respectivamente.

La dirección de la medición se debe realizar de preferencia perpendicular a la línea en cualquier sentido, de no poder realizarla en esta dirección, se puede realizar longitudinalmente a la línea o de forma diagonal a la línea. La red de tierra es adecuada si la resistencia eléctrica a tierra es menor o igual a 10Ω . En caso contrario se debe verificar y/o mejorar estas pueden ser estructuras ubicadas en zonas de mayor incidencia de rayos o alto nivel de resistividad ($300 \Omega.m$). [7]

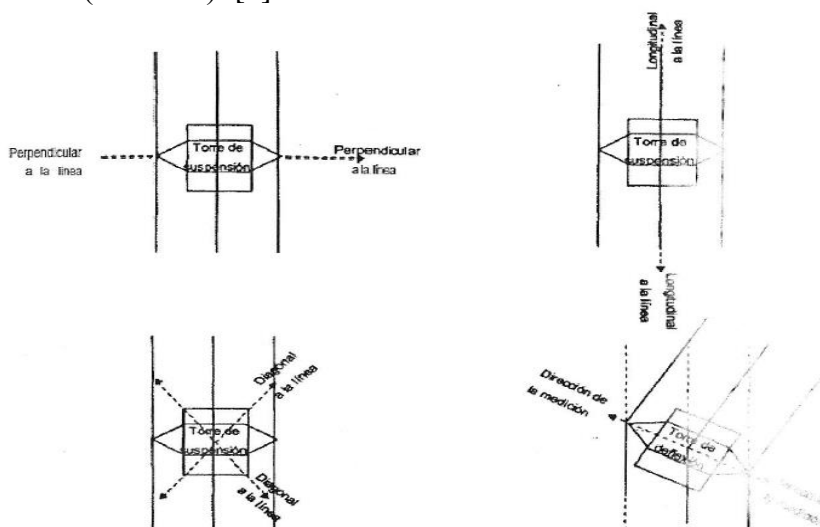


Figura 21.-Dirección de la medición para las torres.

El terreno puede considerarse como conductor de la corriente eléctrica la cual está formada básicamente de partes sólidas minerales y sendas de tipo líquido y gaseoso, es un agregado. Los líquidos y gaseosa que rellenan los poros de la fracción sólida son en la mayoría de los casos, soluciones acuosas de diferentes sales minerales: [5]

- Fracción gaseosa: Es básicamente parecida al aire, con la única diferencia que tiene más concentración de CO₂ debido a los microorganismos.
- Fracción líquida: Es una solución mineral acuosa que se une entre los huecos.
- Fracción sólida: Está formada por partículas coloidales (arcilla) contribuyendo a las propiedades del terreno.

El reglamento de alta tensión informa de los valores de la resistividad de los diferentes tipos de terreno tabla de resistividad [5]; lo más importante es hacer una investigación del terreno y ver los valores de resistividad a profundidad figura resistividad en $\Omega\text{-m}$. Nota: Son considerados buenos terrenos aquellos con resistividad entre 50 y 100 $\Omega\text{-m}$.

Naturaleza del suelo	Resistividad (Ωm)
Suelos pantanosos, humus, lodo	5 a 100
Tierra de jardín húmedo (50% de humedad)	140
Tierra de jardín poco húmedo (20% de humedad)	480
Arcilla seca	1.500 a 5.000
Arcilla con 40% de humedad	80
Arcilla con 20% de humedad	330
Arena mojada	1.300
Arena seca	3.00 a 8.000
Calzáceo compacto	1.000 a 5.000
Granito	1.500 a 10.000

Tabla 7.-Resistividad de diferentes terrenos.

2.4 Instalación de apartarrayos en líneas de alta tensión

Las funciones principales de los apartarrayos son la de operar al presentar sobretensiones en el sistema, permitiendo el paso de la corriente provocadas por descargas atmosféricas sin sufrir daño; y reducir las sobretensiones peligrosas a valores que no dañen el aislamiento del equipo. Las características de protección de los apartarrayos, es la de brindar una excelente protección contra sobretensiones transitorias en elementos y equipos utilizados en las líneas de alta tensión.

Las características necesarias para definir y seleccionar apartarrayos de resistencia variable sin explosores para un sistema eléctrico son:

- ❖ Tensión nominal o asignada: U_r .
- ❖ Tensión de funcionamiento continuo: U_c .
- ❖ Capacidad del apartarrayos frente a sobretensiones temporales: TOVC.
- ❖ Corriente nominal de descarga: I_n
- ❖ Clase de descarga de línea.

- ❖ Tensión residual o de descarga: U_{res}
- ❖ Nivel de protección a impulsos tipo maniobra.
- ❖ Nivel de protección a impulsos tipo rayo.
- ❖ Clase de limitador de presión.
- ❖ Línea de fuga.
- ❖ Corriente permanente del apartarrayos.
- ❖ Presencia de dispositivo de desconexión.
- ❖ Frecuencia asignada.

a) Tensión de trabajo continuo

La tensión de funcionamiento continuo (U_c) de un apartarrayos (continuous operating voltage) es el valor máximo admisible de tensión eficaz a frecuencia que puede aplicarse de forma permanente en los bornes de un apartarrayos [8]. Representa la tensión eficaz máxima; entre sus terminales de forma permanente y es capaz de soportar cuando está trabajando en forma normal.

b) Tensión nominal.

La tensión asignada o nominal (U_r) de un apartarrayos (assigned voltage) es el valor eficaz máximo de tensión a frecuencia industrial admisible entre sus bornes (terminales) para el cual está previsto un funcionamiento correcto en condiciones de sobretensiones temporales establecidas en los ensayos de funcionamiento.

c) Tensión residual.

La tensión residual (U_{res}) de un apartarrayos (residual voltage, discharge voltage) es el valor de cresta de la tensión que aparece entre bornes del apartarrayos durante el paso de la corriente de descarga [5]. Su valor depende de la forma de onda y la magnitud de la corriente de descarga. Las tensiones residuales se obtienen para impulsos de corriente tipo maniobra (30/60 μ s para pararrayos de 10 kA y 20 kA) y tipo rayo (8/20 μ s) para todos los apartarrayos, independientemente de su corriente nominal. Los valores de cresta de las corrientes para los ensayos de tensión residual vienen definidas en IEC 60099-4 [8], y son valores mínimos que el fabricante debe presentar en función de la corriente nominal de descarga y clase de descarga de línea del apartarrayos.

d) Corriente nominal de descarga.

En general, se denomina corriente de descarga a la onda de corriente que circula por el apartarrayos cuando se encuentra en la zona de descarga o alta descarga [8]. La corriente nominal de descarga (I) de un apartarrayos (nominal discharge current) es el valor de cresta del impulso de corriente tipo rayo (8/20 u.s) que se usa para designar el apartarrayos. Los valores normalizados de corriente nominal de descarga son [8]: 1,5 kA, 2,5 kA, 5 kA, 10 kA y 20 kA.

e) Clase de descarga de línea.

Para apartarrayos de 10 kA y 20 kA se define la clase de descarga de línea como la capacidad del apartarrayos para disipar la energía correspondiente a la descarga de una línea precargada. Existen cinco clases de descarga de línea normalizadas: clases 1, 2 y 3 para los apartarrayos de 10kA de corriente nominal, y clases 4 y 5 para las de 20 kA. La normativa no define de forma explícita la capacidad energética de un apartarrayos como un valor

expresado en kJ o kJ/kV, sino que define los parámetros de ensayo que determinan la clase de descarga de línea del apartarrayos

Curva característica: La característica tensión-intensidad de la zona no lineal para un varistor de resistencia variable viene expresada en general según la siguiente ecuación:

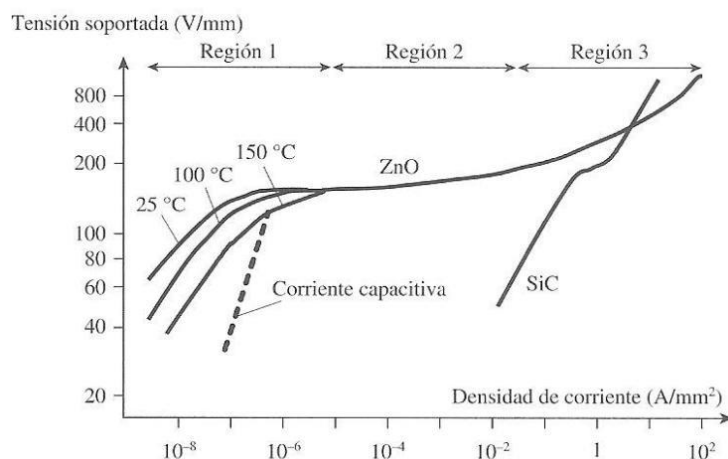


Figura 22.-Características tensión-intensidad de los apartarrayos de ZnO y SiC.

2.4.1 Recomendaciones para la instalación de apartarrayos.

Los apartarrayos con entrehierro y sin entrehierro se deberán seleccionar conforme a la norma NRF-003-CFE-2000 (Apartarrayos de óxidos metálicos para subestaciones), de acuerdo a la tensión nominal del sistema y de la tensión nominal del apartarrayo. Para sistemas con neutro sólidamente aterrizado se recomienda considerar el valor menor de la tensión nominal del apartarrayo, y para sistemas que cuenten con neutro aterrizado a través de una impedancia, se recomienda utilizar el valor superior.

2.4.2 Apartarrayo permanente conectado.

Los apartarrayos comerciales emplean varistores de óxidos metálicos (resistencias no lineales), los cuales presentan una impedancia muy alta a tensión nominal (60 Hz) y cuando se le aplica una sobretensión transitoria (tal como una descarga atmosférica), la impedancia decrece rápidamente. Las características de tensión –corriente del apartarrayo de óxido metálico se pueden dividir en tres regiones.

1) Región del MCOV, donde la corriente es menor a 1 mA y presentando un estado capacitivo, denominado I_c (corriente capacitiva), (el MCOV del apartarrayo es seleccionado en esta región). Por sus siglas en inglés: MCOV, (sobretensión máximo de manera continua)

2) Región del TOV o sobretensión transitoria, donde la corriente va desde 1 mA hasta 1-2 kA y presentando un estado resistivo, denominado I_R (Corriente resistiva). Por sus siglas en inglés: TOV, (sobretensión temporal)

3) Región del rayo, donde la corriente va desde 1 A hasta 100 kA. Para corrientes mayores a 100 kA, la característica predominante es puramente resistiva aproximándose a una relación lineal con respecto a la tensión.

Como se muestra en la siguiente figura, para la región 1, conforme la temperatura aumenta el componente resistivo del varistor y la disipación de energía también se incrementan. Y para evitar inestabilidad térmica (explosión del varistor) la energía del varistor debe ser disipada (transferida) hacia el exterior a través del envolvente.

Cabe mencionar que las tensiones que exceden el MCOV del varistor provocaran mayor incremento de la temperatura con alta probabilidad de llegar a una inestabilidad térmica; por lo tanto la tensión continua aplicada al varistor debe mantenerse dentro del rango del MCOV y los sobretensión temporales (TOV) deben limitarse dentro del rango de tiempo especificado por el fabricante.

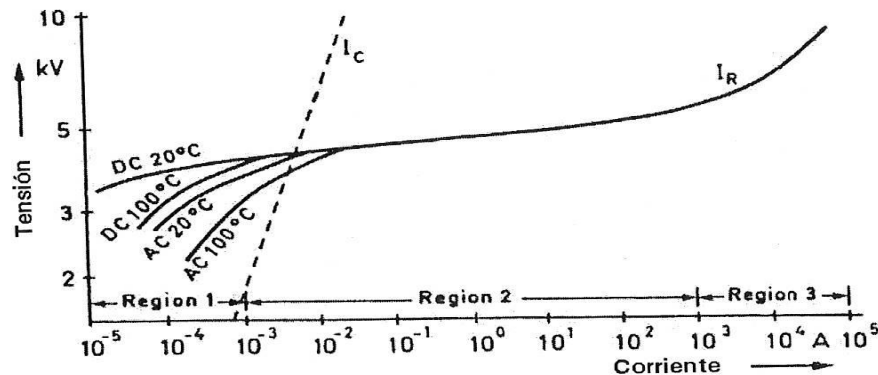


Figura 23.-Característica típica de un varistor de óxido de Zinc.

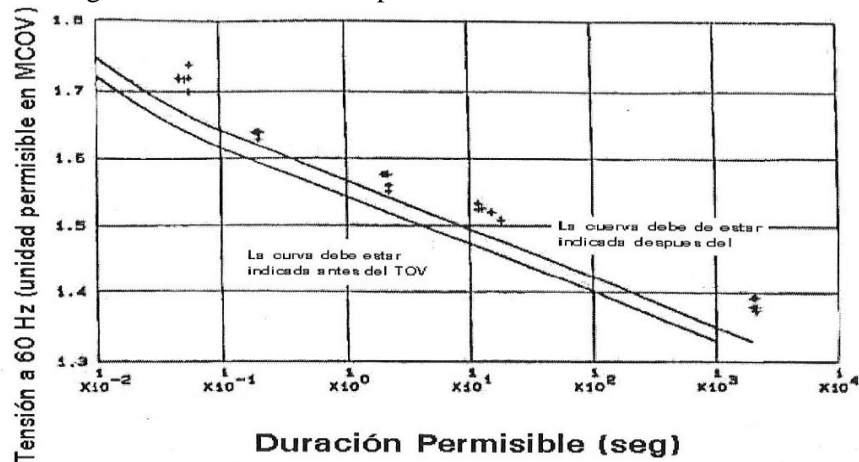


Figura 24.-Tensión temporal del varistor de óxido de Zinc.

Por lo anterior se puede confirmar una de las desventajas del apartarrayo permanente conectado, la cual se explica cómo siguiente:

La tensión nominal del sistema esta permanente en el apartarrayo y provoca la circulación de una corriente de aproximadamente 1 mA y aunque esta corriente no provoca una falla, si está degradando el varistor; además de las altas corrientes resultantes del mismo sistema (a

tensión nominal) o de sobretensiones temporales resultado de una falla. Y si la sobretensión son lo suficientemente grandes (en magnitud) y prolongados (en tiempo), entonces la probabilidad de falla de los varistores se incrementa.

2.4.3 Apartarrayo con entrehierro

Este tipo de apartarrayo al igual que los permanentes conectados emplean varistores de óxidos metálicos (resistencias no lineales), los cuales no presenta una impedancia muy elevada a tensión nominal (60 Hz) y cuando se le aplica una sobretensión transitoria (tal como una descarga atmosférica), la impedancia decrece rápidamente.

Este tipo de apartarrayo no es tan crítica la selección, ya que la fabricación indica la tensión del sistema donde se instalara y no es necesario seleccionarlo por MCOV o TOV (por el comprador), sin embargo si son considerados estos parámetros en el diseño del equipo.

Nota 1: en condiciones normales, el equipo está inactivo (no conectado al sistema hasta que se presenta una sobretensión por maniobra o rayo, provocando el flameo del entrehierro. (Reducción de pérdidas).

Nota 2: Al no contar con dispositivo desconectado, con este tipo de apartarrayo se elimina la probabilidad de falla por estos dispositivos.

Es importante mencionar que la corriente que recibe el apartarrayo es menor que el presentado en el conductor de fase (debido a la perdida de energía en la formación del arco en el entrehierro), provocando entonces que la tensión residual del apartarrayo sea menor. [7]

(Característica general del apartarrayo con gap)

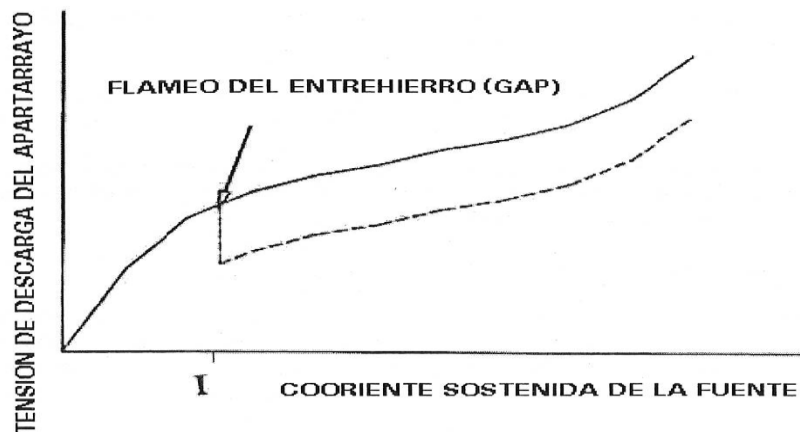


Figura 25.-Características general del apartarrayo con gap.

3. Desarrollo

3.1 Antecedentes de apartarrayos tipo ALEA clase 1

El presente análisis se realiza derivado de las fallas de apartarrayos tipo ALEA, clase 1, marca MAPPEC, en las líneas de subtransmisión 115 KV, pertenecientes a la CFE, gerencia regional de transmisión sureste, zona de subtransmisión Tuxtla, el cual tiene a su cargo 24 líneas de subtransmisión siendo estas las siguientes:

EL SABINO- 73830-CINTALAPA 2 (SAB-73830-CIT), EL SABINO- 73810-OCOZOCOAUTLA (SAB-73810-OCZ), EL SABINO-73370-TUXTLA SUR (SAB-73370-TXS) EL SABINO- 73820-TUXTLA SUR (SAB-73820-TXS), OCOZOCOAUTLA-73840- CINTALAPA DOS (OCZ-73840-CIT), EL SABINO-73750-TUXTLA NORTE (SAB-73750-TXN)- CINTALAPA DOS-73450-LIBERACIÓN MEXICANA (CIT-73450-CITD), LIBERACIÓN MEXICANA -73450- ARRIAGA(LMX-73450-ARR), ANGOSTURA-73970-GRIJALVA (ANG-73970-GIA), GRIJALVA-73970-TUXTLA DOS (GIA-73970-TXD), SABINO-73990-TUXTLA UNO (SAB-73990-TXU), MANUEL MORENO TORRES-73650-JUY JUY (MMT-73650-JUY), JUY JUY-73650- TUXTLA UNO (JUY-73650-TXU), ANGOSTURA-73730-MAPASTEPEC (ANG-73730-MAP), LA GARZA-73L00-VILLA FLORES DOS (LGZ-73L00-VFD), MANUEL MORENO TORRES-73800-SABINO (MMT-73800-SAB), MANUEL MORENO TORRES-73660-BOCHIL (MMT-73660-BCH), BOCHIL-73660-SOYALO (BCH-73660-SOY), TAPIJULAPA-73T30- SIMOJOVEL (TPJ-73T30-SMJ), MANUEL MORENO TORRES-73500- BERRIOZABAL (MMT-73500-BRZ), ANGOSTURA- 73520-MAPASTEPEC (ANG-73520-MAP), ANGOSTURA- 73530-MAPASTEPEC (ANG-73530-MAP), OCOZOCOAUTLA-73490-LA GARZA (OCZ-73490-LGZ), REAL DEL BOSQUE-73360-TUXTLA SUR (RDB-73360-TXS), TUXTLA DOS-73R20-REAL DEL BOSQUE (TXD-73R20-RDB), TUXTLA NORTE- 73760-TUXTLA UNO (TXN-73760-TXU), TUXTLA NORTE-73640- TUXTLA DOS (TXN-73640-TGD), .

Se realiza un índice de las veces que las líneas de subtransmisión 115 kv presentan disparos transitorios de origen por descargas atmosféricas se recabo información del sistema SIAD(sistema Integral de Administración de Distribución)en capturas de salida de líneas del año 2016, 2017 y 2018,valorando inspecciones mayores y patrullajes en las líneas. Únicamente se toman en cuenta el número de veces que las líneas presentaron fallas transitorias por sobretensiones, como se muestra en la siguiente tabla.

Número de fallas transitorias originado por descarga atmosférica al año.			
LINEA	Año 2018	Año 2017	Año 2016
73800	1	0	1
810	4	1	2
820	1	1	0
750	1	0	0
370	2	0	1
350	2	0	0

990	8	1	0
970	1	4	2
L00	4	0	0
840	2	1	2
500	0	0	3
650	3	1	2
450	5	1	1
660	0	1	0
730	6	3	6
520	4	5	4
530	2	2	3
S10	0	0	1
T30	2	2	2
510	1	0	0
TOTAL	48	23	30

Tabla 8.-Historial de número de fallas originados por descarga atmosférica.

Se presenta datos específicos de las líneas que presentaron falla por sobretensión originadas únicamente por descarga atmosférica en el año 2018 indicando la estructura, fase y observación que se detectó donde ocurrió la incidencia algunos datos fueron extraídos de las inspecciones que realizaron los trabajadores e información capturado en el SIAD.

LINEA	NUM TORRE	FASE	FECHA (2018)	OBSERVACIONES	NODO
800	2	CG	9 de Junio	MMT opera SEL 311C 21, fase CG, lado SAB opera 21 SIEMENS 7SA5115, zona 2 fase CG, ICC: 2968 A, se encontró flameo E-2 y 4 por descarga atmosférica, sin hilo de guarda.	MMT-SAB
810	6	AG	19 Octubre	Opera SEL 351A, de 1375 A, por tormenta tropical Vicente provoca disparo múltiple en estructura de 4 circuitos, se localiza aislamiento de vidrio dañado E6 epóxico	SAB-OCZ
	7	BG	19 Octubre	SAB- OCZ opera PP SIEMENS 7SA511 con ICC: 5614 A, se localiza aislamiento con flameo en E-7 fase B	
		B	30 Agosto	Aislamiento flameado	
	10		31 Julio		
820	6		31 Julio	Aislamiento flameado	SAB-TXD
750	4	B	19 Octubre	SEL 311C, a 12.07 km de la S.E. TXN, con ICC: 1030 A, descarga atmosférica provoca aislamiento dañado E-4, tormenta Vicente	SAB-TXN
370	6	B	19 Octubre	Opera SEL311C, fase BG, de 422 A, por tormenta tropical Vicente provoca disparo múltiple en estructura de 4 circuitos, se localiza aislamiento de vidrio dañado E6	SAB-TXS

				epóxico	
	7		31 Julio	aislamiento de vidrio dañado	
350	53	CG	27 Agosto	Opera PP SEL 311C zona 1, con corriente de falla 3439 A, se encuentra aislamiento con flameo en E-53, fase c	MMT-TXS
	80		31 Julio	Se encontró cadena dañado epóxico	
990	6	BG	19 Octubre	Opera SIEMES 75A86, 67N fase BG, de 1541 A, por tormenta tropical Vicente provoca disparo múltiple en estructura de 4 circuitos, se localiza aislamiento de vidrio dañado E6	SAB-TXU
			31 Julio	Se encontró cadena dañado epóxico	
	7	AB-G	30 Agosto	Opera PP SIEMENS 7SL86 en zona 1, con corriente de falla de 13722 A, se encuentra flameado de aislamiento en E-7 fase A y B	
		BG	31 julio	Se encontró cadena dañado epóxico	
	8		31 Julio	Se encontró cadena dañado epóxico	
	16	A	11 de septiembre	Se encontró una pieza de aislamiento roto	
	17	A	11 de septiembre	2 piezas de aislamiento roto en fase (A) en diferente cadena.	
	31		31 Julio	Se encontró cadena dañado epóxico	
970	128	BG	7 de Septiembre	21 relevador GE URD60 en zona 1 con ICC: 4030 A, lado Angostura opero 21 Relevador SEL 311C fase BG con ICC:1385 A	ANG-TXS
L00	233			Se localiza cadena de aislamiento flameada	LGZ-VFD
	20	BG	31 de mayo	Protección 21, relevador 311-L, zona 1, corriente de falla: 1088 A, simultáneamente disparo 73490-cerrado por la zotse, SEL 311C, fase AG	
	9	A Y B	9 de julio	Aislamiento flameado fases A y B, con valor de resistencia alto	
	12	A	9 de julio	Aislamiento flameado fase A, sistema de tierra incorrecto, alto valor de resistencia a tierra	
840	43	A,B y C		Se localizan 3 cadenas de aislamiento de vidrio flameados	OCZ-CIT
	44	B		Se encuentra Aislamiento flameado	
650	49	AG	9 de abril	Opera PP SEL 311C zona 1, corriente de falla:2004 A, lado TGU, Opera URD60 fase AG corriente de falla:1750 A, zona 1, 21N, lluvia intensa, aislamiento flameado E-50, fase A	MMT-JUY-TXS
	50	AG		Opera PP SEL 311C zona 1, corriente de falla:2004 A, lado TGU, Opera URD60	

			9 de abril	fase AG corriente de falla:1750 A, zona 1, 21N, lluvia intensa, aislamiento flameado E-50, fase A	
	67	B Y A	19 Octubre	URD60, fase B, 6.9 km del nodo TGU con 3977 A de falla, descarga atmosférica por tormenta tropical Vicente, aislamiento con flameo en E-7 fase B	
450	129	B-G	19 de julio	Nodo CIT opera SEL 351, protección 67N, ICC=876 A, nodo ARR opera 311C, 21, ICC=1059 A. Se localiza cadena flameada E-129	CNT-LMX-ARR
	124	C-G	20 de julio	Nodo CIT opera 67N, a 820 A de falla, se localiza aislamiento flameado E-124 y conductor con daño en el claro de 123 a la 124, puentes con hilos sueltos	
	144	A	30 de mayo	Disparo nodo CIT 73450, lado Arriaga, SEL 311C-51, Lado Cintalapa opera 51, puente abierto en la E-144, fase A	
	63	A		Cadena flameada	
	90 a 94			Se observa ángulo de blindaje inadecuado	
730	227	B	Abril	Se detecta apartarrayo tipo alea clase 1 Explotado	ANG-MPP
	236		Abril	Disco roto en aislador de vidrio	
	285	A	Abril	Se detecta apartarrayo tipo alea, clase 1, Explotado, sin electrodo	
	286	A	Abril	Apartarrayo explotado clase 1	
	125	A	10 de Julio	Disco roto en aislador de vidrio	
	289	C	Abril	Apartarrayo explotado	
520	223	B		Apartarrayo explotado clase 1,	ANG-MPP
	13	A	15 de Junio	Disco roto en aislador de vidrio	
	23	A	6 de Junio	Disco roto en aislador de vidrio	
	95	A	11 de Julio	Flameo en elementos de la estructura, Aislador roto	
530	60	A		Disco roto en aislador de vidrio	ANG-MPP
	67	A		Disco roto en aislador de vidrio	
T30	74	A	9 de Abril	Disco roto en aislador de vidrio	TPJ-SML
	92	A	9 de Abril	Disco roto en aislador de vidrio	
510	83	B Y A	16 de Marzo	Una pieza de aislador roto en ambas fases	ANG-MAP

Tabla 9.-Datos estadísticos con especificaciones de las líneas que presentaron falla originada por descarga atmosférica en el 2018.

De acuerdo a los datos obtenidos en las tablas se logró cuantificar una estadística de fallas por origen atmosférico, por consiguiente se elaboró un mapa geográfico con los datos UTM(Universal Transversal de Mercator) de las líneas que están en control de la oficina líneas de subtransmisión Tuxtla, con ayuda del programa Google Earth, el análisis de los parámetros de incidencia del rayo son de gran efecto en la elección de protecciones siendo

Se identifican las zonas con mayor número incidencia por descargas atmosféricas, considerando el mapa de isolíneas representando la densidad de rayos a tierra por km² al año. Que acontecieron exclusivamente en el año 2018.

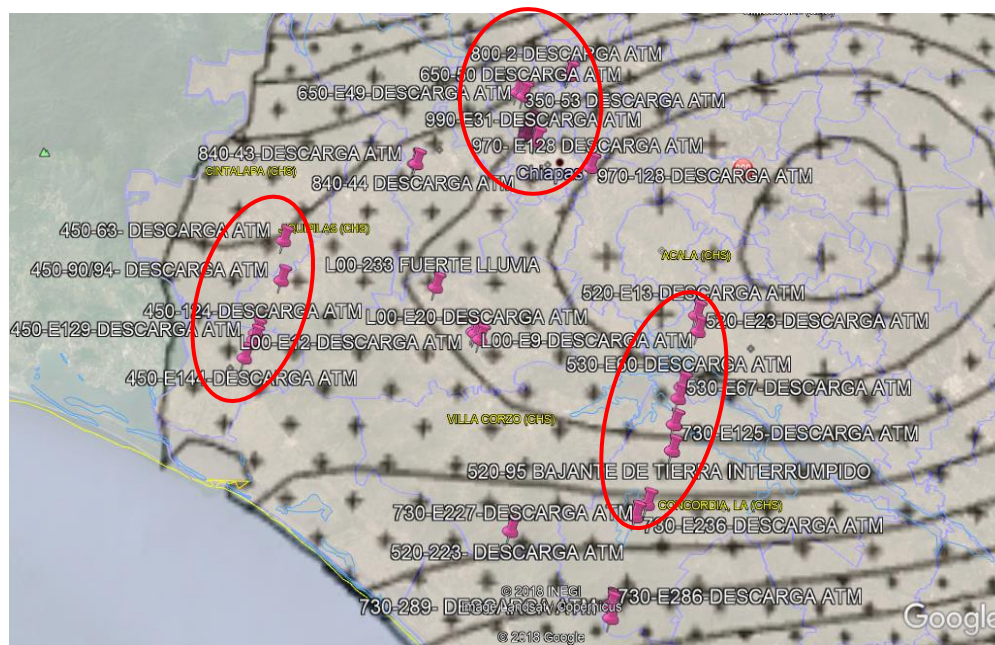


Figura 28.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2018.

Las líneas de subtransmisión que presentaron con más frecuencia disparos se localizaron en 12 municipios en el 2018, en la siguiente tabla se presenta información obtenida con respecto a las zonas localizadas, se analiza información según al mapa de densidad de rayos a tierra (DRT) por km² al año, la temperatura promedio en el municipio y la humedad que se obtiene en las lluvias.

<i>Municipio</i>	<i>DRT por km² al año</i>	<i>línea</i>	<i>Núm. Torre</i>	<i>Temperatura y humedad en lluvias</i>	
<i>Ocozocoautla De Espinoza</i>	Lado Sur $3 < DRT \leq 4$	73840	43	20 – 28°C, Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (40.22%)	
	Lado Norte $4 < DRT \leq 5$		44		
<i>Cintalapa</i>	Lado Sur $3 < DRT \leq 4$	73450	63	18 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (40.31%)	
	Lado Norte $4 < DRT \leq 5$				
<i>San Fernando</i>	$3 < DRT \leq 4$	73350	53	22 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (64.10%)	
			80		
			49		
			73650		50
			73750		67
			4		
<i>Osumacinta</i>	$3 < DRT \leq 4$	73800	2	20 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos	

				húmedo (50.65%)	
Chiapa de Corzo	$DRT \leq 3$	73970	128	18 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (45.62%)	
Tuxtla Gutiérrez	$3 < DRT \leq 4$	73990	7	17.5°C-30°C, presenta lluvias todo el año, presenta clima Cálido húmedo (54%)	
			8		
			31		
			7		
		73370	7		
		73810	10		
Jiquipilas	$3 < DRT \leq 4$	73450	90	16 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (33.36%)	
Villaflores	$3 < DRT \leq 4$	73L00	9	14 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (60.78%)	
			12		
			20		
			233		
Villa Corzo	$3 < DRT \leq 4$	73520	223	14 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (48.26%)	
Arriaga	$3 < DRT \leq 4$	73450	124	16 – 30°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (62.72%)	
			129		
			144		
Concordia	$3 < DRT \leq 4$	73730	125	14 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (72.71%)	
			227		
			236		
			285		
			286		
			289		
			73520		95
			73530		60
	67				
Berriozábal	$3 < DRT \leq 4$	73370	6	22 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (42.45%)	
		73810	6		
			7		
		73990	6		
Venustiano Carranza	$DRT \leq 3$	73520	13	16 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano (94.82%)	
			23		

Tabla 10.-Nivel de DRT por km y temperatura que se encuentra según la ubicación de las estructuras que presentaron falla por impacto con descargas atmosféricas en el 2018.

Representación geográfica de fallas registradas por descarga atmosférica en el año 2017, se realiza con ayuda del sistema Google Earth, las marcas de posición se simbolizan con iconos amarillos con el nombre de la terminación de la línea el número de estructura y como descripción el origen de falla el cual es únicamente por descarga atmosférica

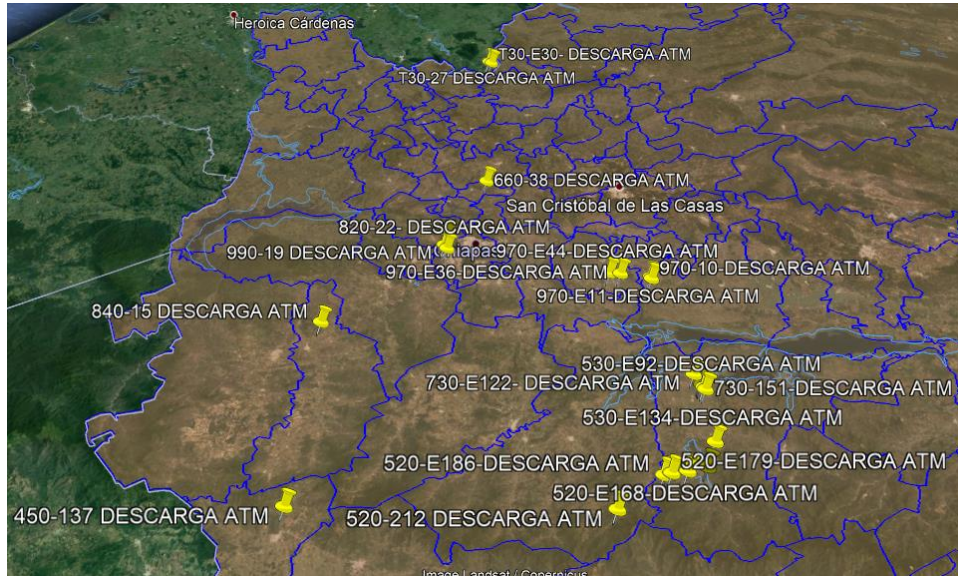


Figura 29.-.- Localización de puntos donde se presentaron falla originados por descargas atmosféricas en el 2017.

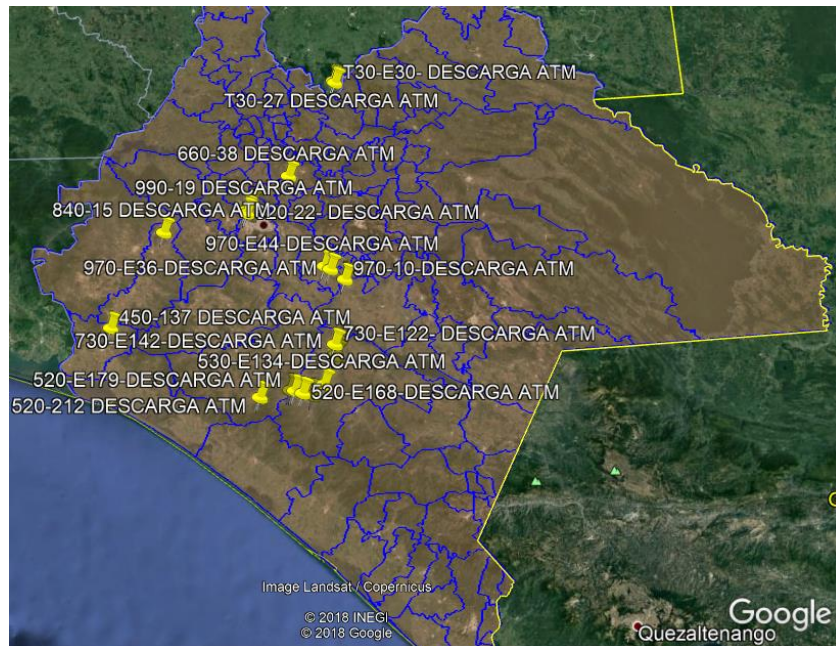


Figura 30.-Vista completa de localización en puntos donde se presentaron fallas originadas por descargas atmosféricas en el 2017.

Se identifican zonas con mayor número incidencia por descargas atmosféricas, considerando el mapa de isolíneas representando la densidad de rayos a tierra por km² al año. Que acontecieron exclusivamente en el año 2017.

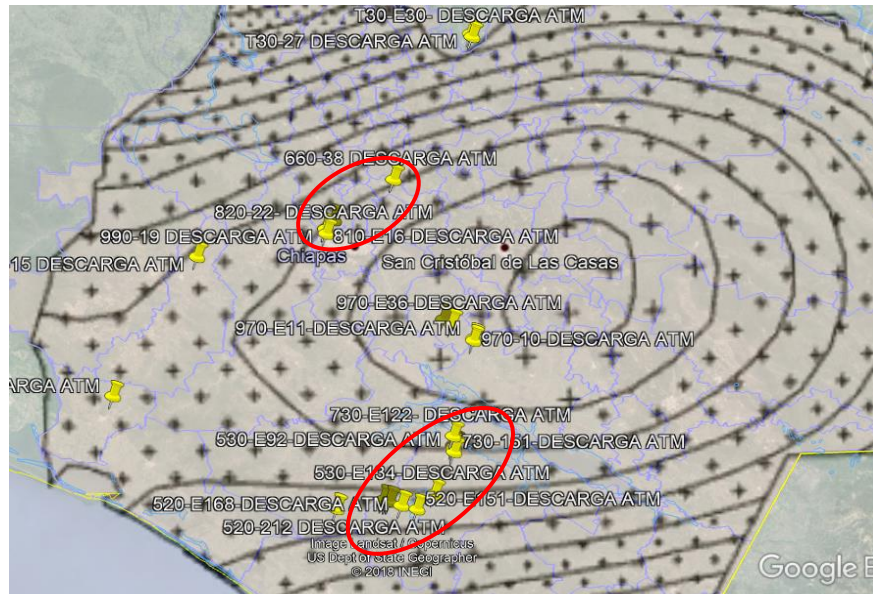


Figura 31.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2017.

Las líneas de subtransmisión que presentaron con más frecuencia disparos se localizaron en 9 municipios en el 2017, en la siguiente tabla se presenta información obtenida con respecto a las zonas localizadas, se analiza información según al mapa de densidad de rayos a tierra (DRT) por km² al año, la temperatura promedio en el municipio y la humedad que se obtiene en las lluvias.

Municipio	DRT por km ² al año	línea	Núm. Torre	Temperatura y humedad en lluvias	
Huitiupan	4 < DRT ≤ 5	73T30	27	18 – 26°C, Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (42.20%)	
			30		
			59		
Soyaló	3 < DRT ≤ 4	73660	38	20 – 28°C, Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (41.80%)	
Acala	DRT ≤ 3	73970	36	22 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (81.54%)	
			44		
Tuxtla Gutiérrez	3 < DRT ≤ 4	73990	19	17.5°C-30°C, presenta lluvias todo el año, presenta clima Cálido húmedo (54%)	
			73650		71
			73820		22
			73810		16
Jiquipilas	3 < DRT ≤ 4	73840	15	16 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (33.36%)	
Venustiano Carranza	DRT ≤ 3	73970	10	16 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano (94.82%)	
			11		
Villa			212	14 – 26°C, Cálido subhúmedo con	

<i>Corzo</i>	$3 < DRT \leq 4$	73520		lluvias en verano, más húmedo (48.26%)
<i>Arriaga</i>	$3 < DRT \leq 4$	73450	137	16 – 30°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (62.72%)
<i>Concordia</i>	$3 < DRT \leq 4$	73730	122	14 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (72.71%)
			138	
			140	
			142	
		73530	92	
			134	
		73520	151	
			168	
			179	
180				
		186		

Tabla 11.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2017.

Representación geográfica de fallas registradas por descarga atmosférica en el año 2016, se realiza con ayuda del sistema Google Earth, las marcas de posición se simbolizan con iconos rojos, únicamente se toman en cuenta datos básicos para analizar zonas donde se localizaron fallas por rayos e identificando si cuentan con alto nivel de DRT por km².

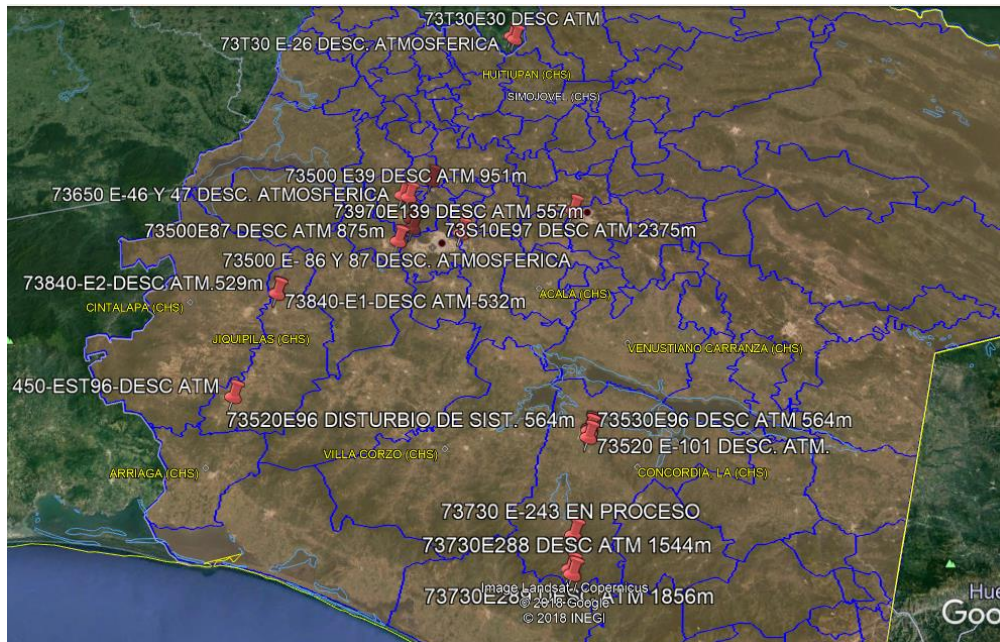


Figura 32.-Localización de puntos donde se presentaron falla originados por descargas atmosféricas en el 2016.

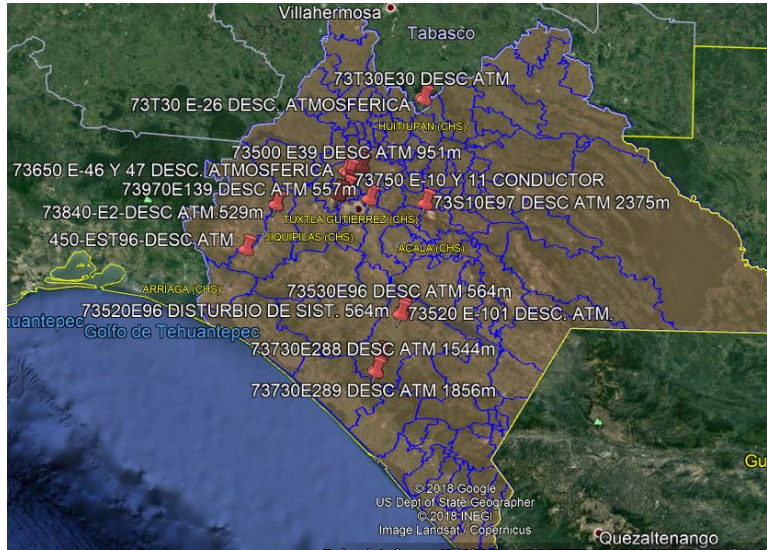


Figura 33.-Vista completa de localización en puntos donde se presentaron fallas originadas por descargas atmosféricas en el 2016.

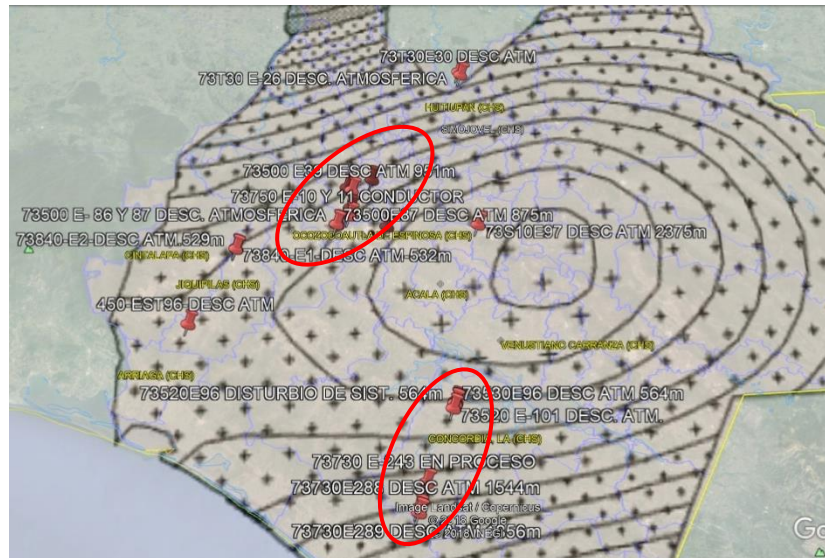


Figura 34.-Análisis de zonas con alto nivel de DRT por km² en puntos que presentaron falla originado por descargas atmosféricas en el 2016.

<i>Municipio</i>	<i>DRT porkm² al año</i>
Concordia	$3 < DRT \leq 4$
San Cristóbal	$DRT \leq 3$
Tuxtla Gutiérrez	$3 < DRT \leq 4$
Jiquipilas	$3 < DRT \leq 4$
Berriozábal	$3 < DRT \leq 4$
Osumacinta	$3 < DRT \leq 4$
San Fernando	$3 < DRT \leq 4$

Tabla 12.-Municipios donde se presentaron disparos en el 2016 y el nivel DRT km² al año.

LÍNEA	NÚM. EST	TIPO	CONCEPTO	FECHA	ATENDIDA
73970	140	TAS	sin apartarrayo, aislador sucio, tierra rota pata 1	09/10/2018	No
	141	TAS	sin apartarrayo, aislador sucio, tierra rota pata 1	09/10/2018	No
73520	11	TAS	sin apartarrayo, requiere soldadura tierras patas 2 y 4 rotas	15/06/2018	Si
	12	TAS	sin apartarrayo, requiere soldadura tierras pata 3 rota	15/06/2018	Si
	13	TAS	sin apartarrayo, tierras sueltas no se ve soldadura	15/06/2018	Si
	14	TAS	sin apartarrayo, tierras sueltas no se ve soldadura	15/06/2018	No
	30	TAS	sin apartarrayo, tierras rotas pata 1 en soldadura	06/06/2018	Si
	23	TAS	Sin 3 apartarrayos en línea 530, tierra desoldada pata 1.	06/06/2018	Si
73530	29	TAS	pata 2 requiere soldadura	06/06/2018	Si
	30	TAS	Tierra rota en pata 1.	06/06/2018	
	37	TAS	Mantenimiento urgente en sistemas de tierra, continuidad y conectores, tierra en pata 2.	06/06/2018	Si
	186	TAS	Mantenimiento urgente al sistema de tierra, continuidad y conectores, tierra en pata 1 rota.	31/07/2017	No
73730	29	TAS	pata 2 requiere soldadura	06/06/2018	Si
	42	TAS	tierras desoldadas en patas 1,2 y 3	06/06/2018	Si
73450	96	TAS	mantenimiento menor a sistemas de tierra	04/03/2018	Si
73S10	68	TAS	tierras cortadas pata 2 y pata 4	14/03/2018	No
	70-77	TAS	sistema de tierra, patas rotas 2,3,4	14/03/2018	Si
	81	TAS	sistema de tierra rotas	15/03/2018	No
	129	TAS	mantenimiento menor al sistema de tierra fuera del suelo	13/06/2019	Si
	130	TAS	mantenimiento menor al sistema de tierra fuera del suelo	13/06/2019	No

Tabla 13.-Datos obtenidos de inspecciones sobre mantenimiento al sistema de tierra.

Reporte de los disparos transitorios múltiples en líneas 73650, 73990, 73370, 73750, 73810. Originado por descargas atmosféricas.

El presente incidente ocurrido por los disparos transitorios múltiples en las líneas JUY-73650-TXU, SAB-73990-TXU, SAB-73370-TXS, SAB-73810-OCZ, SAB-73750-TXN, el viernes 19 de octubre del 2018, debido a la problemática que se presenta en la oficina de líneas de subtransmisión Tuxtla zona sureste, se contribuye a investigar en el caso de los factores implicaron en tal suceso, el cual se obtuvo la siguiente información.

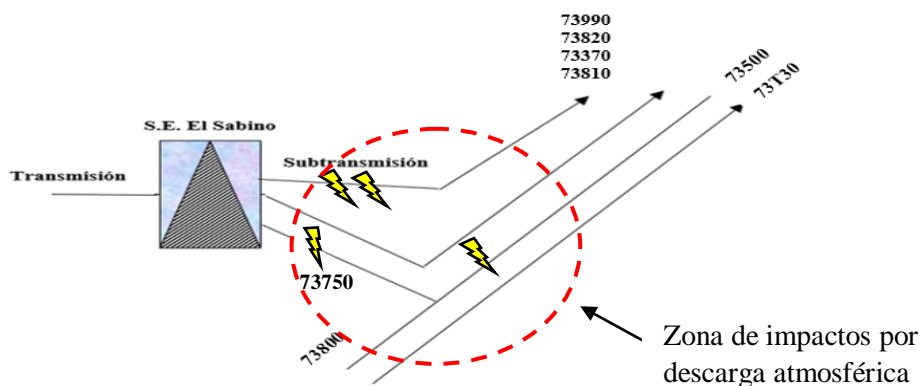


Figura 35.-Esquema de líneas que presentaron falla.

En la **figura 21** se representa un esquema de donde ocurrió el disparo múltiple, identificando la posición real en que están distribuidas las líneas que presentaron falla, se simboliza con iconos de rayos amarillos donde ocurrieron los disparos. En la siguiente tabla especifica en que estructura y línea se detectó sobretensión por la descarga atmosférica.

Simbología	Línea	Núm de Torre	Observación
	73650	67	Aislamiento con flameo en E-7 fase A yB
	73990	6	Aislamiento con flameo en fase B
	73370	6	Aislamiento de vidrio dañado epóxico fase B
	73750	4	Aislamiento de vidrio dañado epóxico fase B
	73810	6	Aislamiento con flameo en fase A
		7	Aislamiento epóxico con flameo fase B

Tabla 14.-Número de estructura y observaciones detectadas en líneas que presentaron falla.

- La primera presencia de disparo múltiple en zona mencionada se dio a cabo el día martes 31 de julio del 2018 abarcando 5 circuitos, estas fueron las líneas 73810 en la estructura 10, línea 73820 en la estructura 6, línea 73370 en la estructura 7, línea 73990 en las estructuras 6, 7,8 y 31, línea 73350 en la estructura 80, todas originadas por descarga atmosférica.
- Posteriormente el lunes 27 de agosto del 2018, se ve en afectación la línea 73350 en la estructura 53 por descarga atmosférica, tres días después el jueves 30 de agosto del 2018 se presenta falla por descarga atmosférica en la línea 73810 y 73990 en la estructura 7.



Figura 36.-Representación geográfica del disparo múltiple.

3.2 Evidencias de actividades en campo

Aislamiento de vidrio flameado en línea de subtransmisión 115 kv circuito 73750 en la estructura 4, el viernes 26 de octubre del 2018, Detectando señales de impacto por descarga atmosférica observando deterioro en la parte superior flameada, demasiada suciedad en los discos del aislador siendo este motivo significativo que contribuyo a la vulnerabilidad de no cumplir con el correcto funcionamiento del aislador.



Figura 37.-Aislamiento de vidrio flameado de la línea 73750 estructura 4, fase B.



Figura 38.-Aislamiento de vidrio flameado con exceso de contaminación de la línea 73750 estructura 4, fase B.

Aislamiento de porcelana explotado en línea de subtransmisión 115 kv circuito 73650 en la estructura 67, el viernes 26 de octubre del 2018, se encuentra impacto de descarga atmosférica dejando señales en la parte superior en los primeros discos se observan flameados y en el último disco explotado, se localiza exceso de contaminación debajo de los discos de porcelana.



Figura 39.-Aislamiento de porcelana flameada con exceso de contaminación y último disco explotado en la línea 73650 en la estructura 67, fase B.



Figura 40.-Aislamiento de porcelana flameada en los primeros discos parte superior en la línea 73650 estructura 67, fase B.

Inspeccion en sustitución de aislamiento e instalacion de apartarrayo: realizada el miercoles 31 de octubre del 2018, la maniobra a realizar es cambio de aislador e instalacion de apartarrayo tipo ALEA clase 2 en la línea 73810 en la estructura 6, se observan las siguientes características la estructura es tipo TAS de suspensión, cuenta con 2 hilos de guarda, esta torre soporta cuatro circuitos los cuales son 73990, 73820, 73370, 73810.

La línea 73990 cuenta con aisladores de vidrio en las tres fases, la línea 72820 con dos aislador de vidrio en la fase “A” y dos aisladores epóxicos en la fase “B” y “C”, la línea 73370 consta de dos aislador de vidrio en la fase “A” y dos aisladores epóxicos en la fase “B” y “C”, la línea 73810 cuenta con aislamientos epóxicos en las tres fases.

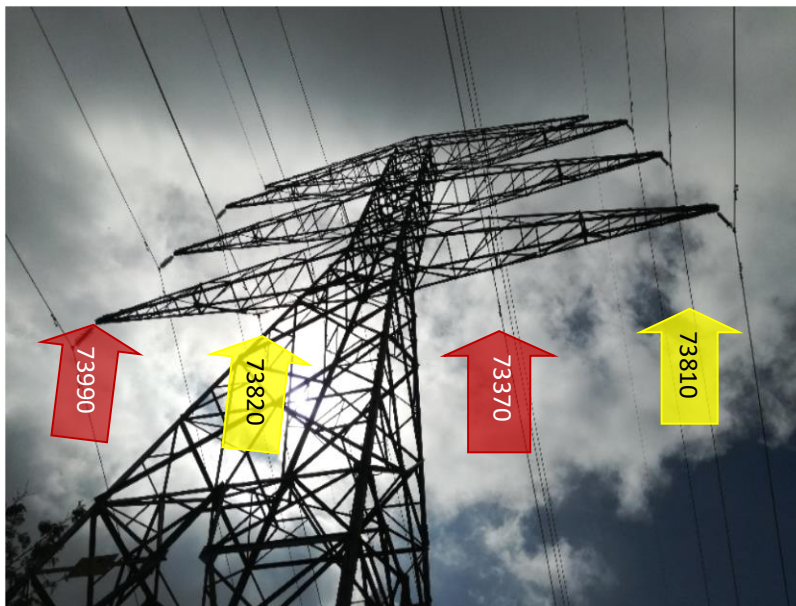


Figura 41.-Estructura 6 tipo TAS de suspensión soporta cuatro circuitos 73990, 73820, 73370, 73810, cuenta con dos hilos de guarda.

La estructura no cuenta con apartarrayos en los cuatro circuitos, se encontraron las varillas del sistema de tierra enterradas en las patas 1, 2, y 4, unicamente se logro medir resistencia del sistema de tierra en la pata 3 teniendo como valor 623Ω , se observo que la estructura se encuentra en terreno pedregoso las patas de la estructura cuentan con una base de concreto por el exceso de rocas que se tiene en esa zona.

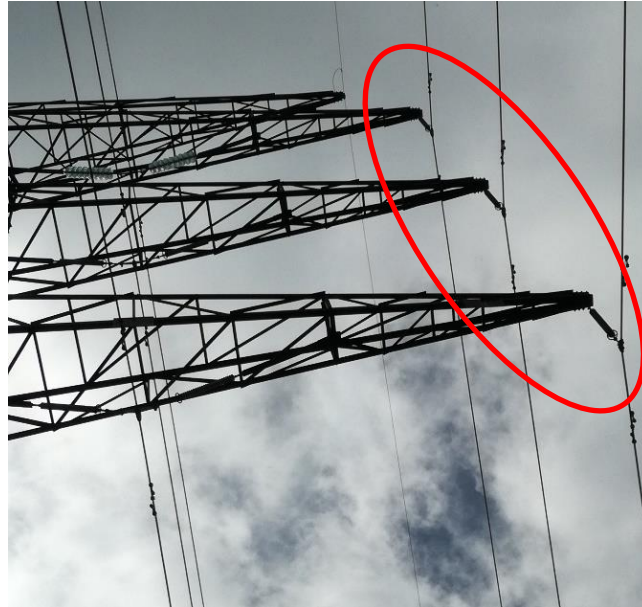


Figura 42.-Se percibe en la línea 73810 contiene en las tres fases aislamiento epóxico.

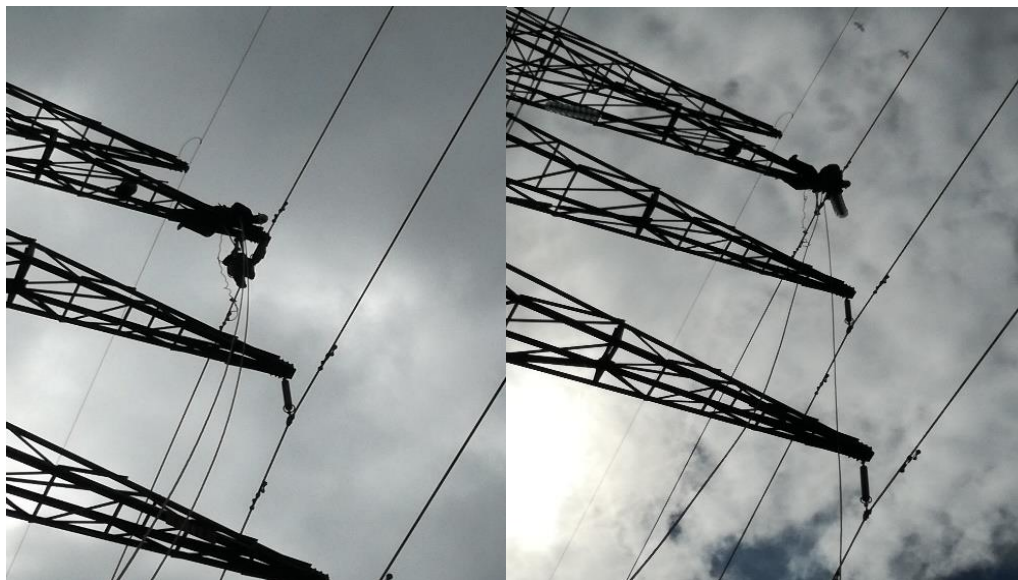


Figura 43.-Sustitución de aislamiento epóxico por aislamiento de vidrio en fase “A”, línea 73810.



Figura 44.-Instalación de Apartarrayo tipo ALEA, clase 2, en fase “A” y “B” en la línea 73810.



Figura 45.-Se observa tipo de suelo rocoso.



Figura 46.-Evidencia de varillas de tierra enterradas en pata 1, 2 y 4.



Figura 47.-Medición del sistema de tierra en la pata 3 a la estructura 6 en la línea 73810.

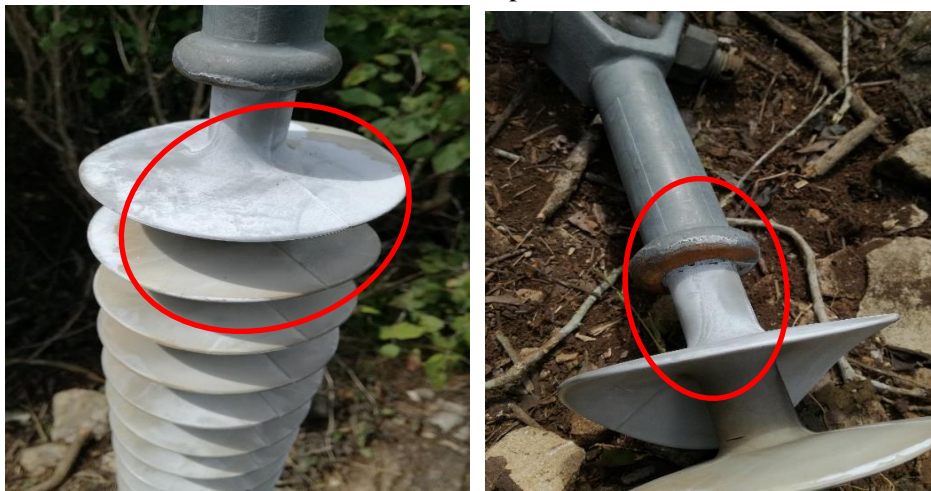


Figura 48.-Evidencia de aislamiento epóxico flameado, se observa contaminación por polvo y corrosión en la parte metálica superior del aislamiento.



Figura 49.-Se encuentra zona destrozada en la parte inferior del aro metálico y material degradado en los discos del aislador epóxico.

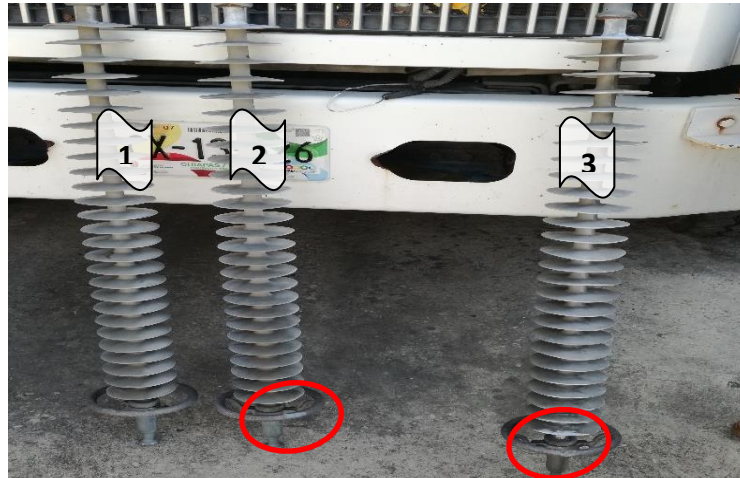


Figura 50.-Aislamientos dañados en el aro metálico y con marcar de flameo aislamiento 1 y 2 se encontraban en la línea 73370 en la fase “A” Y aislamiento 3 de la línea 73810 fase “A”.

Inspección de contaminación en aisladores en línea 73350 estructura tipo TAS número 71, el lunes 5 de noviembre del 2018, se inspecciono la estructura 70 donde realizaron limpieza de aislamiento, por consiguiente nos trasladamos a la estructura 71 pertenecientes al municipio de San Fernando, se observó con excesiva contaminación (lana verde) como se presentan en las siguientes ilustraciones, se encontró que tiene 2 hilos de guarda, aislamiento de vidrio en las tres fases, y se localiza en una zona plana.



Figura 51.-Estructura 71, tipo TAS soporta la línea 73350.



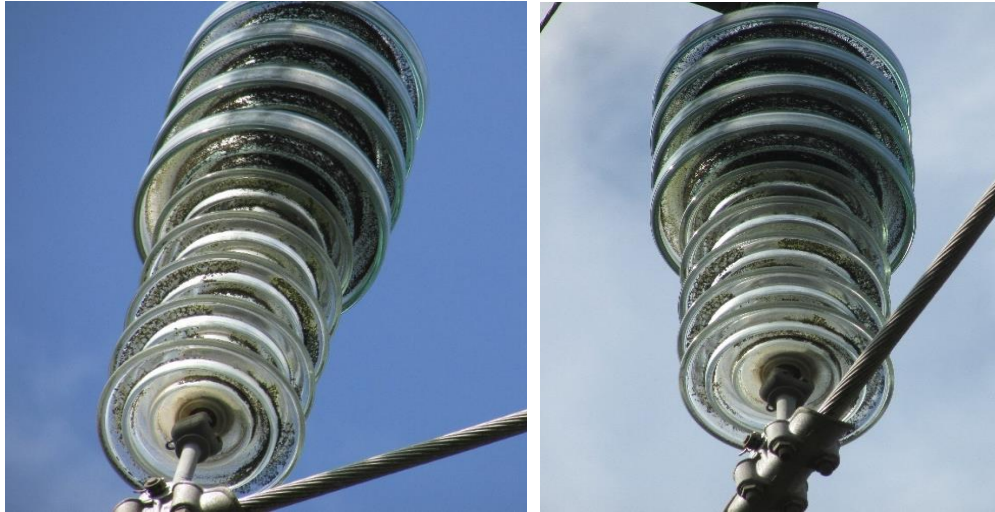


Figura 52.-Estructura número 71 aislamientos de vidrio contaminados en fase A, B Y C.

Medición de resistividad del terreno y del sistema a tierra a la estructura número 124 línea 73450 Cintalapa 2 – Liberación Mexicana- Arriaga, el día miércoles 7 de noviembre del 2018, la estructura se encuentra en una colina alta, con vientos fuertes, consta de un hilo de guarda y con aislamientos de vidrio en las tres fases, tras el historial de fallas que han ocurrido en esta zona las cuadrillas se encuentran trabajando en mejorar el sistema de tierra y arreglos al hilo de guarda aislando ambos extremos.



Figura 53.-Ubicación de la estructura número 124 de la línea 73450.



Figura 54.-La resistencia de la pata 1 tiene un valor de 0.390Ω , se detectan conectores de varilla inadecuados se requiere de soldadura para mejores resultados de uso.



Figura 55.-La resistencia de la pata 4 tiene un valor de 84.96Ω .



Figura 56.-La resistencia de la pata 3 tiene un valor de 268Ω .



Figura 57.-La resistencia de la pata 2 tiene un valor de 214.5 Ω , aquí se trabaja para la mejora del sistema a tierra.

Medición de la resistividad del terreno la resistividad del terreno es la cantidad geológica y física para el cálculo y diseño del sistema según la profundidad y grueso de la roca. El procedimiento de medición aplicado a continuación lleva por nombre método wenner, se procedió a preparar el equipo fluke 1625 user manual, consta de 4 rollos de cables rojo, negro, azul y verde, 4 electrodos y la pantalla del medidor, la distancia entre electrodos fue de 3 metros y la segunda medición fue cada 4 metros.



Figura 58.-Instalación de los 4 electrodos para realizar la medición de resistividad del terreno. El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos exteriores C1 y C2, mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos interiores P1 y P2, en la primera medición se obtuvo una lectura del terrometro en ohms siendo de 38.5 Ω , la distancia entre electrodos fue de 3 metros y la profundidad de enterrado de los electrodos fue de 0.15 metros.



Figura 59.-Canal donde se realizaron las mediciones y resultados de la resistividad del suelo con distancia de 3 metros entre varillas.

Se utilizan las siguientes formulas para obtener la resistividad promedio del terreno:

$$P = \frac{4\pi aR}{\frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}} \quad ; \quad P = 2\pi aR$$

Datos:

P: Resistividad promedio a la profundidad (a) en ohm-m

a: Distancia entre electrodos en metros

b: Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R: Lectura del terrómetro en ohms

$$P = \frac{4\pi 3(3.85)}{\frac{2(3)}{\sqrt{3^2+4 \cdot 0.15^2}} - \frac{3}{\sqrt{3^2+0.15^2}}}$$

$$P=65.34980 \text{ ohm/mts}$$

$$P = 2\pi 3(38.5)$$

$$P= 72.570 \text{ ohm/mts}$$

Se realiza la segunda medición con dos escalas, con distancia entre electrodos de 4 metros



Figura 60.-Se realiza la segunda medición.



$$P = 2\pi 4(4.34)$$

$$P = 109.07 \text{ ohm/mts}$$

Figura 61.-Se utiliza la escala de 3 kΩ a 4 polos, con una distancia de 4 mts entre electrodo.



$$P = 2\pi 4(2.96)$$

$$P = 74.39 \text{ ohm/mts}$$

Figura 62.-Se utiliza la escala de 300 kΩ a 4 polos, con una distancia de 4 mts entre electrodo.

3.3 Factores que influyen al mal funcionamiento de los apartarrayos tipo ALEA, clase 1, fallados

De acuerdo a las pruebas realizadas del informe No: K3411-18-2014 entregado por LAPEM (Laboratorio De Pruebas De Equipos Y Materiales) de nombre “Análisis de falla de apartarrayos de línea tipo ALEA con gap en aire de las líneas pertenecientes a la CFE Zona de Distribución Los Ríos”. Se realiza derivado de las fallas de apartarrayos de línea marca MAPPEC, tipo ALEA, clase 1, en la línea de tensión nominal 115 kV, TNQ-73410 perteneciente a la CFE. (ANEXO D)

El proyecto tiene como objetivo identificar el modo de falla de los apartarrayos Marca MAPPEC tipo ALEA, Clase 1, describiendo los factores de falla más probable a la causa raíz, de acuerdo a la información proporcionada por dicho informe cabe destacar que se analizaron tres apartarrayos tipo ALEA, clase 1, fallados que han estado en operación, tres apartarrayos tipo ALEA, clase 1, aparentemente en buen estado y con fines comparativos envían tres apartarrayos tipo ALEA, clase 3.

El informe no presenta como alcance evaluar la tensión de flameo del gap en el aire, ni la evaluación del índice de salidas de la línea por descarga atmosférica. Es así como se desarrolla una serie de hipótesis en base los datos recabados en el informe, inspecciones, estadística de veces que impactaron rayos a la línea, supervisiones en campo, con el objetivo de analizar detalladamente los factores que influyen en la vulnerabilidad de los apartarrayos tipo ALEA, clase 1, esto lleva a tener una mejor selección e instalación de apartarrayos.

- 1) Se pierde la hermeticidad en la envolvente polimérica en el apartarrayos. Tomado en cuenta que el apartarrayos consta de tres secciones de varistores cubiertas por concreto y envolvente polimérica, los probables puntos donde se pierde la hermeticidad son los acoplamientos entre secciones y acoplamientos con las terminales metálicas para los herrajes de sujeción a la torre y los del gap en aire.
- 2) Ingreso de humedad a la columna de varistores.
- 3) Diferencias en los esfuerzos térmicos en los varistores. Debido a que la humedad en la columna de los varistores no es uniforme. Cuando actúa el apartarrayos conduciendo corrientes de descarga algunos varistores conducirán mayor corriente que otros, ya que la humedad cambia la distribución de tensión de diseño uniforme.
 - Deterioro incipiente en los varistores que tienen mayor esfuerzo térmico.
- 5) Modificación de las condiciones de operación en la columna de varistores debido a la degradación de algunos varistores. Cuando se modifican las condiciones de operación de la columna de varistores con respecto a las condiciones de diseño, provocando que continúen y se incremente este deterioro incipiente en forma paulatina hasta que lo lleva a un punto de inestabilidad térmica por lo que;
 - Falla del apartarrayos.

- 6) Este mecanismo de falla es un proceso que se desarrolla a largo plazo. Desde el momento de la puesta en servicio hasta la falla pueden pasar varios años de operación.
- 7) Se localizaron ocho apartarrayos tipo ALEA, clase 1, explotados en el periodo del 2017 y 2018 en las líneas 73520, 73530 y 73730, se comprueba que la elección de instalar apartarrayos ALEA C1, es eficaz en zonas geográficas donde las descargas atmosféricas no son muy severas.
- 8) Las zonas que presentaron mayor índice de impactos y en el momento se tenía instalado Apartarrayo ALEA C1, se detectaron en los municipios de la concordia con climas que prevalecen 14 – 26°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (72.71%), en San Fernando de 22 – 28°C, Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (64.10%) y Tuxtla Gutiérrez con 17.5°C-30°C presenta lluvias todo el año, clima Cálido húmedo (54%), considerando estas temperaturas a las que estuvieron expuestos los Apartarrayos ALEA C1 y se vieron en la gravedad de encontrarlos explotados.

3.4 Factores que contribuyeron a las fallas por sobretensiones en las líneas de subtransmisión

Conforme los datos recabados en todas las líneas de subtransmisión, en los tramos que presentaron disparos, se argumentan los posibles factores que intervinieron en el incremento de las fallas por año, así también, fenómenos mencionados como los disparos múltiples, inspecciones en campo y experiencias técnicas de los trabajadores, se presentan los siguientes casos:

Caso 1 Coordinación de aislamiento.

- No se cuentan con datos básicos de la coordinación del aislamiento de las líneas que presentaron falla.
- Envejecimiento o deterioro del aislamiento epóxico. (vida útil)
- Incremento en la distancia de fuga

Caso 2 Tipo de terreno.

- El terreno tiene altos valores de resistividad
- Humedad del terreno durante las lluvias
- No se cuenta con mediciones de resistividad en zonas críticas

Caso 3 Sistema de tierra.

- No funciona adecuadamente el sistema de tierra
- Falta de mantenimiento
- Falta de inspección de los elementos del sistema de tierra
- Valores incorrectos (altos valores de resistencia a tierra)
- No se cuenta con historial de mediciones del sistema de tierra en estructuras críticas

Caso 4 Ondas Viajeras.

- Origina disparos múltiples

Caso 5 Ángulo de blindaje

- Angulo de blindaje incorrecto
- Angulo de blindaje con cobertura inadecuado
- Existe hilo de guarda

Caso 6 Contaminación.

- Por humedad (musgo)
- Por polvo
- Excremento de aves
- Reacción química del ambiente con las partes metálicas
- No se cuenta con la clasificación de la contaminación y el nivel de severidad.

Caso 7 Control de inspecciones y mano de obra defectuosa a la inspección.

- Capacitación inadecuada del personal
- Falta de probidad
- Reportes incorrectos
- Control incorrecto
- Toma decisiones incorrecta
- Falta de presencia del Jefe en los puntos de falla
- Falta de atención de fallas por gran volumen de actividades administrativas en oficina

Caso 8 Factores Meteorológicos

- Incremento de impredecibles tormentas tropicales
- Cambio Climático
- Efecto Tracking en la superficie del material en aisladores poliméricos
- Las líneas de subtransmisión analizadas de la zona sureste de Chiapas se encuentra en un sector de alto nivel de incidencia por descarga de rayos a Tierra por km² al año

4. Resultados y Conclusiones

La implementación de la metodología adecuada para la selección de apartarrayos de línea se completó de manera satisfactoria de acuerdo al análisis fundamentado en un estudio técnico, lógico, estadístico y descriptivo, desde condiciones atmosféricas, factores meteorológicos, la estadística del índice de salida en las líneas provocadas por las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, todo esto con el fin de optimizar el funcionamiento y eficiencia de la colocación de los apartarrayos.

Se realizó un registro de las fallas ocurridas por descargas atmosféricas en el periodo del 2016 al 2018, encontrando fallas francas (criticas) y fallas transitorias. Seleccionando el método más prometedor para la protección de las líneas de subtransmisión, con el fin de optimizar recursos humanos al evitar las inspecciones para localizar las fallas y el

mantenimiento correctivo en su caso, así también, disminuir el número de cadenas de aisladores flameados.

Evitar gastos innecesarios de combustible cuando se tienen alternativas de modernización, de acuerdo al análisis estadístico solicitar los apartarrayos estrictamente necesarios para las líneas, así como, también lograr la disminución de disparos por descargas atmosféricas mejorando la confiabilidad del suministro de energía eléctrica a los usuarios. Tomando en cuenta el historial estadístico e inspecciones se detectaron apartarrayos tipo alea clase 1, explotados en el periodo del 2017 y 2018 en las líneas 73520, 73530 y 73730.

Cabe mencionar que la zona de subtransmisión Tuxtla cuenta con 24 líneas en servicio, los tramos analizados en el proyecto fueron seleccionados por la severa situación de incidencia de rayos a tierra que presentaron en el periodo del 2016 al 2018, no se analizó la línea completa de cada circuito que presento falla por sobretensión por la extensa información del estudio que llevaría por cada circuito, para resultados de mayor ventaja se sugiere analizar las líneas completas para una selección e instalación de apartarrayos.

Conforme a la información extraída por el informe No K3411-18-2014 realizado por el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) se llega a las siguientes conclusiones y sugerencias de mantenimiento para las protecciones de las líneas de subtransmisión:

- De la inspección a los apartarrayos fallados se obtiene información de su diseño interno. Adicionalmente se tiene evidencia de la circulación de corriente de falla de varios kiloampers a través de los varistores como consecuencia de que estos se cortocircuiten cuando presentan falla.
- Para los apartarrayos clase 1 no fallados, el incremento del valor medido de descargas parciales realizadas después de la inmersión en agua con respecto al medido antes, evidencian el ingreso de humedad a la columna de varistores.
- El análisis de la información presentada en el informe se determinó que la causa raíz más probable de falla de los apartarrayos marca MAPPEC, tipo ALEA clase 1, es la pérdida de la hermeticidad, lo que permite el ingreso de humedad a la columna de varistores.
- Para un favorable funcionamiento de las protecciones en las líneas de subtransmisión en necesario que una puesta a tierra deficiente, los rayos ligeramente superiores a 10 KA producen el flameo inverso de los aisladores y como estos rayos son de alta probabilidad de ocurrencia en relación a las zonas críticas ya mencionadas, si tal es el caso de no poder mejorar la resistividad del terreno, recurrimos a la instalación de apartarrayos.
- Se comprobó que la alternativa de instalar apartarrayos ALEA, C-1, es funcional en áreas o zonas geográficas donde las descargas atmosféricas no son muy severas. Las zonas donde se presentaron mayor índice de apartarrayo, C-1 explotados se encuentran en zonas rurales siendo esta una inapropiada elección en las zonas analizadas.

- Se propone como solución favorable el uso de apartarrayos tipo ALEA, clase 2, en zonas con alto nivel de impactos de rayos a tierra por km² y en zonas rurales, teniendo como referencia el uso de los apartarrayo C-2 en puntos críticos por flameos en cadenas de aislamiento, el cual no se han presentado inconvenientes.
- Realizar un registro riguroso en mediciones de resistencia en la red de tierras y resistividad del terreno en zonas donde se identificaron fallas francas, recomendando realizar estas pruebas en épocas del año, cuando la sequía sea más intensa para obtener valores críticos.
- Limpieza de aislamiento cada 9 meses en zonas de abundante contaminación y para zonas de nivel medio de contaminación cada 2 años.
- Se sugiere que las cuadrillas presenten evidencia fotográfica al entregar formatos de planeación de maniobra, especificar detalladamente en la elaboración de inspección mayor y cumplir con el llenado correspondiente para un mejor control de inspecciones, procurando la falta de probidad de los trabajadores.

Se presenta la siguiente tabla con propuesta en base la metodología para la reducción de las salidas por descargas atmosféricas en líneas de subtransmisión proponiendo como solución favorable el uso de apartarrayos tipo ALEA, clase 2, sugiriendo prevalecer un control estricto y específico en mantenimiento, Se indica el número de estructura según la línea a trabajar y la propuesta de solución indicando en las tablas únicamente el número según sea el mantenimiento que se sugiere:

1= Mantenimiento a varillas de Tierras rotas y mediciones

2= Apartarrayo tipo ALEA, clase 2

3= Incremento de la distancia de fuga

4= Realizar registro riguroso en mediciones de resistencia en la red de tierras y resistividad del terreno

5= Limpieza de aislamiento cada 9 meses en zonas que se detecten abundante contaminación de y polvo, para zonas de nivel medio de contaminación cada 2 años.

6= Mejorar el sistema de Tierra

6.-Mejorar el sistema de Tierra

LÍNEA ANG-73990-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73L00-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73T30-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
5	2-4	8	5	26	5-4
6	2 -4-6	9	2-4-6	27	2-4-6
7	2-4	10	2-5	28	5-4
8	2-4-6	11	2-5	29	5-4

9	2-4	12	2-4-6	30	2-4-6
15	2-4	13	5	31	5-4
16	2-4-6	19	5	76	5-4
17	2-4-6	20	2-4-6	74	2-4-6
18	2-4	21	5	75	5-4
30	2-4	232	2-5	91	5
31	2-4-6	233	2-4-6	92	2-4-6
32	2	234	2-5	93	5-4

Tabla 15.-Propuesta de línea 73990, 73L00 y 73T30.

LÍNEA ANG-73650-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73810-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73970-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
48	2	5	2-4	35	4-5
49	2-3-4	6	2-4-6	36	2-5
50	2-3-4	7	2-4-6	37	4-5
51	2	8	2	116	2-5
66	2	9	4-5	126	2-6
67	2-4	10	2-4-6	127	4-5
68	2	11	4-5	128	2-4-5-6
70	2	15	4-5	140	1-2-5
71	2-6	16	2-4-6	141	1-2-5
72	2	17	4-5	142	2-5

Tabla 16.-Propuesta de línea 73650, 73810 y 73970.

LÍNEA ANG-73510-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73S10-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73820-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
81	1-4	68	1-4	5	4-5
82	1-4	70	1-4	6	2-4-6
83	2-4-6	71	1-4	7	4-5
84	1-4	72	1-4	10	4-5
85	1-4	73	1-4	16	2-4-6
133	1-4	75	1-4	17	2-4-5
134	1-4	77	1-4	21	2-4-5
135	1-4	81	1-4	22	2-4
136	1-4	129	1-4		
137	1-4	130	1-4		

Tabla 17.-Propuesta de línea 73510, 73S10 y 73820.

LÍNEA ANG-73800-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73840-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73370- MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
2	2-3-5	14	5	5	2-5
3	4-5	15	5	6	2-4-6
4	2-3-5	16	5	7	2-4-6
5	4-5	42	2-4-5	8	2-5
11	4-5	43	2-4-6	15	5
12	2-4-5	44	2-4-6	16	2-4-6
13	4-5	45	2-4-5	17	5

Tabla 18.-Propuesta de línea 73800, 73840 y 73370.

LÍNEA ANG-73520-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73520-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73530- MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
11	1-4	180	2-4-6	22	4-5
12	1-4	185	2-4	23	1-2-4
13	1-2-5-6	186	2-4-6	24	4-5
14	1-2-4	187	2-4	25	4-5
15	4-5	222	2-4	29	4-5
22	4-5	223	2-4-6	30	1-4-5
23	2-4-5-6	224	2-4	31	4-5
24	4			36	4-5
25	1-4			37	1-4-5
30	1-4			38	2-4-5
94	2-4			59	2-4-5
95	2-4-5-6			60	2-4-5
150	2-4			61	2-4-5
151	2-4-6			66	2-4-5
152	2-4			67	2-4-5
167	2-4			68	2-4-5
168	2-4-6			134	4-5
169	2-4			186	1-4-5-6
179	2-4-6			187	4-5

Tabla 19.-Propuesta de línea 73520 y 73530.

LÍNEA ANG-73730-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73450-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
122	2-4-6	62	2-4
125	2-4	63	2-4-6

138	5	64	2-4
140	5	123	2-4
142	2-4	124	2-4-6
143	4-5	125	2-4
226	2-4-6	128	2-4
227	2-4-6	129	2-4-6
236	2-4-6	130	2-4
237	2-4-6	143	4-5
284	2-4-6	144	4-5
285	2-4-6	145	4-5
286	2-4-6	136	2-4-5
289	2-4-6	137	2-4-6
290	2-4-6	138	2-4-5

Tabla 20.-Propuesta de línea 73730 y 73450.

LÍNEA ANG-73350-MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	LÍNEA ANG-73750- MAP NO. EST	PROPUESTA DE SOLUCIÓN
52	2-4	3	2-4
53	2-3-4-6	4	2-4-6
54	2-4	5	2-4
79	2-4		
80	2-3-4-6		
81	2-4		

Tabla 21.-Propuesta de línea 73350 y 73750.

Referencias Bibliográficas

- [1] Oscar Jonathan Amaro Sánchez, Héctor Miguel Ortiz Rivera, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. “Metodología Para La Optimización En La Aplicación De Apartarrayos De 400 Kv”, Octubre 2011.
- [2] Enrique Zapata Pérez, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. “Protección de líneas de distribución, contra descargas atmosféricas con apartarrayos de óxidos metálicos”, Noviembre 2008.
- [3] José Roberto Duarte Gómez, Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad Zacatenco, México, D.F. “Blindaje en líneas de transmisión”, Mayo 2010.

[4] Fernando Elizarraraz Rivera, Sergio A. Corrales Sánchez, Dirección de Modernización Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales, Informe No: K3411-18-2014 “Análisis de falla de apartarrayos de línea tipo ALEA con gap en aire de las líneas pertenecientes a la CFE Zona de Distribución Los Ríos.” 3 Marzo 2014.

[5] Verónica Abelar Mondragón, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” México D.F. “Análisis de la aplicación de apartarrayos en sistemas eléctricos de potencia mediante simulación” Diciembre 2008.

[6] Manual de Comisión Federal de Electricidad, Coordination de Distribution SDD.

[7] J.A. Martínez Velasco, Coordinación De Aislamiento En Redes Eléctricas De Alta Tensión, Mc-Graw Hill

[8] Norma IEC 60071-1 Insulation Coordination Part 1.

Anexos

ANEXO A: Términos en descripción de apartarrayos

-Capacidad de corriente en corto circuito en KA Sim: Valor r.m.s. de la componente simétrica de corriente alterna (ca.) de una corriente de cortocircuito. La componente continua o no periódica de la corriente, no es considerada.

-Tensión nominal a impulsos: Es el valor de cresta de la tensión que aparece entre sus bornes durante el paso de una corriente de descarga. La tensión residual depende de la forma de onda y de la magnitud de la corriente de descarga. Las tensiones residuales se obtienen para diferentes amplitudes de impulsos de corriente tipo rayo 8/20 μ s (por ejemplo 5 kA, 10 kA, 20 kA). Nivel de protección a impulsos tipo maniobra, Ups, es el valor de la tensión residual en la corriente de impulso tipo maniobra 30/60 para la corriente de descarga 0,5 kA, 1 kA o 2 kA.

-Tensión crítica de flameo rayo: Es el valor de cresta de la onda de impulso, que bajo condiciones específicas produce flameo a través del medio circundante en el 50% de las aplicaciones. En esta definición conviene aclarar que se deben aplicar ondas positivas y negativas en el aire para el caso de tensiones inferiores de 230 KV, siendo las ondas positivas las críticas.

-Vibración y resonancia (ciclos Hz): Una línea de transmisión ordinaria es bidireccional; la potencia puede propagarse, igualmente bien, en ambas direcciones. El voltaje que se propaga, desde la fuente hacia la carga, se llama voltaje incidente, y el voltaje que se propaga, desde la carga hacia la fuente se llama voltaje reflejado. Una línea sin potencia reflejada se llama línea no resonante o plana.

Cuando la carga es un cortocircuito o circuito abierto, toda la potencia incidente se refleja nuevamente hacia la fuente. Si la fuente se reemplazara con un circuito abierto o

cortocircuito y la línea no tuviera pérdidas, la energía que está presente en la línea se reflejaría de un lado a otro (oscilara), entre las terminaciones de la carga y la fuente, en forma similar a la potencia en un circuito tanque.

Esto se llama línea resonante. En una línea resonante, la energía se transfiere en forma alternada entre los campos magnéticos y eléctricos de la inductancia y la capacitancia distribuidas. La siguiente figura muestra una fuente, una línea de transmisión, y una carga con sus ondas incidentes y reflejadas correspondientes. La siguiente figura muestra una fuente, una línea de transmisión, y una carga con sus ondas incidentes y reflejadas correspondientes.

-Flameo en seco: El arreglo del circuito de prueba y montaje se debe realizar de acuerdo a lo indicado en la norma IEC 603883-1. Se debe incrementar rápidamente hasta un 75% del valor esperado de flameo, después el incremento de tensión debe ser tal, que el flameo se alcance en un tiempo no menos de 5s y no más de 30 s. La tensión de flameo en seco a 60 Hz de un aislador tipo poste es el promedio de 5 flameos consecutivos, realizados en un tiempo entre 15 s y 5 min.

Si el promedio de la tensión de flameo en seco de las muestras probadas es igual o mayor al 95% de la tensión de flameo en seco nominal.

-Flameo en húmedo: El arreglo del circuito de prueba y montaje se debe realizar de acuerdo a lo indicado en la norma IEC 603883-1. La precipitación y conductividad del agua utilizada deben ser las indicadas en la norma NMX-J-271/. Se debe incrementar rápidamente hasta un 75% del valor esperado de flameo, después el incremento de tensión debe ser tal, que el flameo se alcance en un tiempo no menos de 5s y no más de 30 s.

La tensión de flameo en seco a 60 Hz de un aislador tipo poste es el promedio de 5 flameos consecutivos, realizados en un tiempo entre 15 s y 5 min. Si el promedio de la tensión de flameo en húmedo de las muestras probadas es igual o mayor al 90% de la tensión de flameo en húmedo nominal.

-Descargas parciales: La medición de descargas parciales es un criterio crítico para la inspección de la calidad de los cables eléctricos y los accesorios de los cables durante la puesta en servicio in situ del cable. Unas mediciones de descargas parciales exactas, confiables y reproducibles basadas en las normas IEC 60270, IEC 60840 e IEC 62067, pueden generarse mediante un flujo de trabajo guiado para las pruebas de rutina y las pruebas tipo.

-Resistencia en cantiléver: Es un mecanismo formado por un voladizo corto con preponderancia de transferencia de esfuerzos por ménsula corta o esfuerzo directo por biela comprimida al apoyo (mínima flexión) y con una contra ménsula vinculada a otro punto que genere el equilibrio del conjunto. Este tipo de funcionamiento disminuye sus características tipo cantiléver cuanto más flexible o menos rígido sea, dependiendo de su longitud y fundamentalmente la altura en el apoyo, terminando finalmente en un voladizo o ménsula que transfiere sus esfuerzos por flexión.

-Corrosión: es el deterioro de un material (generalmente metal) o de sus propiedades debido a la interacción con su ambiente.

-Electrodo de Tierra: cuerpo conductor o conjunto de elementos conductores agrupados y en contacto íntimo con la tierra y destinados a establecer una conexión con la misma.

-Tracking: La formación de caminos conductores es un proceso que produce degradación irreversible por la formación de caminos conductores (surcos o tracks) que aparecen y se desarrollan en la superficie del material aislante, estos caminos son conductores incluso en seco.

Anexo B: Mapas de promedio anual de densidad de rayos a tierra.

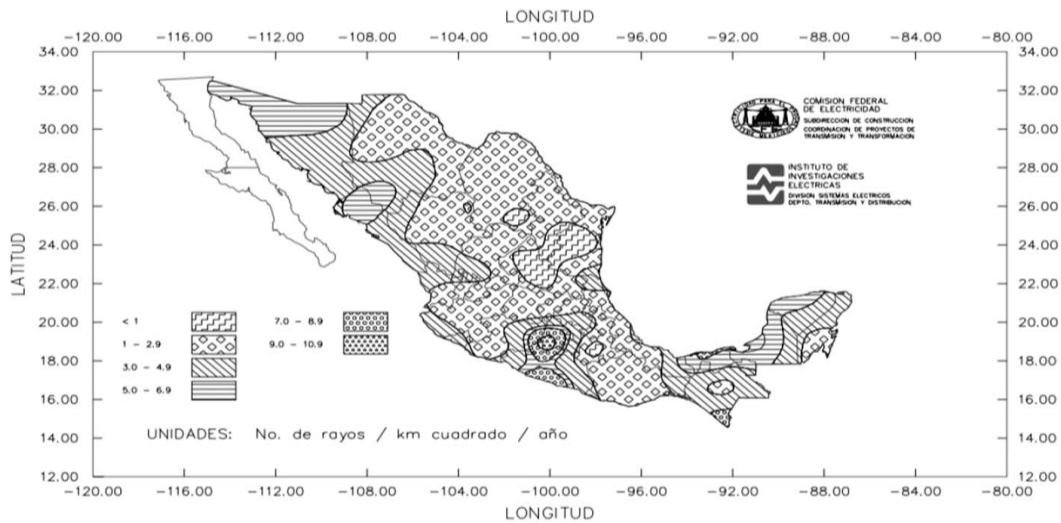
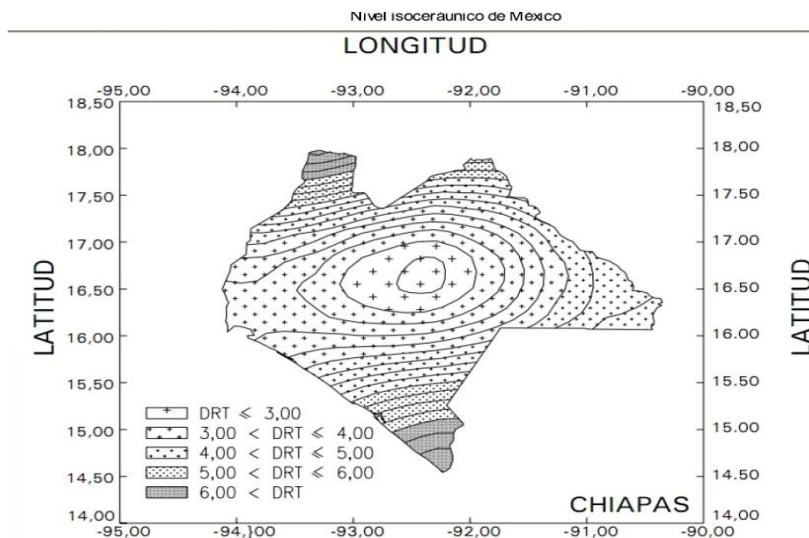


FIGURA 1.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra



Anexo C: Datos básicos de apartarrayos

Los apartarrayos tipo ALEA, proporcionan una barrera que reduce la probabilidad de flameo de las líneas de distribución y transmisión generadas por descargas directas o inducidas; así mismo evita la generación de flameo inverso desde la estructura a las fases. Los ALEA

marca MAPPEC están conformados por un núcleo de varistores de óxido de zinc cubiertos en una envoltente de hule silicón; ofreciendo una mejor resistencia mecánica y permeabilidad contra agua y polvo.

Así mismo cuenta con los herrajes necesarios para la sujeción a la torre y electrodos del entrehierro tanto del lado del apartarrayos como de la línea, además de accesorios opcionales para instalación en torres especiales y postes tipo troncocónico.

Descripción del apartarrayos de subtransmisión									
	ALEA115 C1			ALEA115 C2			ALEA115 C3		
Altura nominal (mm)	550			615			771		
Diámetro nominal (mm)	147			162			215		
Tensión nominal (kV)	115			115			115		
Corriente nominal (kA)	10			10			10		
Capacidad de corriente en corto circuito (kA sim)	20			31.5			50		
Tensión residual a impulso (0.5)I _{nom} , I _{nom} , (2) I _{nom} (kV)	113.4	181.8	266.4	123.9	176.4	283.5	208.0	226.4	255.0
Tensión crítica flameo rayo (kV)	400			400			428		
Vibración resonancia (ciclos-Hz)	1x10 ⁻⁶ -13,6			1x10 ⁻⁶ -14,8			1x10 ⁻⁶ -13,4		
Flameo en seco a 60 Hz (kV)	245			245			245		
Flameo en húmedo a 60 Hz (kV)	217			217			217		
Descargas parciales (pC)	<10			<10			<10		
Resistencia en cantiléver (kN)	0.5			2			4		
Propiedades del Envoltente									
Envoltente	Hule Silicón								
Resistencia a UV (horas)	1000								
Tracking (plano inclinado)	6 / >4								
Rigidez dieléctrica (kV/mm)	>22								
Dureza (shore A)	60-70								

Tabla 1.- Descripción de apartarrayos marca MAPPEC.

Instrucciones para el almacenamiento, transporte y manejo adecuados de los apartarrayos MAPPEC.

Los apartarrayos ALEA no son delicados, por la forma y los materiales que los componen, son frágiles y tienen estructura rígida. Esto significa que son susceptibles a daños por el manejo y/o transporte que no tenga consideración los siguientes puntos:

Debe	No debe
En su embalaje original	
Ser manejado con montacargas de carga frontal	Ser manejado con otro tipo de grúas o montacargas que no sea de carga frontal
Ser almacenado sin exceder la estiba máxima (3 cajas)	Almacenarse con una estiba mayor a la máxima (3 cajas)
Mantenerse en posición horizontal con el lado indicado en el embalaje hacia arriba.	Ser girado o almacenado sin respetar el lado indicado para permanecer hacia arriba
Fuera de embalaje	

Ser manejado con cuidado	Ser aventado/ dejarse caer
Cuando sea transportado en vehículo automotor, debe colocarse sobre superficies lisas, perfectamente sujeto e inmóvil	Ser transportado en vehículo sin estar fijo
De ser necesario, transportar varios apartarrayos formar pirámides de máximo 6 con configuración: 3 en base, 2 en nivel medio y 1 en la parte superior debidamente sujetados	Colocar pirámides de más de 6 apartarrayos
Cargarse entre 2 o 3 personas cuando el peso excede 40kg	Arrastrarse o rodarse colina abajo

Tabla 2.- Instrucción de almacenamiento y transporte de apartarrayos.

En la instalación	
Ser manejado con cuidado	Ser aventado/ dejarse caer
Ser amarrado adecuadamente para evitar que se caiga al subirlo a la estructura. Ser izado con cuidado y si es necesario con ayuda de vientos para no golpear la estructura.	Ser ionizado apoyándose en su totalidad sobre las extensiones o el cuerno de arqueo
Ser manipulado a través del soporte cuando se pretenda girar el apartarrayos en la instalación.	Ser empujado del cuerpo/ cuerno de arqueo para aproximarlos a la línea en la instalación.
Evitarse cualquier tipo de palanca sobre el cuerpo del apartarrayos.	Realizarse palancas con el cuerpo del apartarrayos

Tabla 3.- Instrucción en instalación de apartarrayos.

Anexo D: Informe No: K3411-18-2014 entregado por LAPEM.

“Análisis de falla de apartarrayos de línea tipo ALEA con gap en aire de las líneas pertenecientes a la CFE Zona de Distribución Los Ríos”.

Se analiza la etapa de inspección interna de los apartarrayos fallados y los resultados de las pruebas realizadas en el LAPEM a los apartarrayos clase 1 en aparente buen estado y a los apartarrayos clase 3. Con finalidad de conocer e identificar los componentes del apartarrayos, de la información en inspecciones internas y datos del fabricante. En el informe no se presentó como alcance evaluar la tensión de flameo del gap en el aire, ni la evaluación del índice de salidas de la línea por descarga atmosférica.

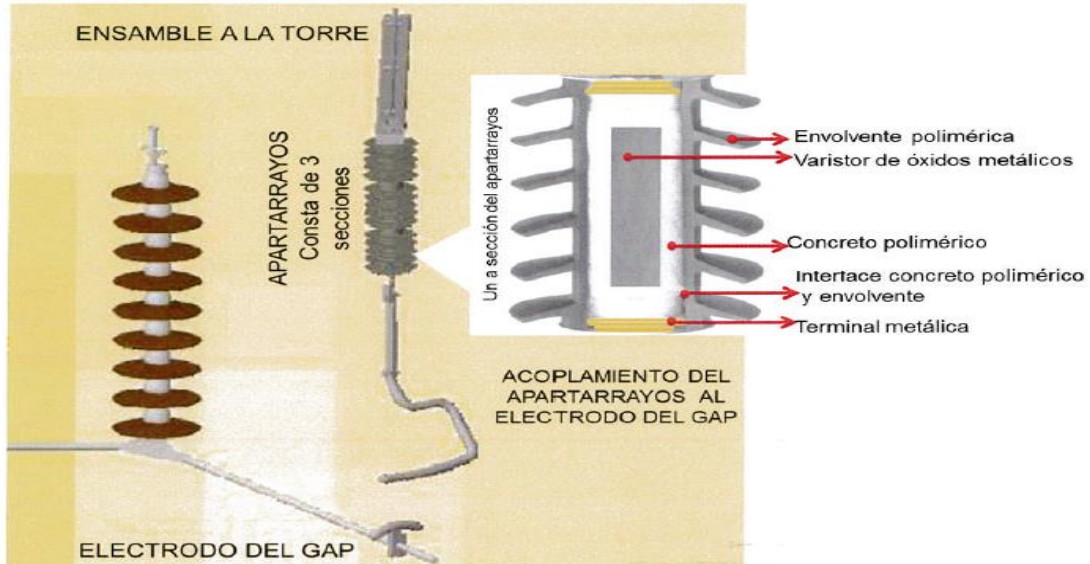


Figura 3.-Esquema del diseño del apartarrayo marca MAPPEC, tipo ALEA.

Se realizaron pruebas en laboratorio e inspecciones a los tres apartarrayos clase 1 no fallados que fueron retirados de las estructuras: 36 fase C, 80 fase B y 81 fase A en la inspección visual se evaluó el estado de la envolvente polimérica, sus interfaces con herrajes y sellado.



Figura 4.- El aislamiento polimérico presenta una hidrofobicidad HC4, conforme a la referencia de IEC, en los tres apartarrayos clase 1 que están en aparente buen estado

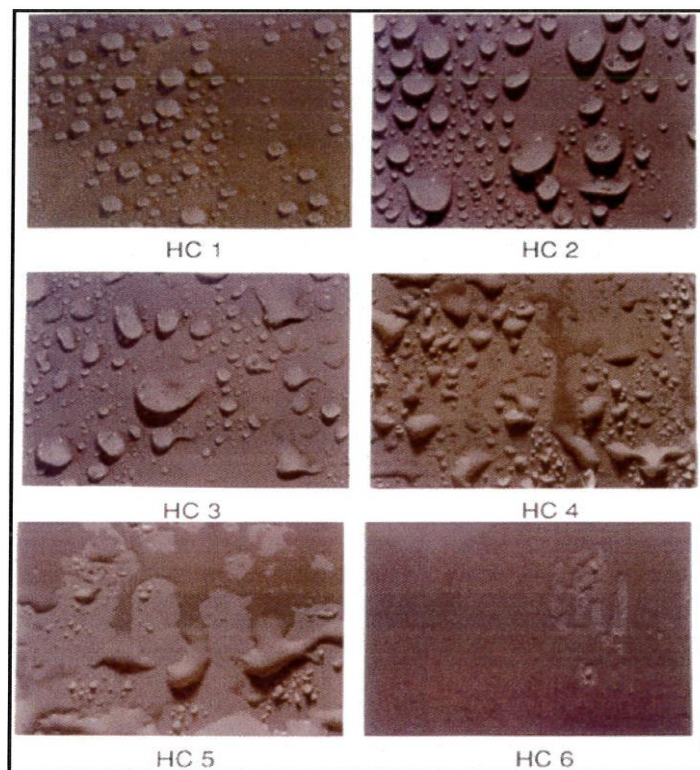


Figura 5.- Clasificación de hidrofobicidad en aislamiento polimérico de según IEC-TS-62073(2003).

Para evaluar el estado de los apartarrayos bajo estudio, las mediciones como referencia de tensión a la corriente de referencia y la medición de descargas parciales fueron en base a la norma IEC 60099-4 edición 2.2 (2009) como pruebas prototipo. La medición de la tensión de referencia a la corriente de referencia antes y después de la inmersión en agua por 24 horas a los apartarrayos no fallados.



Figura 6.- Se evidencia la circulación de la corriente de falla a través de los varistores y no en la interface de estos con la resina epóxico.

Se realizaron inspecciones internas a los tres apartarrayos clase 1 fallados. Estos tres apartarrayos fallados se retiraron de las estructuras: 30 fase A, 32 fase B y 84 fase A.



Figura 7.- La columna de varistores del apartarrayos consta de tres secciones, acopladas mediante conexiones metálicas, todo cubierto por concreto polimérico y una cubierta polimérica.

El dictamen llevo un planteamiento en base a hipótesis de falla y del modo más probable que se encuentran en el equipo, analizando los resultados poder descartar o justificar los principales factores que deterioran el correcto funcionamiento de los apartarrayos de acuerdo a la norma IEC 60099-4 edición 2.2 (2009) cláusulas 3.34, 3.35, 6.2 y 7.2 para medir la tensión de referencia a la corriente de referencia.



Figura 8.- planteamiento de hipótesis de falla y del modo de falla más probable

Datos de la Muestra probada	Clase del apartarrayos	Descargas parciales antes de inmersión en agua (pC)	Tensión (rms) y corriente (pico) de referencia antes de inmersión en agua (kV) (mA)	Tensión (rms) y corriente (pico) de referencia después de inmersión en agua (kV) (mA)	Descargas parciales después de inmersión en agua	Observaciones	Registro de las mediciones
TNQ-73410 Estructura 30 Fase A	1	----	----	----	----	Apartarrayos fallado Solo se inspeccionó internamente	---
TNQ-73410 Estructura 32 Fase B	1	----	----	----	----	Apartarrayos fallado Solo se inspeccionó internamente	---
TNQ-73410 Estructura 84 Fase A	1	----	----	----	----	Apartarrayos fallado Solo se inspeccionó internamente	---
TNQ-73410 Estructura 36 Fase C	1	<17,00 pC @ 54 kV (1) (2)	62,10 kV 3,05 mA	61,9 kV 3,00 mA	34,9 pC @ 54 kV (1) (2) (3)	Después de la inmersión en agua presenta descargas parciales.	Tabla A1 Anexo A
TNQ-73410 Estructura 80 Fase B	1	<18,40 pC @ 54 kV (1) (2)	62,60 kV 3,75 mA	62,10 kV 3,20 mA	488,2 pC @ 54 kV (1) (2) (3)	Después de la inmersión en agua presenta descargas parciales.	Tabla A2 Anexo A
TNQ-73410 Estructura 81 Fase A	1	<18,10 pC @ 54 kV (1) (2)	61,60 kV 4,08 mA	61,30 kV 4,120 mA	104,2 pC @ 54 kV (1) (2) (3)	Después de la inmersión en agua presenta descargas parciales.	Tabla A3 Anexo A
TNQ-73410 Muestra 7	3	<19,20 pC @ 64 kV (1) (2)	78,50 kV 5,90 mA	78,90 kV 8,08 mA	19,60 pC @ 64 kV (1) (2) (3) (4) (5)	Los valores medidos de tensión y corriente de referencia se encuentran dentro de los valores nominales de apartarrayos nuevos.	Tabla A4 Anexo A
TNQ-73410 Muestra 8	3	<18,60 pC @ 64 kV (1) (2)	77,80 kV 7,80 mA	78,00 kV 8,18 mA	18,00 pC @ 64 kV (1) (2) (3) (4) (5)	Los valores medidos de tensión y corriente de referencia se encuentran dentro de los valores nominales de apartarrayos nuevos.	Tabla A5 Anexo A
TNQ-73410 Muestra 9	3	<28,80 pC @ 64 kV (1) (2)	79,00 kV 7,30 mA	79,20 kV 6,58 mA	18,50 pC @ 64 kV (1) (2) (3) (4) (5)	Los valores medidos de tensión y corriente de referencia se encuentran dentro de los valores nominales de apartarrayos nuevos.	Tabla A6 Anexo A

(1) La medición de descargas parciales se realizaron a la tensión nominal del apartarrayos. (2) El ruido de fondo del circuito de medición fue de 17 pC. (3) Las mediciones de descargas parciales después de la inmersión en agua se realizaron al final de 15 minutos de energizar el apartarrayos a la tensión nominal. (4) Para este apartarrayos se estimó una tensión nominal de 64 kV. (5) Aunque la medición de descargas parciales es mayor a 10 pC estas no se atribuyen al apartarrayos ya que el circuito de mediciones tienen un ruido de fondo de 17 pC. (6) Los apartarrayos estuvieron inmersos en agua por un periodo de aproximadamente 24 horas.

Tabla 4.- resultados de las pruebas de descargas parciales y medición de tensión y corriente de referencia.