



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**“MODELADO Y ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE ÁNGULOS DE BLINDAJE DE PROTECCIÓN
CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 400 KV.”**

**Que Para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería Eléctrica**

**Presenta
Ing. José María Castillo Hernández**

**Director de Tesis
Dr. Gastón Hernández Martínez**

**Co-director de Tesis
M.I Alberto de León de León**

Cd. Madero, Tamaulipas.

Diciembre 2019



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Cd. Madero, Tamps., a **26 de Noviembre de 2019**

OFICIO No.: U2.169/19
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS

C. JOSÉ MARIA CASTILLO HERNÁNDEZ
NO. DE CONTROL G12070638
PRESENTE

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su examen de grado de Maestría en Ingeniería Eléctrica, el cual está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE :	GASTÓN HERNÁNDEZ MARTÍNEZ
SECRETARIO :	JOSÉ DE JESÚS DURÓN MENDOZA
VOCAL :	HERMENEGILDO CISNEROS VILLEGAS
SUPLENTE :	RAFAEL CASTILLO GUTIÉRREZ
 DIRECTOR DE TESIS :	 GASTÓN HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

Se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

**"MODELADO Y ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE ÁNGULOS DE BLINDAJE DE PROTECCIÓN
CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 400 KV"**

Es muy satisfactorio para esta División compartir con Usted el logro de esta meta, esperando que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

ATENTAMENTE

*Exceciencia en Educación Tecnológica.
"Por mi patria y por mi bien" ®*

JOSÉ AARÓN MELO BANDA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

c.c.p.- Archivo
Minuta

JAMB 'RCC' Jar



Dedicatoria

Dedicatoria

A Dios por siempre darme todo.

A mis padres.

A mis Hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por jamás abandonarme a donde he ido y siempre tener su bendición en todos los caminos que he emprendido a lo largo de corta mi vida.

Agradezco a las siguientes personas e instituciones por su gran colaboración para la culminación de este proyecto.

A mis padres

Yolanda Hernandez González y Jose Maria Castillo Hernandez por su gran esfuerzo, dedicación y apoyo para conmigo. Dios les de larga vida.

A mis hermanos

Mario Alberto y Víctor Hugo quienes siempre están ahí para reírnos un rato y apoyarnos en los momentos difíciles.

A mi novia Lizzeth Loya Zamarrón por su apoyo en los momentos en que los necesite.

Al Colegio Nacional de Ciencia y Tecnología quien gracias a su apoyo económico pude cursar la maestría y finalizarla.

A mi amado Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con el cual estoy agradecido por aportarme mucho a mi formación académica por medio de mis maestros y doctores.

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación por aceptarme como su alumno dentro de la Maestría. Gracias al personal docente, administrativo y de servicios del mismo.

A mi Director de Tesis, el Dr. Gastón Hernández Martínez por compartirme sus conocimientos, vivencias y experiencias con su constante deseo de trasmitirme los mismo.

A Mi codirector el M.I Alberto de León de León por sus asesorías en diversos temas.

Al M.C José de Jesús Durón por compartirme sus conocimientos en el mundo de sistemas eléctricos de potencia en las ramas de protecciones y estudios.

A los profesores M.C Eduardo Nacu Salas Cabrera quien me dio las bases para potenciar conceptos de ingeniería, al Dr. Rubén Salas Cabrera quien me hizo forjar un poco de carácter. Al M.C Rafael Castillo Gutiérrez quien tiene a bien coordinar la Maestría.

A mis compañeros de generación Lucero, Víctor, Iván, Josué, Jonathan
A los compañeros varios de la MIE quienes aún siguen y quienes ya se fueron,

Un agradecimiento especial al personal de la CFE
Gracias a la EMPRESA y al SUTERM por dejarme colaborar como practicante en 2 ocasiones para mi formación profesional.

A quienes me sugirieron continuar con la maestría una vez finalizada la licenciatura.

A los ingenieros.

Pedro Guevara Osorio, Jorge Luis León Lagunes, Filiberto Morales Hernandez, Rafael Martínez Morales, Marco Antonio García Balderas, Bladimir Hernandez Acosta, Guillermo López Paredes, Leonardo López Mata, Javier Flores Matus, Héctor Ortiz.

A la maestra

Victoria Andrade

A los secretarios generales.

Víctor Daniel Andrade
Humberto Reyes Jiménez

A los señores

Julio Cesar Mora Morin
Oscar Cabrera Valentín (+)

Y en general al personal administrativo muchas, muchas gracias

MODELADO Y ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE ÁNGULOS DE BLINDAJE DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 400 KV

Ing. José María Castillo Hernández

Resumen

Las líneas de transmisión son el elemento más abundante de los sistemas eléctricos de potencia, dicha característica le genera ciertos problemas y ello es debido a su ubicación en el medio ambiente. Las descargas atmosféricas son un fenómeno natural formado por la interacción entre las nubes y el cambio de carga eléctrica entre la tierra, estas poseen una increíble cantidad de energía al momento en que suceden y son uno de los principales causantes de generar problemas en las líneas de transmisión. La Comisión Federal de Electricidad propone la realización de estudio al autor sobre los fenómenos descritos para entender su comportamiento y crear una posible solución o mitigación a dicha área de oportunidad. Se simulan las condiciones reales de la red troncal de 400 kV del sur de México para su estudio.

MODELING AND ANALYSIS FOR DESIGN OF PROTECTION SHIELD ANGLES AGAINST ATMOSPHERIC DISCHARGES ON 400 KV TRANSMISSION LINES

Ing. José María Castillo Hernández

summary

Transmission lines are the most prevailing element in electric power systems, this characteristic generates certain problems and this is due to its location in the environment. Atmospheric discharges are natural phenomenon formed by interactions between clouds and the change of electric charge between earth, they have an incredible amount of energy at the moment they reach the discharge point and also are one of the main causes that generate problems in transmission lines. Federal Electricity Commission proposes to the author, the study of the described phenomena to understand their behavior and create a possible solution or mitigation to this area of opportunity. Real conditions of the 400-kV main electrical network in southern Mexico are simulated for this study

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
RESUMEN DE FALLA.....	2
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVO.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
HIPÓTESIS.....	5
ALCANCES.....	5
LIMITACIONES.....	6
ESTADÍSTICAS.....	7
HISTORIAL DE FALLAS.....	7
FALLAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	8
ANÁLISIS.....	8
ACTUALIZACIÓN.....	9
LA DESCARGA ATMOSFÉRICA.....	10
ORIGEN.....	10
CARACTERÍSTICAS.....	10
FORMACIÓN.....	10
PROCESO Y DESCRIPCIÓN EN EL TIEMPO.....	11
DATOS IMPORTANTES.....	11
TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	12
LA DESCARGA ATMOSFÉRICA COMO TRANSITORIO ELECTROMAGNÉTICO.....	13
SIMULACIÓN DE LA DESCARGA ATMOSFÉRICA EN SOFTWARE.....	14
SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	14
DESCRIPCIÓN.....	14
EMTP RV.....	15
DESCRIPCIÓN.....	15
SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	16
MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	16
MAPA CERÁUNICO.....	16
MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
RED TRONCAL DE 400 KV.....	18
MAPA DE ISODENSIDAD 2013.....	19
MAPA DE ISODENSIDAD 2014.....	20
MAPA DE ISODENSIDAD 2015.....	21

MAPA DE CERÁUNICO 2013.....	22
MAPA DE CERÁUNICO 2014.....	23
MAPA DE CERÁUNICO 2015.....	24
ANÁLISIS DE LOS MAPAS DE ISODENSIDAD Y CERÁUNICO	25
MÉTODO IEEE.....	25
MÉTODO CIGRE.....	26
PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	27
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTORES.....	29
ASPECTO / MODELO ELECTROGEOMÉTRICO.....	30
PARÁMETROS PARA SU CONSTRUCCIÓN	30
FORMULAS.....	30
ESTUDIO ELECTROGEOMÉTRICO.....	30
RADIO CRÍTICO DE ATRACCIÓN.....	31
DESCARGAS INCIDENTES EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.....	32
ELECTROGEOMETRÍA	33
INTERFAZ ELECTROGEOMÉTRICA (VISTA PERFIL).....	34
INTERFAZ ELECTROGEOMÉTRICA (VISTA AÉREA)	35
INTERFAZ ELECTROGEOMÉTRICA (VISTA 3D).....	36
ANGULO DE BLINDAJE.....	37
CLASIFICACIÓN DE ÁNGULOS DE BLINDAJE.....	38
ANÁLISIS ELECTROGEOMÉTRICO.....	39
SISTEMA DE TIERRAS.....	40
ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TIERRAS	41
ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TIERRAS.....	42
CONVERSIÓN RESISTIVIDAD Ω /M A RESISTENCIA Ω	43
MODELADO INTEGRAL DEL SISTEMA A ANALIZAR	45
CARACTERÍSTICAS DEL MODELADO	45
VARIABLES A OBTENER	46
RED MODELADA PARA LA SIMULACIÓN. SE MID.....	47
RED MODELADA PARA LA SIMULACIÓN. SE CHM.....	48
RED MODELADA PARA LA SIMULACIÓN. SE TMD.....	49
RED MODELADA PARA LA SIMULACIÓN. SE TMD CEV.....	50
DETALLES DEL MODELADO IMPLEMENTADO.....	54
FUENTE DE VOLTAJE.....	54
NODO MID.....	54
NODO CHM.....	54
NODO TMD.....	54
EQUIVALENTE DE THÉVENIN	55
EQUIVALENTES DE THÉVENIN DE LA RNT.....	55
NODO MID.....	55

NODO CHM.....	55
NODO TMD	55
OBSERVACIÓN	56
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	56
LT A3360.....	57
LT A3T10	57
LT A3260.....	57
TRANSPOSICIÓN	57
ESTRUCTURA	57
RESISTENCIA A PIE DE TORRE Y RESISTENCIA EQUIVALENTE A RESISTIVIDAD	57
COMPENSACIÓN	58
REACTORES	58
CAPACITOR SERIE.....	58
SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES OBTENIDAS.....	59
LT A3360.....	59
LT A3T10	59
LT A3260.....	59
VARIABLES OBTENIDAS LT A3360 (SOBRE TENSIONES)	60
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	61
ANÁLISIS DE RESULTADOS LÍNEA A3360.....	61
SITUACIÓN ACTUAL - FIGURA (A).....	61
MODIFICACIÓN DE CADENA DE AISLADORES OBTENIENDO BLINDAJE (-) - FIGURA (B)	62
MODIFICACIÓN DE CUPULAS DE GUARDA OBTENIENDO BLINDAJE (-) - FIGURA (C)	63
MEJORA EN EL SISTEMA DE TIERRAS - FIGURA (D)	64
CONCLUSIÓN.....	65
SITUACIÓN ACTUAL.....	65
MODIFICACIÓN DE CADENA DE AISLADORES Y CUPULAS DE GUARDA OBTENIENDO BLINDAJE (-).....	65
MEJORA EN EL SISTEMA DE TIERRAS	65
RECOMENDACIÓN.....	65
VARIABLES OBTENIDAS LT A3T10 (SOBRETENSIONES).....	66
ANÁLISIS DE RESULTADOS LÍNEA A3T10	67
SITUACIÓN ACTUAL - FIGURA (A).....	67
MODIFICACIÓN DE CADENA DE AISLADORES OBTENIENDO BLINDAJE (-) - FIGURA (B)	68
MODIFICACIÓN DE CUPULAS DE GUARDA OBTENIENDO BLINDAJE (-) - FIGURA (C)	69
MEJORA EN EL SISTEMA DE TIERRAS - FIGURA (D)	70
CONCLUSIÓN.....	71
SITUACIÓN ACTUAL.....	71
MODIFICACIÓN DE CADENA DE AISLADORES Y CUPULAS DE GUARDA OBTENIENDO BLINDAJE (-).....	71
MEJORA EN EL SISTEMA DE TIERRAS	71
RECOMENDACIÓN.....	71

ACTUALIZACIÓN Y VIGENCIA.....	72
CÓDIGO DE RED.....	72
IMPLEMENTACIÓN DE APARTARRAYOS DE LÍNEA.....	73
DESCRIPCIÓN.....	73
CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN.....	73
GRAFICAS OBTENIDAS.....	73
SITUACIÓN ACTUAL.....	73
ESTADO ACTUAL + IMPLEMENTACIÓN DE APARTARRAYO.....	74
ESTADO ACTUAL + IMPLEMENTACIÓN DE APARTARRAYO + MEJORA EN SISTEMA DE TIERRAS.....	75
TRABAJOS FUTUROS.....	76
MATERIAL FOTOGRÁFICO.....	78
CÓDIGO MATLAB PARA SIMULACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA.....	83
SOFTWARE UTILIZADO EN SIMULACIÓN.....	88
BIBLIOGRAFIA.....	90

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Historial de Fallas en Líneas ZTC (97-15)	7
Ilustración 2 Origen de fallas en Líneas ZTC 97-15.....	8
Ilustración 3 Proceso Descarga Atmosférica 1	10
Ilustración 4 Proceso de Descarga Atmosférica 2	12
Ilustración 5 Tipos de Descargas Atmosféricas.....	12
Ilustración 6 Grafica Frente de Onda Típica Descarga Atmosférica ATP Draw.....	14
Ilustración 7 Simulación Descarga Atmosferica en EMTP RV.....	15
Ilustración 8 Ubicación Geográfica	17
Ilustración 9 RNT México PRODESEN	18
Ilustración 10 Mapa Isodensidad 2013	19
Ilustración 11 Mapa Isodensidad 2014.....	20
Ilustración 12 Mapa Isodensidad 2015	21
Ilustración 13 Mapa Cerámico 2013.....	22
Ilustración 14 Mapa Cerámico 2014.....	23
Ilustración 15 Mapa Cerámico 2015.....	24
Ilustración 16 Estimado método IEEE.....	25
Ilustración 17 Estimado método CIGRE	26
Ilustración 18 Troncal 400 kV ZTC	27
Ilustración 19 Disposición Geométrica Líneas de Transmisión	28
Ilustración 20 Radio Critico de Atracción	31
Ilustración 21 Descargas Incidentes en LT'S A3360 A3260 A3T10	32
Ilustración 22 Interfaz Electrogeométrica.....	33
Ilustración 23 Interfaz Electrogeométrica (Vista perfil).....	34
Ilustración 24 Interfaz Electrogeométrica (Vista Aérea).....	35
Ilustración 25 Interfaz Electrogeométrica (Vista 3D).....	36
Ilustración 26 Descripción Angulo de Blindaje.....	37
Ilustración 27 Clasificación Ángulos de Blindaje	38
Ilustración 28 Sistema de Tierras En Líneas de Transmisión 1	40
Ilustración 29 Sistema de Tierras en Líneas de Transmisión 2	41
Ilustración 30 Modelado SE MID 400 kV	47
Ilustración 31 Modelado SE CHM 400 kV	48
Ilustración 32 Modelado SE TMD 400 kV	49
Ilustración 33 Modelado CEV TMD +- 300 Mvar	50
Ilustración 34 Modelado TP, TC, Interruptores, Compensación serie.....	51
Ilustración 35 LT A3360 Modelada.....	52
Ilustración 36 LT A3T10 Modelada	53
Ilustración 37 LT A3260 Modelada.....	53
Ilustración 38 fuente de voltaje.....	54
Ilustración 39 Equivalente de Thévenin	55
Ilustración 40 Transposición.....	57
Ilustración 41 Torre de Transmisión.....	57
Ilustración 42 Resistencia a pie de torre	57
Ilustración 43 Reactor.....	58

Ilustración 44 Compensación Serie	58
Ilustración 45 Sobretensión Generada LT A3360 Situación Actual Escenario a	60
Ilustración 46 Sobretensión Generada LT A3360 Mejorando Sistema de Tierras Escenario d.....	60
Ilustración 47 Sobretensión Generada LT A3360 Modificando Cupulas de Guarda Escenario c.....	60
Ilustración 48 Sobretensión Generada LT A3360 modificando cadena de aisladores Escenario b...	60
Ilustración 49 Sobretensión Generada LT A3T10 Situación Actual Escenario a.....	66
Ilustración 50 Sobretensión Generada LT A3T10 Modificando Cupulas de Guarda Escenario c ...	66
Ilustración 51 Sobretensión Generada LT A3T10 modificando cadena de aisladores Escenario b ..	66
Ilustración 52 Sobretensión Generada LT A3360 Mejorando Sistema de Tierras Escenario c.....	66
Ilustración 53 Situación Actual.....	73
Ilustración 54 Implementación de Apartarrayo de Línea Situación Actual.....	74
Ilustración 55 Implementación de Apartarrayo de Línea Situación Actual y mejora de sistema de tierras	75
Ilustración 56 Visita a LT A3260 1	78
Ilustración 57 Visita a LT A3260 2	79
Ilustración 58 Testigo Descarga atmosférica sobre conductor	80
Ilustración 59 Estructura en LT A3360	81
Ilustración 60 Revisión Física Ángulos de Blindaje.....	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción del Proceso de la Descarga Atmosférica	11
Tabla 2 Transitorio Frente Amplio CIGRE	13
Tabla 3 Característica técnica de conductores.....	29
Tabla 4 Incidencia de Descargas	32
Tabla 5 Análisis Electrogeométrico LT A3360 A3260 A3T10.....	39
Tabla 6 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10 1	42
Tabla 7 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10 2.....	42
Tabla 8 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10 3.....	42
Tabla 9 Conversión Resistividad a Resistencia LT A3T10.....	43
Tabla 10 Conversión Resistividad Resistencia LT A3260	43
Tabla 11 Conversión Resistividad Resistencia LT A3360	43
Tabla 12 Características físicas de conductores.....	56

INTRODUCCIÓN.

Las descargas atmosféricas son un fenómeno inherente en la naturaleza, cuyo comportamiento se ha estudiado con los años.

Las líneas de transmisión eléctrica, elemento importante en la conformación del sistema eléctrico de potencia, dada la naturaleza de su ubicación, se vuelve un elemento afín a ser impactados por el fenómeno natural en mención, provocando como resultado el disparo de la línea de transmisión por efectos adyacentes de la descarga atmosférica.

Se han observado en zonas con alto grado de descargas atmosféricas, disparos en las líneas de transmisión con infraestructuras (torres de transmisión) en condiciones especiales, aun cuando estas han sido construidas bajo las normas y/o estándares pertinentes.

Se estima que en el planeta existen alrededor de 2000 tormentas eléctricas en todo momento, lo que resulta en un aproximado de 100 descargas atmosféricas a tierra por segundo a un total de 8 millones de descargas atmosféricas en un día. En 1752 Benjamín Franklin demostró mediante experimentos con su ya celebré cometa, que el rayo era una descarga eléctrica de grandes proporciones.

El estudio sistemático de las descargas atmosféricas producida durante las tormentas eléctricas y sus efectos en las líneas de transmisión, se iniciaron en el año de 1924 en Suecia, debido a que dicho fenómeno natural empezaba a perturbar las líneas de transmisión en aquella época. Por lo cual desde entonces los expertos en alta tensión ponen énfasis en los estudios de fenómenos atmosféricos que de una u otra forma afectarían al sistema eléctrico de potencia.

La Gerencia Regional De Transmisión Oriente de la Comisión Federal de Electricidad consta de 7 Zonas de Transmisión las cuales son: Tampico, Poza Rica, Córdoba, Xalapa, Veracruz, Temascal y Coatzacoalcos. Así como de 4 zonas de operación las cuales son Huasteca, Veracruz, Poza Rica – Teziutlán y Coatzacoalcos Istmo.

Ubicada en el sureste de México se encuentra la ciudad de Coatzacoalcos Veracruz. En dicho sitio está ubicada la Zona de Transmisión Coatzacoalcos.

El Departamento de Líneas de Transmisión tiene muy presente dicho fenómeno descrito con anterioridad, ello es debido a la ubicación natural de las líneas de transmisión con atención particularidad en su situación geográfica debido a que dicha ubicación se sitúa en una región con alto nivel de tormentas eléctricas y descargas atmosféricas, es por ello que se ha puesto atención y énfasis en este estudio que ha tomado dimensiones importantes para la obtención de resultados.

Se realiza el estudio y análisis desde el punto de vista de transitorios electromagnéticos para entender el comportamiento de la descarga atmosférica sobre las líneas de transmisión, así como validar las maniobras realizadas para atenuar dichos fenómenos adversos a la descarga atmosférica y encontrar una posible solución de los mismos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fallas por descargas atmosféricas en líneas de transmisión llegan a registrar porcentajes elevados, más del 60% de las salidas por fallas en la última década fueron por esa causa.

Se tiene conocimiento de zonas con alta incidencia de descargas atmosféricas, como la ubicada en el sureste del Estado de Veracruz donde los estándares y normas inherentes a las buenas prácticas de la ingeniería han sido rebasadas, haciéndolas no convenientes para su práctica.

No existen muchos parámetros que puedan ser modificados para reducir los índices de salidas por descargas atmosféricas, prácticamente son 2.

La selección de un ángulo de blindaje adecuado y un sistema de tierras eficientes.

Por medio del estudio a realizar, se pretende corregir mediante nuevos diseños el sistema de protección primaria contra descargas atmosféricas, basándonos en patrones de observación, modelado y análisis.

A continuación, se muestra un ejemplo de falla causado por descargas atmosféricas.

RESUMEN DE FALLA.

El día 7 de julio del año 2016 a las 02:12:37 horas se dispara la línea de transmisión MID-A3360-TMD, no opera DRM por estar transferido INT-MID-A3360 por A7010

MID (S.E Minatitlán II), TMD (S.E Temascal II) ubicada entre la Zona de transmisión Coatzacoalcos y Zona de transmisión Temascal en el Edo de Veracruz.

ANTECEDENTES

En este evento no se tuvo afectación de cargas.

Las condiciones climáticas al momento de la falla eran de fuerte lluvia con descargas atmosféricas.

Las líneas tienen una longitud total de 225 km y 659 estructuras, la cual es compartida entre zona de transmisión Coatzacoalcos y zona de transmisión Temascal, con las siguientes características:

Zona de transmisión Coatzacoalcos tiene a su cargo 174 km de la línea con 486 estructuras. De la 1 a la 486

Zona Temascal= 50 km con 173 estructuras. De la torre 487 a la torre 659.

02:12:37 D/C LT MID-A3360-TMD OPERA PP1 85L SEL 421 FASE "A a tierra" a una distancia de 107.01 km con una corriente de falla de $IF=2.8382$ Amp. El localizador TWS indica una distancia de 130.9 km no opera DRM por estar transferido el INT-MID- a3360 por A7010.

2:14:20 C/LT MID-A3360-TMD

Ficha técnica.

Fase "a" por descarga atmosférica (flameo inverso)

Tipo de torre: am +5

Uso: suspensión

Localización: 133.36 km de la S.E Minatitlán Dos

Uso de suelo: húmedo

Aislamiento: sintético

Marca: isoelectric

Año de fabricación: 2006

Angulo de blindaje: positivo.

JUSTIFICACIÓN

Dicho estudio será el prelude para poder tomar como base la reingeniería o no en la infraestructura de las estructuras (torres de transmisión) pertinentes en las líneas de transmisión. Todo esto como fin de reducir la incidencia de disparos en las líneas de transmisión bajo estos efectos ya mencionados.

Así como antecedente general para la selección de futuras estructuras que conformarán parte del sistema eléctrico de potencia en el departamento de líneas de transmisión.

OBJETIVO

Modelar y analizar diferentes ángulos de blindaje para protección en las líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje para reducir la incidencia de disparos por descargas atmosféricas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Nota: Sombreado en color gris

1. Modelado de la LT con esquemas normativos de ángulos de blindaje contra descargas atmosféricas.
2. Analizar la LT con esquemas normativos de ángulos de blindaje contra descargas atmosféricas.
3. Modelado de la LT con esquemas propuestos de ángulos de blindaje contra descargas atmosféricas.
4. Analizar la LT con esquemas propuestos de ángulos de blindaje contra descargas atmosféricas.
5. Simulación de descargas atmosféricas con diferentes ángulos de blindaje del hilo de guarda.
6. Propuesta técnica para rediseño de ángulos de blindaje.

HIPÓTESIS

Si se modifica el ángulo de blindaje del hilo de guarda, se obtendrá la reducción de efectos adversos en la línea de transmisión eléctrica debido al fenómeno de las descargas atmosféricas.

ALCANCES.

Levantamiento de datos.

- Parámetros de línea
- Distancias (medidas)
- Mediciones.

Cálculo de densidad de rayos a tierra.

Número de descargas incidentes en la línea de transmisión.

Impedancias transitorias de:

- Conductor de hilo de guarda
- Conductor de fase
- Torre de transmisión

Propagación de las ondas en los hilos de guarda y en los conductores de fase.

Aspecto electrogeométrico.

Modelado de torre de transmisión. (Mediante software)

- Hilo de guarda
- Hilo de fase
- Torre de transmisión

Análisis de resultados.

Propuesta.

LIMITACIONES

Las inherentes en investigaciones como la llevada a cabo

Tiempo (2 años de investigación)

Territorio (longitud de demarcación.)

ESTADÍSTICAS¹

Como récord histórico y en base a una prueba de la justificación del estudio se presentan las estadísticas por fallas ocurridas en las líneas A3T10 A3260 y A3360.

Se comenta que dichas estadísticas son de 1997 a 2015 referentes a las fallas incidentes en las líneas anteriormente mencionadas.

HISTORIAL DE FALLAS

Se muestra el siguiente diagrama del historial de fallas para las Líneas a cargo del Departamento de Líneas de la Zona de Transmisión Coatzacoalcos.

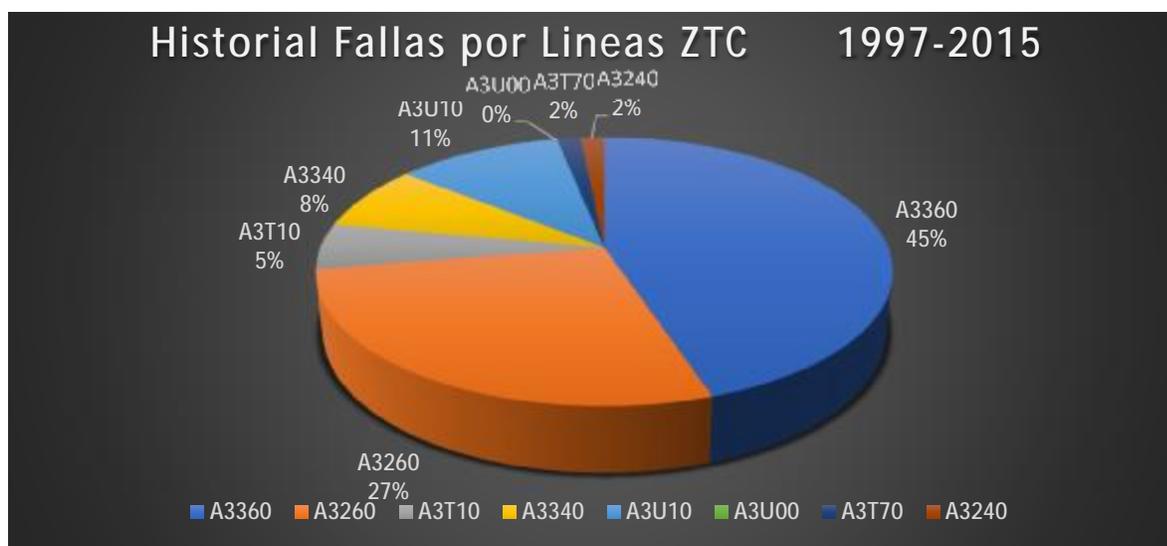


Ilustración 1 Historial de Fallas en Líneas ZTC (97-15)

Como se puede observar de la información de las 8 líneas en la gráfica se aprecia que las líneas con más fallas son la LT MID A3360 TMD (azul rey) con un 45% seguido del CHM A3260 TMD (naranja) con otro 27%

De las fallas mencionadas anteriormente se discernirá para ubicar las fallas de carácter atmosférico ya que ellas son relacionadas directamente con el tema. No se profundizara en el tema de las otras fallas sin embargo se utilizarán los valores contables sobre las fallas únicamente como cotejo y comparación.

¹ CFE | 2016 | Departamento de líneas de transmisión Zona de Transmisión Coatzacoalcos

FALLAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.²

Para la muestra siguiente (1997-2015). Se tomarán en cuenta únicamente las fallas de las líneas A3T10 A3260 y A3360.

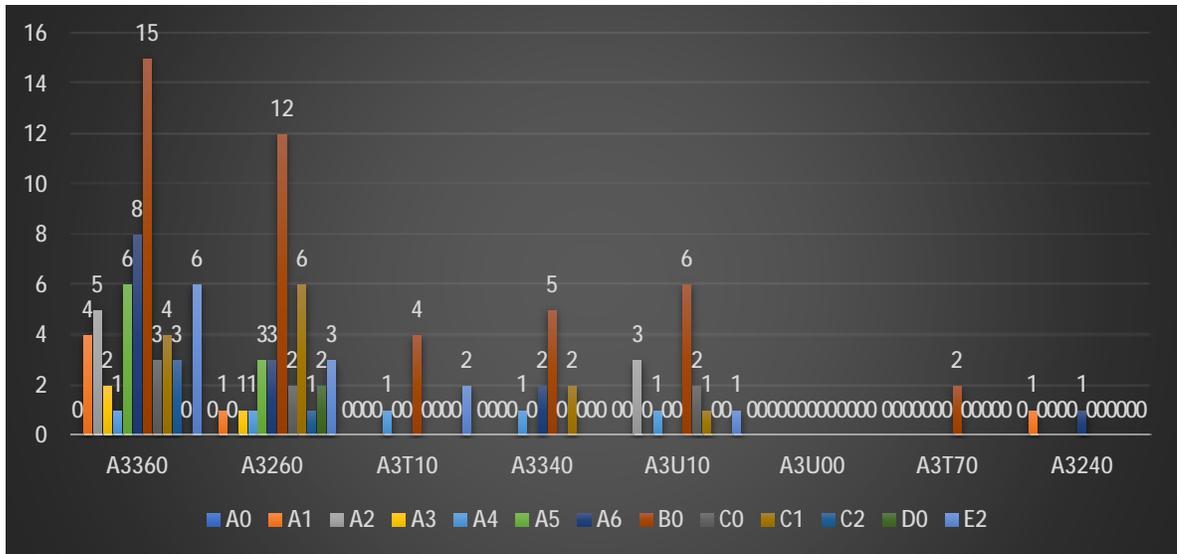


Ilustración 2 Origen de fallas en Líneas ZTC 97-15

A0.-ESTRUCTURA A1.-HERRAJE A2.-AISLADORES A3.-CONDUCTOR A4.-HILO DE G. A5.-BRECHA A6.-CONTAMINACION
 B0.-DESCARGA ATMOSF. C0.-VIENTOS F. C1.-QUEMA DE CAÑA C2.-QUEMA DE VEGET. D0.-IGNORADAS E2.- EXTRAORDINARIAS

ANÁLISIS

Se puede observar que el valor de las fallas por B0 tipificado como Descargas atmosféricas, representa una amplitud significativa en comparación con las demás. Dicho problema se encuentra muy presente para las líneas A3360_A3260_A3T10

Nota: se hará mención al A3T10 ya que originalmente corresponde a la partición del A3260 e incorporación del nodo Chinameca Potencia.

² CFE | 2016 | Departamento de líneas de transmisión Zona de Transmisión Coatzacoalcos

ACTUALIZACIÓN

Para el año 2019 se ha sustraído la información del SISNOV para actualizar el número de fallas por descargas atmosféricas de las líneas en cuestión las cuales serán sumadas a las anteriores para tener un periodo de muestreo de 1997 a 2019.

- LT A3360 tiene un total de 19 fallas por descargas atmosféricas
- LT A3260 tiene un total de 15 fallas por descargas atmosféricas
- LT A3T10 tiene un total de 4 fallas por descargas atmosféricas

LA DESCARGA ATMOSFÉRICA³

Origen

la descarga atmosférica tiene su origen debido a la transferencia de manera súbita de la carga eléctrica acumulada de una nube hacia otra (descarga entre nubes) o hacia tierra (descarga atmosférica o rayo a tierra). Ello es debido a la electricidad estática con la que se cargan las nubes.

Características

Las nubes cargadas con energía eléctrica producidas por estática, tienen a poseer la particularidad de estar polarizadas esto quiere decir que tienen carga negativa y positiva. En la nube se estima que la misma cuenta con una polaridad positiva en la parte superior mientras que en su parte inferior cuenta con una polaridad negativa, lo anterior lleva por nombre “nube bipolar” así mismo se puede realizar la analogía que una nube tiende a tener el comportamiento de un capacitor.

Formación

Dichas acumulaciones de carga son propiciadas por los roces entre las nubes, así como con las corrientes de aire generalmente de variadas temperaturas. Una vez que la nube está cargada esta empieza a pasar por un proceso donde la zona inferior de la misma sufre de pequeñas descargas dentro de la misma. El hecho anterior ocurre gracias a que el gradiente eléctrico alcanza valores de 5 kV/cm. Lo anterior conduce a la ionización por choque y aumenta la carga eléctrica acumulada en la nube lo que a su vez disminuye la rigidez dieléctrica del aire la cual es de 0.4 - 3.0 (MV/m = kV/mm) dependiendo de la presión atmosférica del mismo y trae consigo como consecuencia la formación física del rayo.

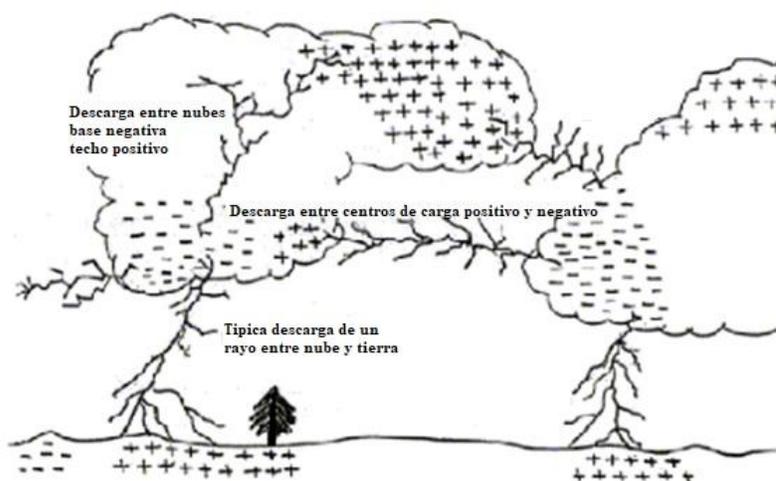


Ilustración 3 Proceso Descarga Atmosférica 1

³ CFE | 2016 | Manual de coordinación de aislamiento en alta tensión | Irapuato LAPEM

Proceso Y Descripción En El Tiempo.⁴

Continuando con la formación la descarga atmosférica tiene una relevancia significativa el conocer la descripción en el tiempo de la misma, ello con el fin de tener en cuenta el tiempo en las simulaciones del estudio en cuestión.

Tabla 1 Descripción del Proceso de la Descarga Atmosférica

Proceso	Tiempo	Lugar
Pre descarga	$t > 1\mu\text{seg}$	Descargas dentro de la nube
Guía escalonada	En intervalos de $50\mu\text{seg}$ aproximadamente con una duración aproximada de 20ms .	Desde la nube se prolonga hasta cerca de la tierra cambiando de dirección en forma escalones con secuencias de 50m cada una aproximadamente.
(1) Guía ascendente	Se forma antes de que la guía escalonada llegue a la tierra	Comienza en la superficie de la tierra u objetos altos.
(2) Rayo de retorno	Neutralización de la carga en la guía escalonada $70\mu\text{seg}$ aproximadamente.	Desde la unión de las guías hasta la base de la nube
Guía subsecuente	Más rápida que la escalonada	En el mismo canal que el rayo de retorno, sin ramificaciones.
Descarga subsecuente	Descargas con intervalos de tiempo de aproximadamente $50\mu\text{seg}$	En el mismo canal del rayo de retorno.

Datos Importantes

- (1) Proceso en el cual ambas guías se unen y se considera en el estudio del radio de atracción para diseños de blindaje como protección contra rayos en líneas de transmisión.
- (2) Proceso donde mayor corriente hay, por lo tanto, es donde mayor daño produce debido a la descarga y sus picos máximos son mayores a 50kA .

⁴ CFE | 2004 | Manual de Coordinación de Aislamiento | México | IIE

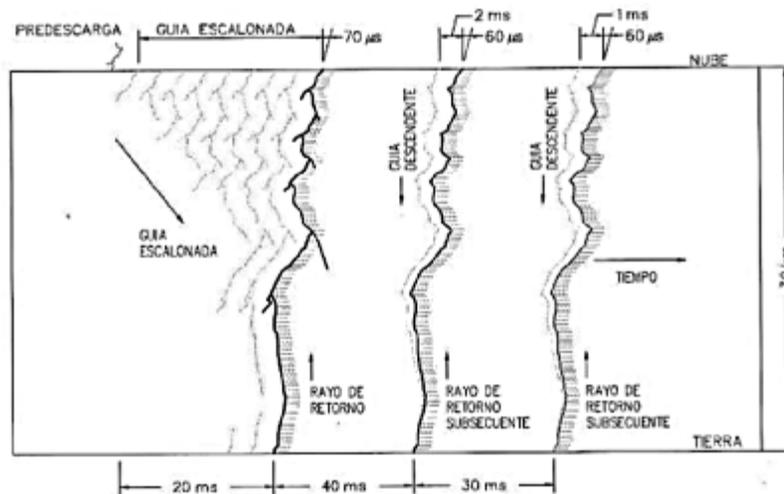


Ilustración 4 formación de la descarga en función del tiempo

Tipos de Descargas Atmosféricas⁵

las descargas atmosféricas se clasifican según su polaridad. (Positiva/Negativa), así como la dirección de la propagación del rayo, las descargas de polaridad positiva son más frecuentes en las zonas cercanas a los polos mientras que las negativas a las zonas cercanas al ecuador.

Dicho lo anterior se tomará en cuenta que para México se considera que el 90% de los rayos a tierra son de polaridad negativa, con un 45% a 55% de descargas con 1 o 2 rayos de retorno. Se

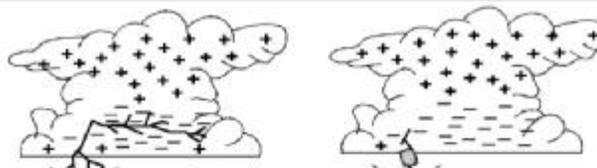


Ilustración 5 Proceso de Descarga Atmosférica

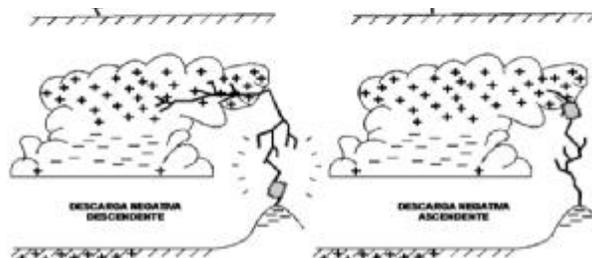


Ilustración 6 Tipos de Descargas Atmosféricas

dice que el tipo de descarga más común y que produce más problemas en las líneas de transmisión es la descarga con polaridad negativa.

⁵ CFE | 2004 | Manual de Coordinación de Aislamiento | México | IIE

La Descarga Atmosférica Como Transitorio Electromagnético⁶

El estudio del comportamiento y efectos de la descarga atmosférica y su interacción con las líneas de transmisión ha sido normalizado bajo IEC para su estudio y análisis.

IEC tiene a bien normalizar a la descarga atmosférica como una fuente de corriente, con una magnitud variable. La onda normalizada para la descarga atmosférica se encuentra dentro de IEC-60071-1.

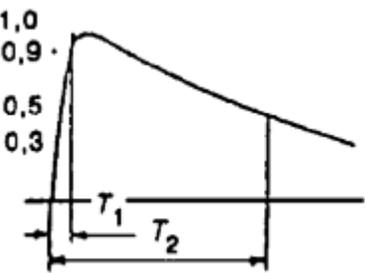
Descripción de la onda normalizada para descargas atmosféricas IEC-60071-1

Desde el punto de vista transitorio la descarga atmosférica es clasificada como un transitorio electromagnético de frente rápido y amplio que va de un tiempo $t_1 = 0,1 \mu\text{seg}$ a $0,20 \mu\text{seg}$, hasta un $t_2 = \leq 300 \mu\text{seg}$. Así mismo posee una pendiente inicial muy pronunciada que llega hasta un valor pico y esta decrece lentamente comportándose como una onda de alta frecuencia llegando a alcanzar decenas de millones de voltios y su magnitud fluctúa de 1 kA hasta 200 kA la cual puede ir de $5 \mu\text{seg}$ hasta $500 \mu\text{seg}$.

La ecuación en función del tiempo de la descarga atmosférica corresponde a la siguiente:

$$i(t) = I(e^{-\alpha t_1} - e^{-\beta t_2}) \quad \text{ec. (1)}$$

Tabla 2 Transitorio Frente Amplio CIGRE

Clase	Transitorio de frente amplio (descarga atmosférica)
Forma de tensión	
Rango de tiempo	$20 \mu\text{seg} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{seg}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{seg}$

⁶ CIGRE | October 91 | Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines”, Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination).

Simulación De La Descarga Atmosférica En Software

La descarga atmosférica es simulada mediante una fuente de corriente la cual tendrá las características descritas en la página anterior. Utilizaremos las siguientes características para la creación de la descarga atmosférica bajo el estándar IEC 60071-1

El tiempo de inicio de la descarga será 0 mientras que t_1 será igual a 1,2 microsegundos tiempo en el cual se dará su valor máximo y un tiempo t_2 igual a 50 microsegundos con una amplitud máxima de 35 a 45 kA. Contará además de una pendiente de 45000 A/s.

Software De Simulación.

- ATP Draw (Software utilizado para estudio)
- EMTP – RV (software de cotejo en base a implementación)
- MATLAB (software de cotejo en base a programación)

Graficas De La Descarga Atmosférica.

ATP DRAW.

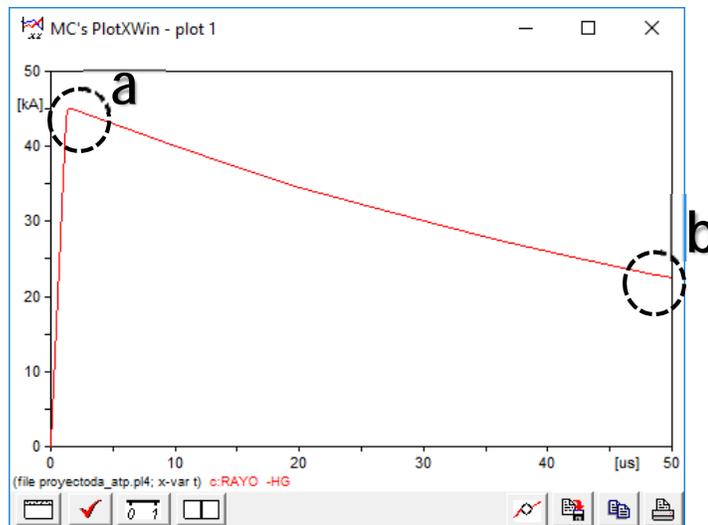


Ilustración 7 Gráfica Frente de Onda Típica Descarga Atmosférica ATP Draw

Descripción

En dicha grafica podemos encontrar las particulares descritas con anterioridad, donde en el punto **a** tendremos la amplitud máxima la cual es de 45 kA mientras que en el punto **b** tenemos el valor al 50% de su magnitud en un tiempo exacto de 50 microsegundos. Lo anterior bajo IEC 60071-1 así como a las especificaciones de CFE.

EMTP RV

Como método de comprobación se utiliza el software EMTP para realizar la simulación de la descarga atmosférica para así comprobar los resultados obtenidos por con ATP DRAW

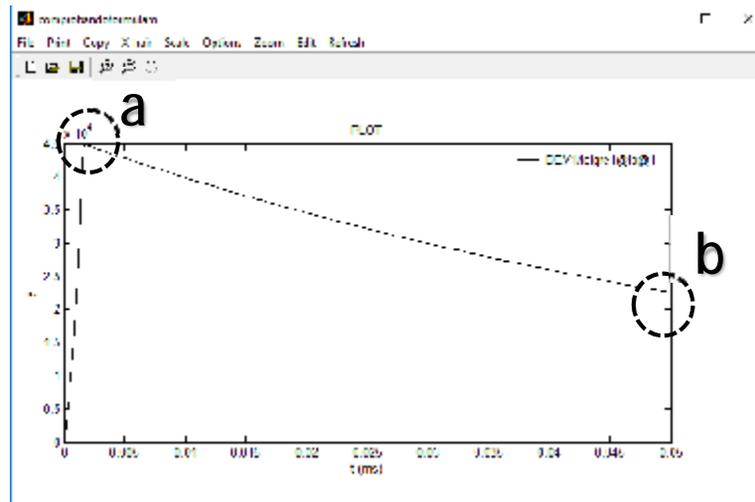


Ilustración 8 Simulación Descarga Atmosferica en EMTP RV

Descripción

En dicha grafica utilizada para la comprobación podemos encontrar las particulares descritas con anterioridad, donde en el punto **a** tendremos la amplitud máxima la cual es de 45 kA mientras que en el punto **b** tenemos el valor al 50% de su magnitud en un tiempo exacto de 50 microsegundos. Lo anterior bajo IEC 60071-1 así como a las especificaciones de CFE. Esto nos da pie a cerciorarnos de la correcta implementación de la descarga atmosférica.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA⁷

A continuación, se hará mención a la ubicación geográfica de las líneas MID - A3T10 - CHM | MID - A3260 - TMD | MID - A3360 - TMD.

Así como se ubicará en función a su situación mediante mapas de Isodensidad así como Cerámicos.

Mapa De Ubicación Geográfica

Mediante el uso de Google Earth se han obtenido las coordenadas de las líneas mencionadas para el estudio lo que nos ha podido demostrar su situación y ubicación geográfica exacta.

Mapa de Isodensidad

Se denomina mapa isodensidad a un mapa geográfico que representa una zona o país para determinar el nivel de riesgo de rayos a tierra por km².

Se presentarán 3 escenarios correspondientes al año 2013 a 2015 mostrando la situación en base al tópico mencionado.

Mapa Cerámico

Se denomina mapa cerámico a un mapa geográfico que representa una zona o país para determinar el nivel de tormentas eléctricas anuales

Se presentarán 3 escenarios correspondientes al año 2013 a 2015 mostrando la situación en base al tópico mencionado.

⁷ CFE | Enero 2019 | Gerencia Regional de Transmisión Oriente

Mapa De Ubicación Geográfica

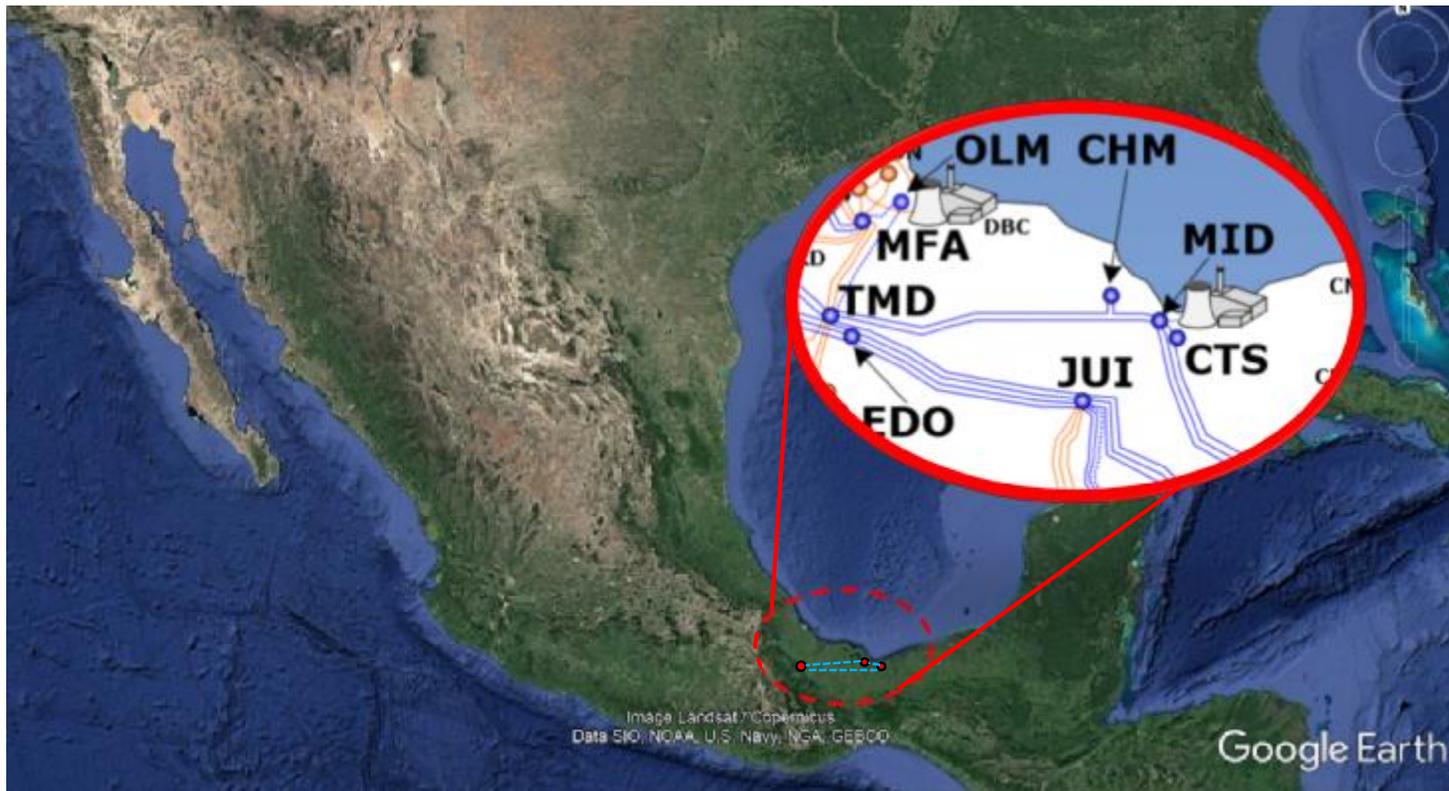


Ilustración 9 Ubicación Geográfica

Descripción

Se realiza la ubicación geográfica del lugar donde se realizará el estudio en cuestión.

Red Troncal De 400 Kv



Ilustración 10 RNT México PRODESEN

Descripción: Gracias al documento emitido por CENACE “Mod Gral. Planeación 2017-2022 Diagramas Unifilares RNT y RGD de la MEM” es posible apreciar la ubicación exacta en el mapa del territorio nacional de las líneas en cuestión.

Mapa De Isodensidad 2013

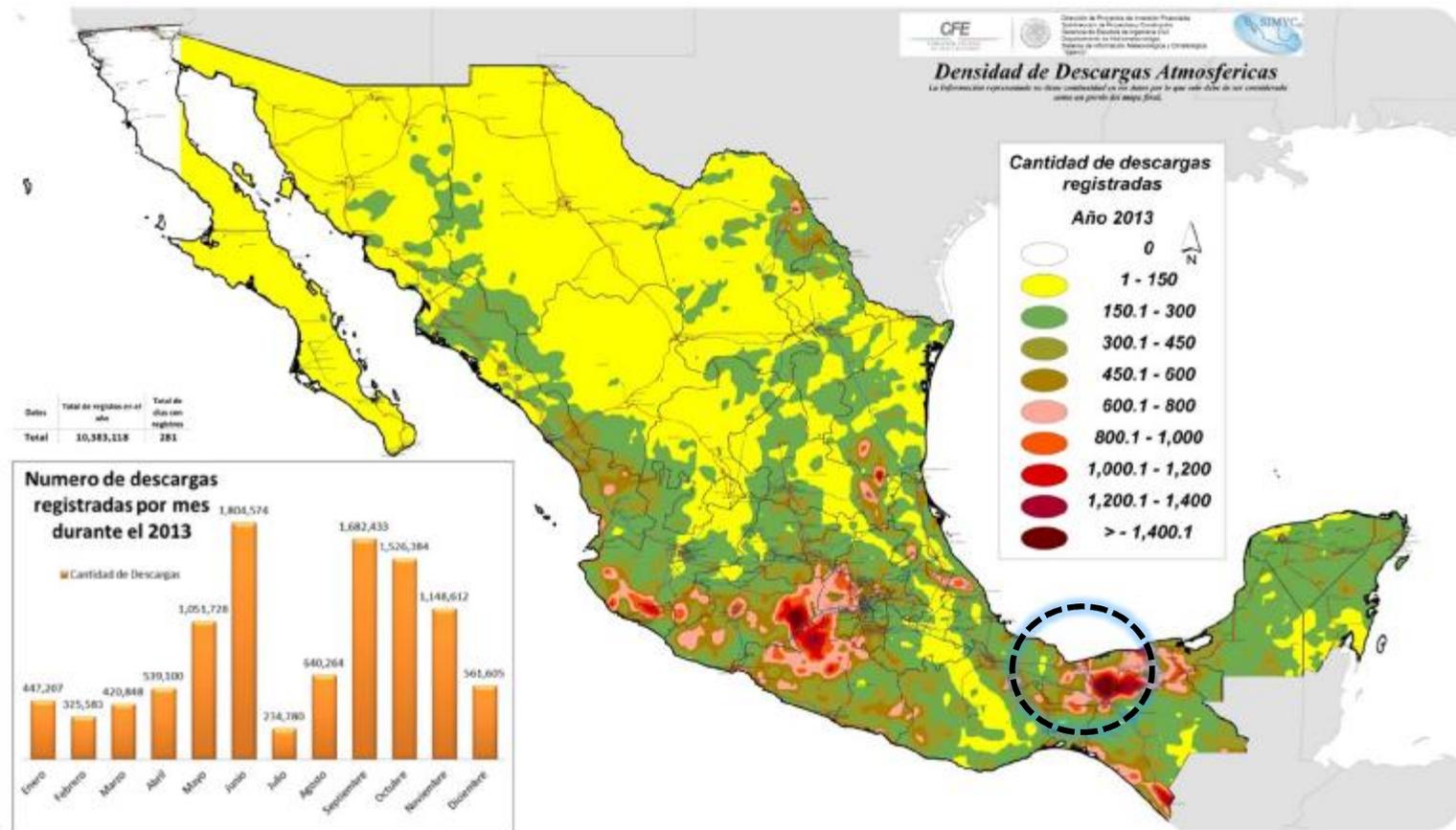


Ilustración 11 Mapa Isodensidad 2013

Descripción

Se aprecia gracias al mapa de isodensidad del año 2013, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de rayos a tierra que oscila de los 150 a los 1200, el porqué de las cifras tan variables se da debido a la longitud de la línea la cual atraviesa diversos escenarios. Teniendo al mes de junio como el primer lugar en las cifras respecto a la incidencia de descargas atmosféricas a tierra.

Mapa De Isodensidad 2014

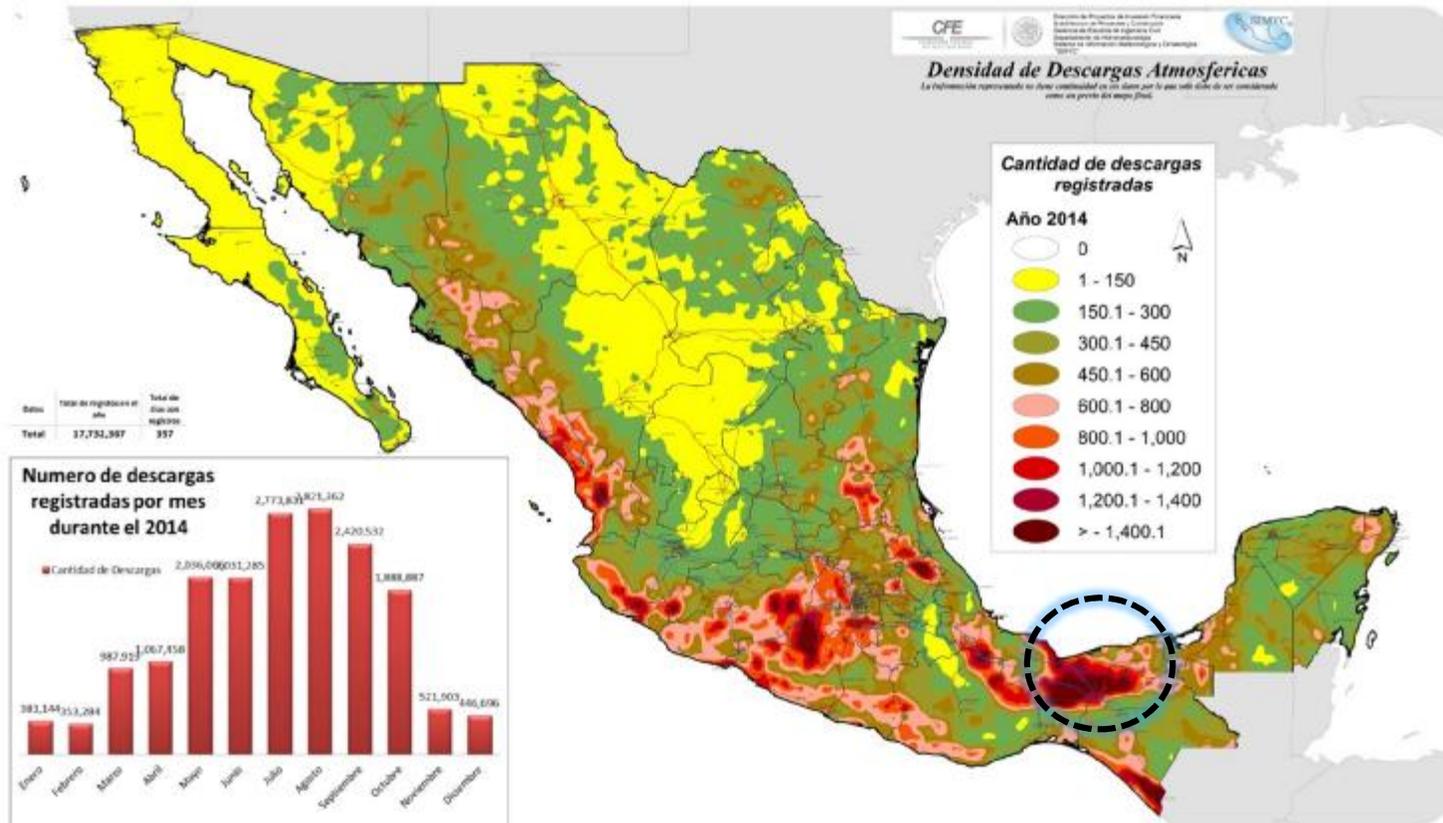


Ilustración 12 Mapa Isodensidad 2014

Descripción

Se aprecia gracias al mapa de isodensidad del año 2014, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de rayos a tierra que oscila de los 150 a más de 1400, el porqué de las cifras tan variables se da debido a la longitud de la línea la cual atraviesa diversos escenarios. Teniendo al mes de agosto como el primer lugar en las cifras respecto a la incidencia de descargas atmosféricas a tierra.

Mapa De Isodensidad 2015

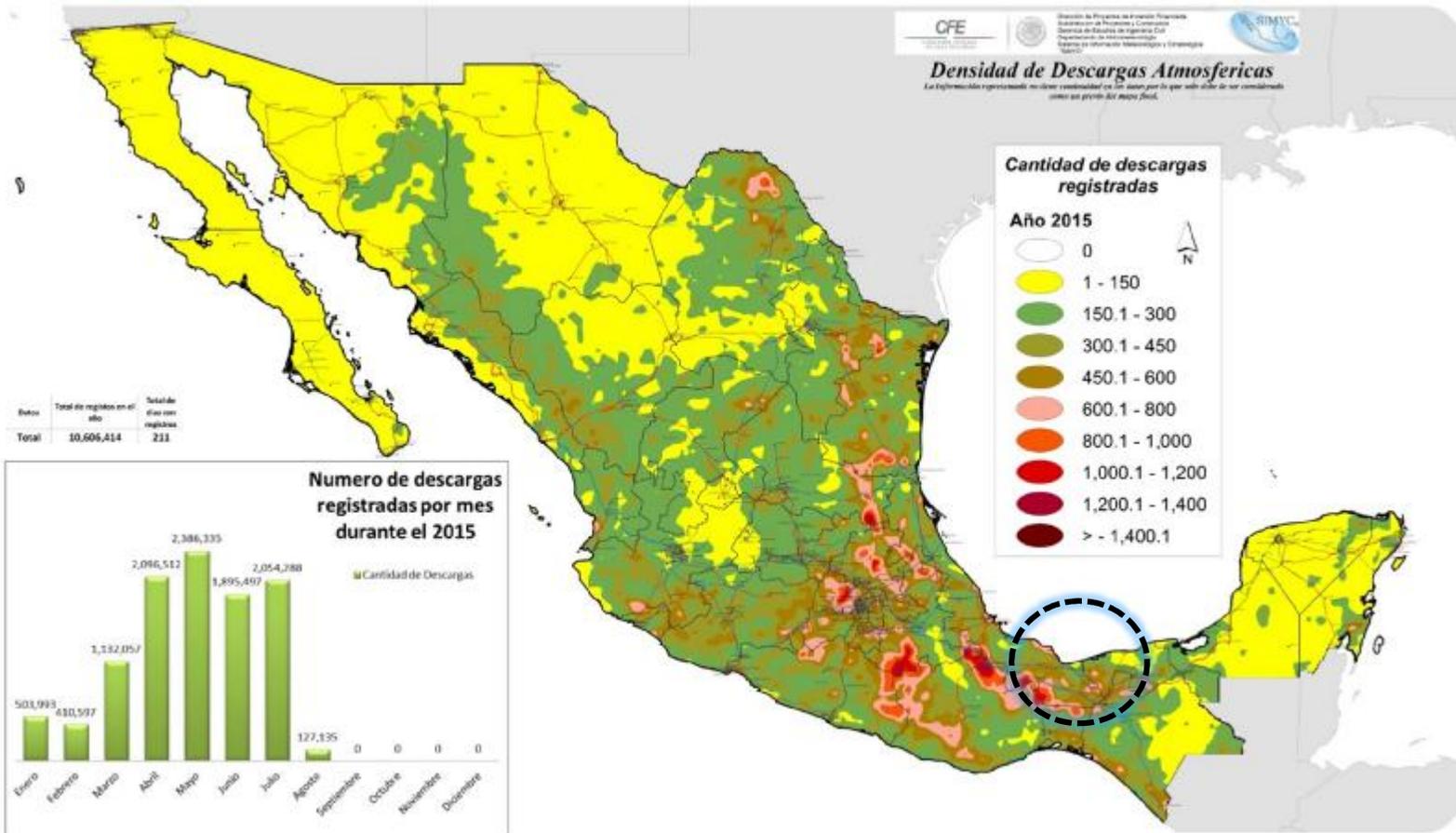


Ilustración 13 Mapa Isodensidad 2015

Descripción

Se aprecia gracias al mapa de isodensidad del año 2015, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de rayos a tierra que oscila de los 150 a más de 1000, el porqué de las cifras tan variables se da debido a la longitud de la línea la cual atraviesa diversos escenarios. Teniendo al mes de mayo como el primer lugar en las cifras respecto a la incidencia de descargas atmosféricas a tierra.

Mapa de cerámico 2013

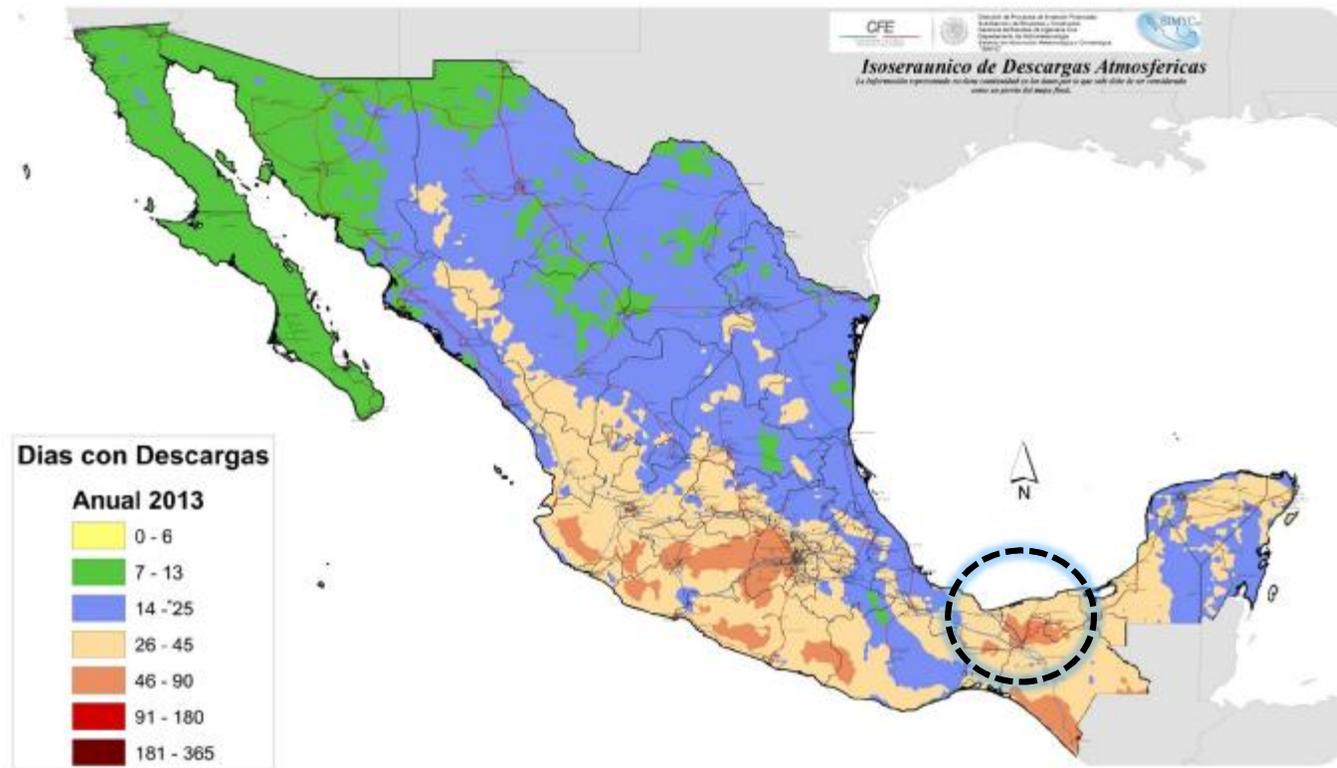


Ilustración 14 Mapa Cerámico 2013

Descripción

Se aprecia gracias al mapa cerámico del año 2013, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de días con tormentas eléctricas anuales que oscilan de los 26 a los 45 días.

Mapa De Cerámico 2014

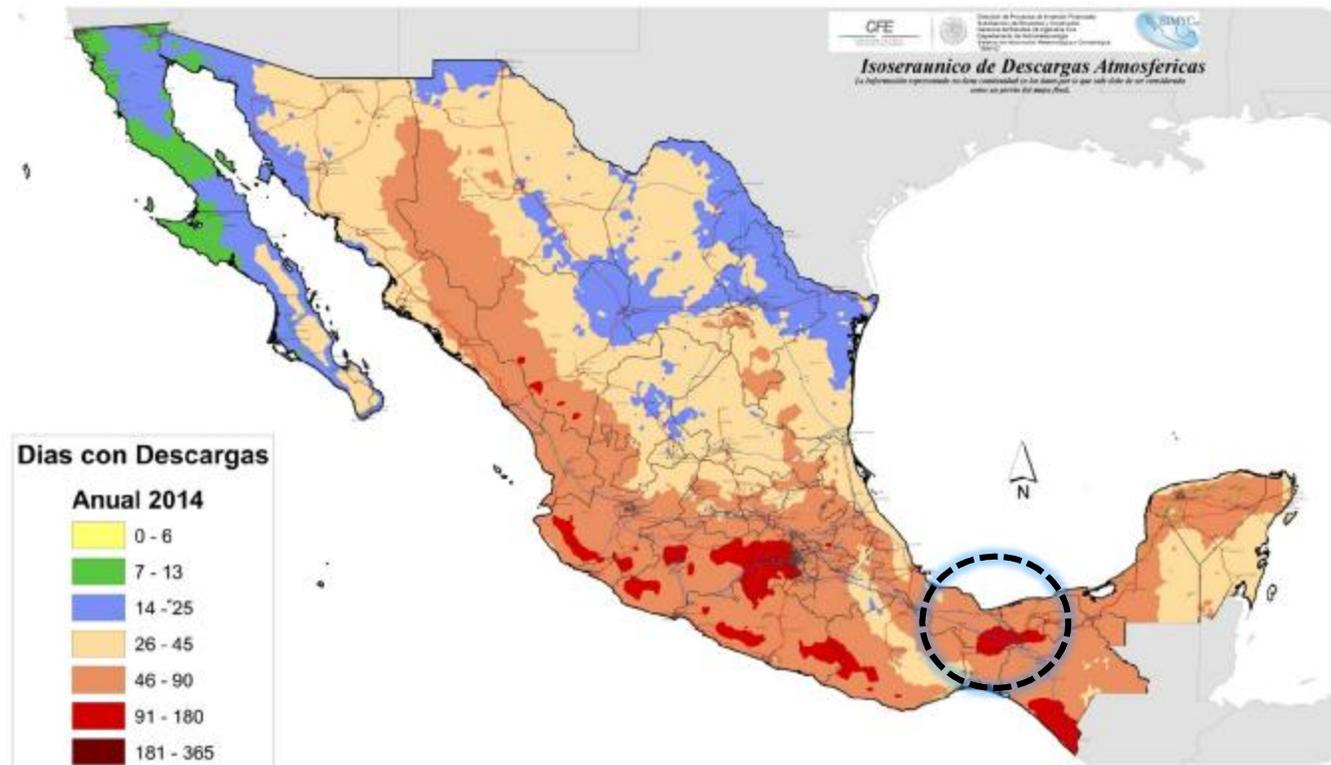


Ilustración 15 Mapa Cerámico 2014

Descripción

Se aprecia gracias al mapa cerámico del año 2014, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de días con tormentas eléctricas anuales que oscilan de los 46 a los 90 días.

Mapa de cerámico 2015

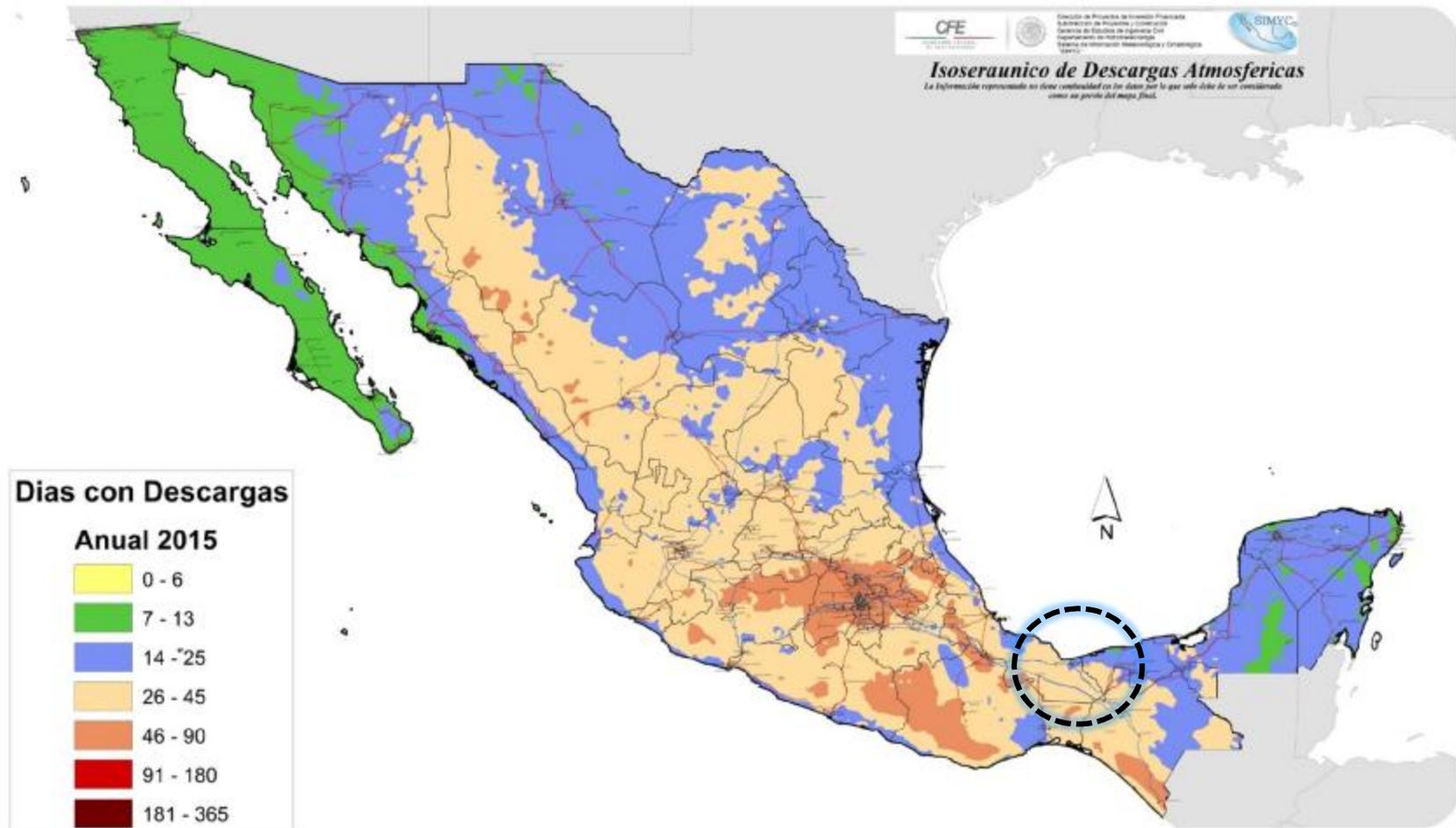


Ilustración 16 Mapa Cerámico 2015

Descripción

Se aprecia gracias al mapa cerámico del año 2015, que la zona donde está ubicada las líneas de transmisión pertenecientes al estudio tiene una incidencia de días con tormentas eléctricas anuales que oscilan de los 46 a los 90 días.

Análisis De Los Mapas De Isodensidad Y Cerámico

Como es posible apreciar, la zona donde se lleva acabo el estudio presenta índices con alta densidad de descargas atmosféricas anuales, así como un alto número de días tormenta eléctrica al año. Ello justifica la importancia del estudio y análisis en cuestión.

Gracias a las gráficas mostradas en los mapas, así como a los datos que nos han sido suministrados mediante ellos, nos es posible dictaminar que tanto las incidencias de descargas atmosféricas anuales como la de los días tormenta al año son variables a través del periodo muestreado, así como variables entre ellas.

Existe un cálculo propuesto por IEEE para el cálculo de las descargas atmosféricas a tierra anuales por km². A la vez existe su equivalente para CIGRE. En el caso de ambos utilizan los días tormentas eléctricas anuales para obtener el resultado. Se obtienen los resultados mediante programación en Matlab para obtener la interfaz gráfica del resultado. Los cuáles serán descritos a continuación.

Método IEEE

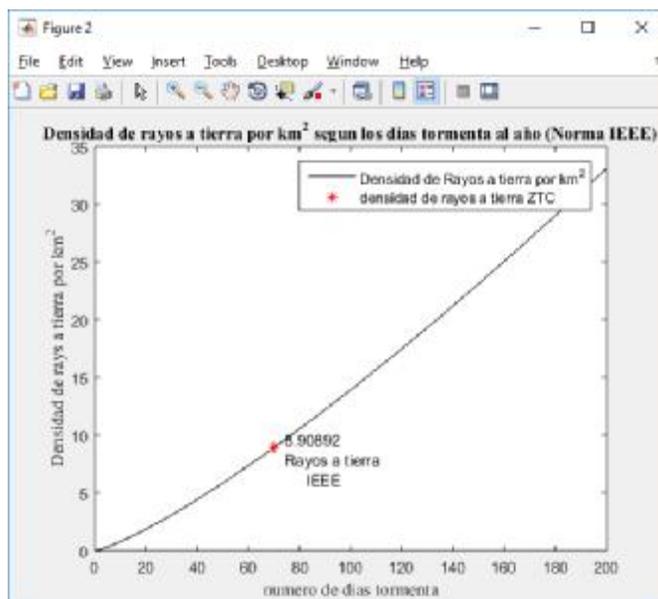


Ilustración 17 Estimado método IEEE

Dada la ubicación geográfica de la zona de transmisión Coatzacoalcos y mediante el uso de mapas *cerámico* se puede determinar bajo la siguiente formula.

$$Ng = 0.044 * Td^{1.24} \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

Ng = número de rayos a tierra/km²

Td = Días tormenta al año

El número de rayos a tierra serán 8.90892 rayos/km².

Método CIGRE

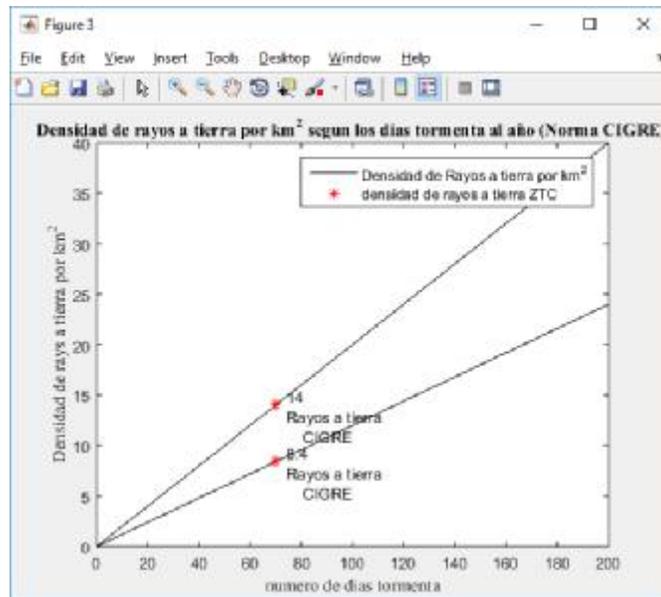


Ilustración 18 Estimado método CIGRE

Dada la ubicación geográfica de la zona de transmisión Coatzacoalcos y mediante el uso de mapas *cerámico* se puede determinar bajo la siguiente fórmula.

$$Ng = (0.12 - 0.20) * DT \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

Ng = número de rayos a tierra/km².

DT = Días tormenta al año.

El número de rayos a tierra serán 8.4 a 14 rayos/km².

PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN⁸

El Departamento de Líneas de Transmisión perteneciente a la Zona de Trasmisión Coatzacoalcos, consta de 7 líneas de transmisión a una tensión nominal de 400 kV.

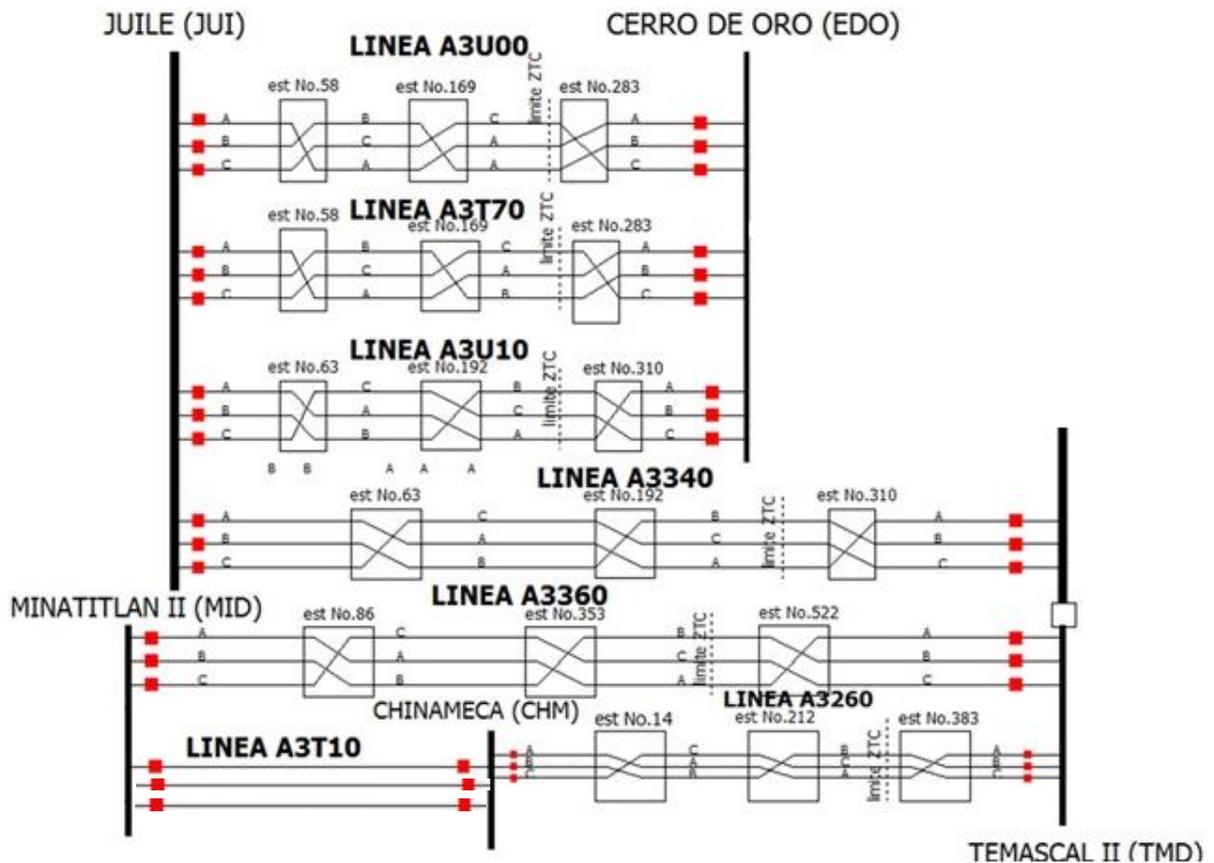


Ilustración 19 Troncal 400 kV ZTC

Visto el diagrama trifilar anterior se tomarán en cuenta las siguientes líneas para el estudio y análisis en cuestión.

MID A3T10 CHM
 CHM A3260 TMD
 MID A3360 TMT

⁸ ZTC. (2015). Departamento de Líneas de Transmisión. Coatzacoalcos Veracruz: Zona de Transmisión Coatzacoalcos.

Una vez designadas las líneas sobre las cuales basaremos el estudio y análisis. Se requiere la información propia de las líneas de transmisión para la implementación correcta del mismo en primera estancia para desarrollar la obtención del aspecto electrogeométrico y en segunda instancia para obtener el modelado de la línea. Dicha información corresponde a lo siguiente. Aspectos característicos de la línea desde el punto de vista geométrico (ubicación de los conductores en un plano x-y), características eléctricas de los materiales empleados para la construcción de los conductores.

La información antes descrita es necesaria para la implementación correcta del estudio.

DISPOSICIÓN DE CONDUCTORES DE FASE E HILOS DE GUARDA

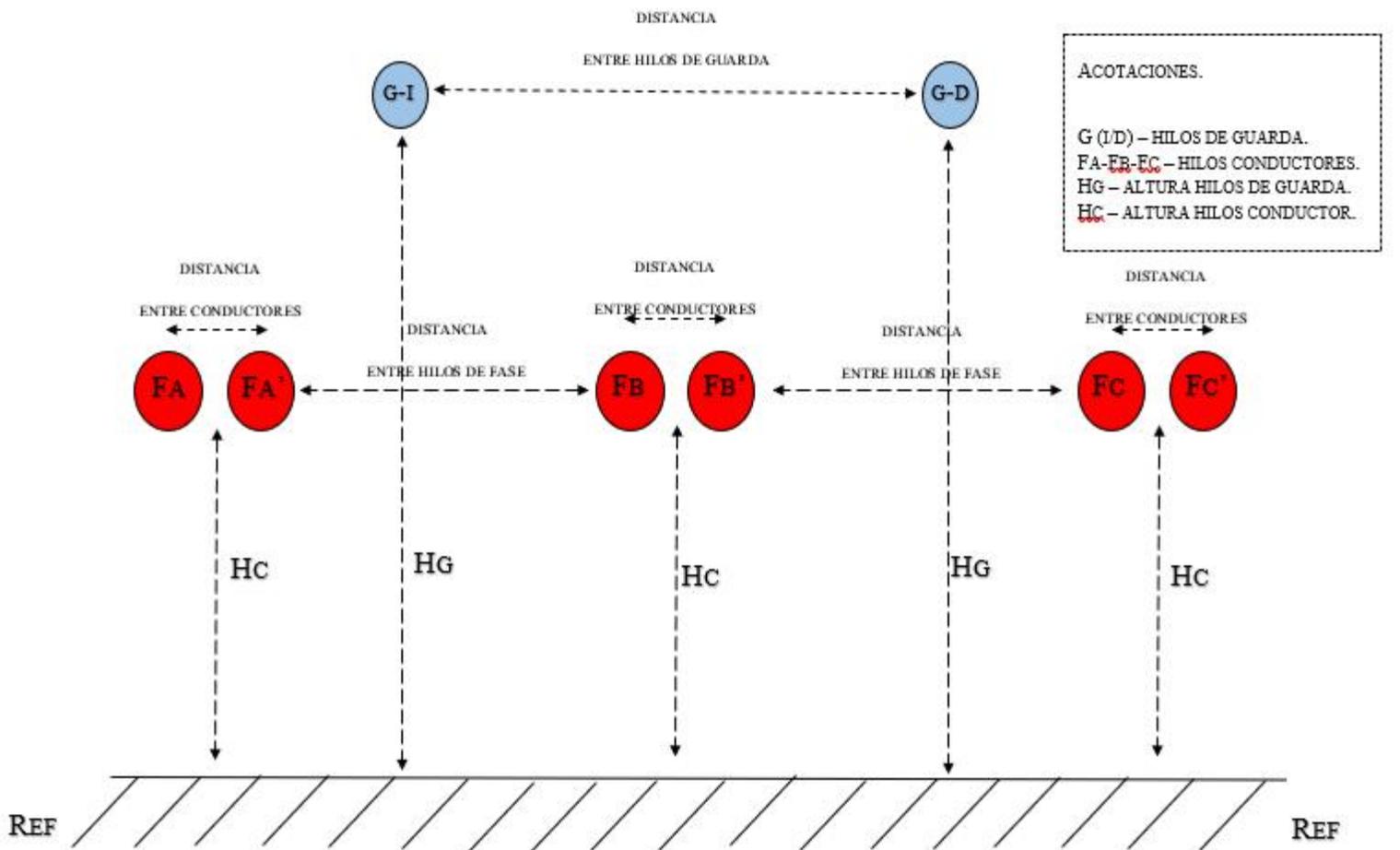


Ilustración 20 Disposición Geométrica Líneas de Transmisión

9Características Técnicas De Conductores.

Tabla 3 Característica técnica de conductores

Línea de transmisión	Conductor	Ubicación de conductores						Resistencia ohm/km CD	Radio total en cm	Radio interno en cm	Conductores por fase	Separación en cm
		Plano x (horizontal) m			Plano y (Vertical) m							
A3T10	1113 kcmil bluejay 45/7	a	b	c	a	b	c	0.05085 ohm/km	1.59893	0.40005	2	45
		0	12.5	25	26.2	26.2	26.2					
A3T10	Alumoweld 7#8	3.85	21.6		34.88	34.88		1.516 ohm/km	0.489	0	1	0
A3260	1113 kcmil bluejay 45/7	a	b	c	a	b	c	0.05085 ohm/km	1.59893	0.40005	2	45
		0	12.5	25	26.2	26.2	26.2					
A3260	Alumoweld 7#8	3.85	21.6		34.88	34.88		1.516 ohm/km	0.489	0	1	0
A3360	1113 kcmil bluejay 45/7	a	b	c	a	b	c	0.05085 ohm/km	1.59893	0.40005	2	45
		0	12.5	25	26.2	26.2	26.2					
A3360	Alumoweld 7#8	3.85	21.6		34.88	34.88		1.516 ohm/km	0.489	0	1	0

⁹ Parámetros de Líneas de Transmisión GRTOR. (2015). Departamento de Protección y Medición. Veracruz: Gerencia Regional de Transmisión Oriente.

ASPECTO / MODELO ELECTROGEOMÉTRICO¹⁰

El aspecto o modelo electrogeométrico corresponde al cálculo del lugar probabilístico donde la guía ascendente y descendente de la descarga atmosférica se encuentra y estos a su vez son atraídos hacia la línea de transmisión, gracias a los parámetros vistos con anterioridad es posible la creación del modelo electrogeométrico.

Parámetros Para Su Construcción

Disposición geométrica en un plano x-y de los conductores de guarda, así como de los conductores de fase

Días tormentas eléctricas al año. (Dato recolectado del mapa cerámico)

Formulas

- (1) Radio critico de atracción
- (2) Incidencia de rayos a tierra
- (3) Incidencia de rayos a la línea de transmisión

Estudio Electrogeométrico

Por medio de programación en Matlab usando la guía 63 de CIGRE correspondiente a

“GUIDE TO PROCEDURES FOR ESTIMATING THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Coordination)”

Obtendremos los siguientes parámetros:

- (1) Radio critico de atracción
- (2) Densidad de rayos a tierra por km²
- (3) Numero de descargas incidentes en la línea de transmisión por km al año
- (4) Interfaz electrogeométrico (Vista: Perfil, Aérea, 3D)

¹⁰ “Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines”, Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Radio Crítico De Atracción¹¹

Se dice que el radio crítico de atracción es la distancia del conductor de guarda y conductor de fase que en un radio a través de sus 360° será capaz de atraer la descarga atmosférica para que esta incida sobre él.

Mediante programación realizada en Matlab se obtiene el radio crítico de atracción para las líneas correspondientes a las nomenclaturas. A3T10, A3260, A336.

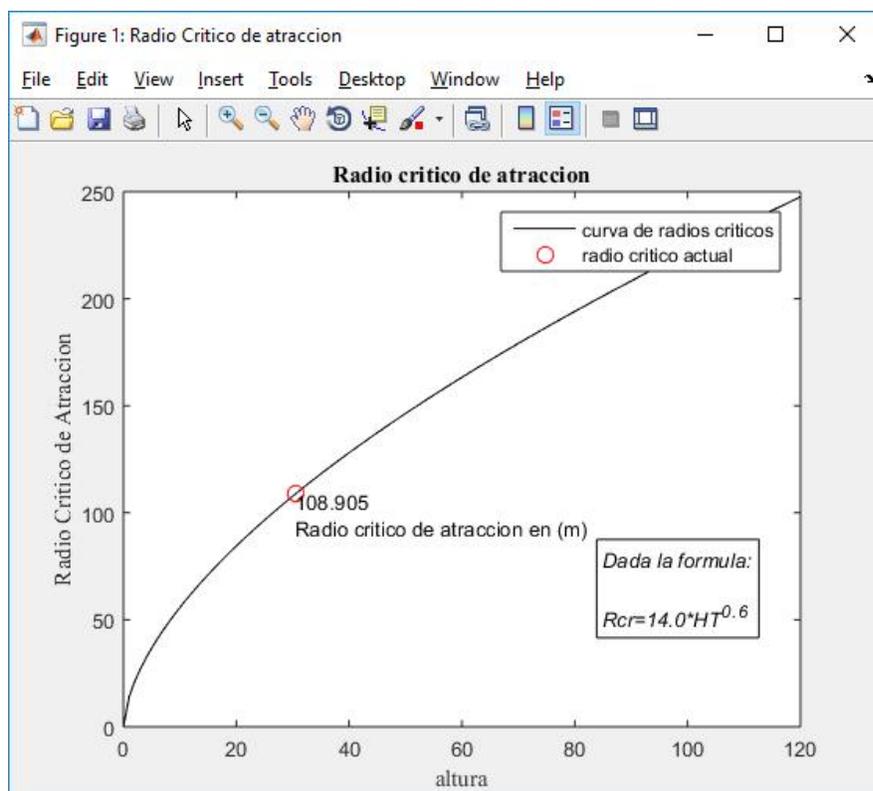


Ilustración 21 Radio Crítico de Atracción

De la programación realizada en base a los parámetros necesarios para la obtención se ha dado como resultado que el radio crítico de atracción para las líneas mencionadas tendrá un valor de 108.905 metros. Distancia en la cual nos basaremos para crear la interfaz electrogeométrica.

¹¹ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Descargas Incidentes En La Línea De Transmisión.¹²

Como primera variable a obtener tenemos las descargas incidentes en las líneas, cabe mencionar que esta información es meramente estadística/probabilística.

Gracias al cálculo efectuado mediante la programación en Matlab se obtienen las siguientes magnitudes en base a la ubicación geométrica de los conductores de fase y guarda, con 2 variables más obtenidas (modificando la posición del hilo de guarda) dichas variaciones corresponden a modificar los ángulos de blindaje (Tema de cual se hablará en breve)

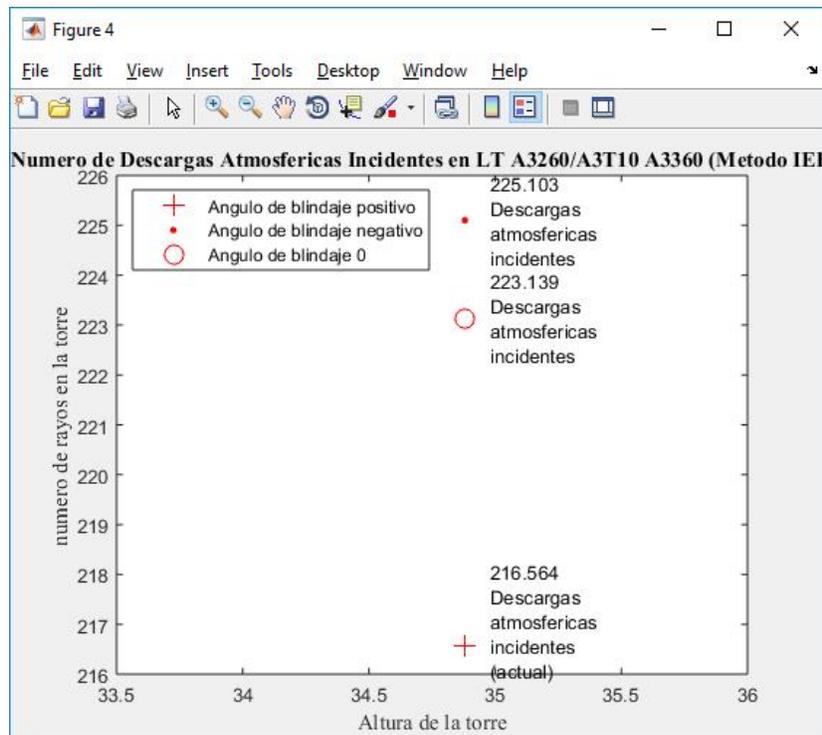


Ilustración 22 Descargas Incidentes en LT'S A3360 A3260 A3T10

Resultado.

Tabla 4 Incidencia de Descargas

Ángulo	Descargas
Positivo	216.564
Cero	223.139
Negativo	225.103

¹² "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Electrogeometría¹³

Conforme a las características propias de las líneas mencionadas a lo largo de este estudio se ha realizado el estudio electrogeométrico, ello con el fin de obtener información visualmente representativa y así conocer las áreas críticamente probables de atracción de una línea de transmisión respecto a la descarga atmosférica.

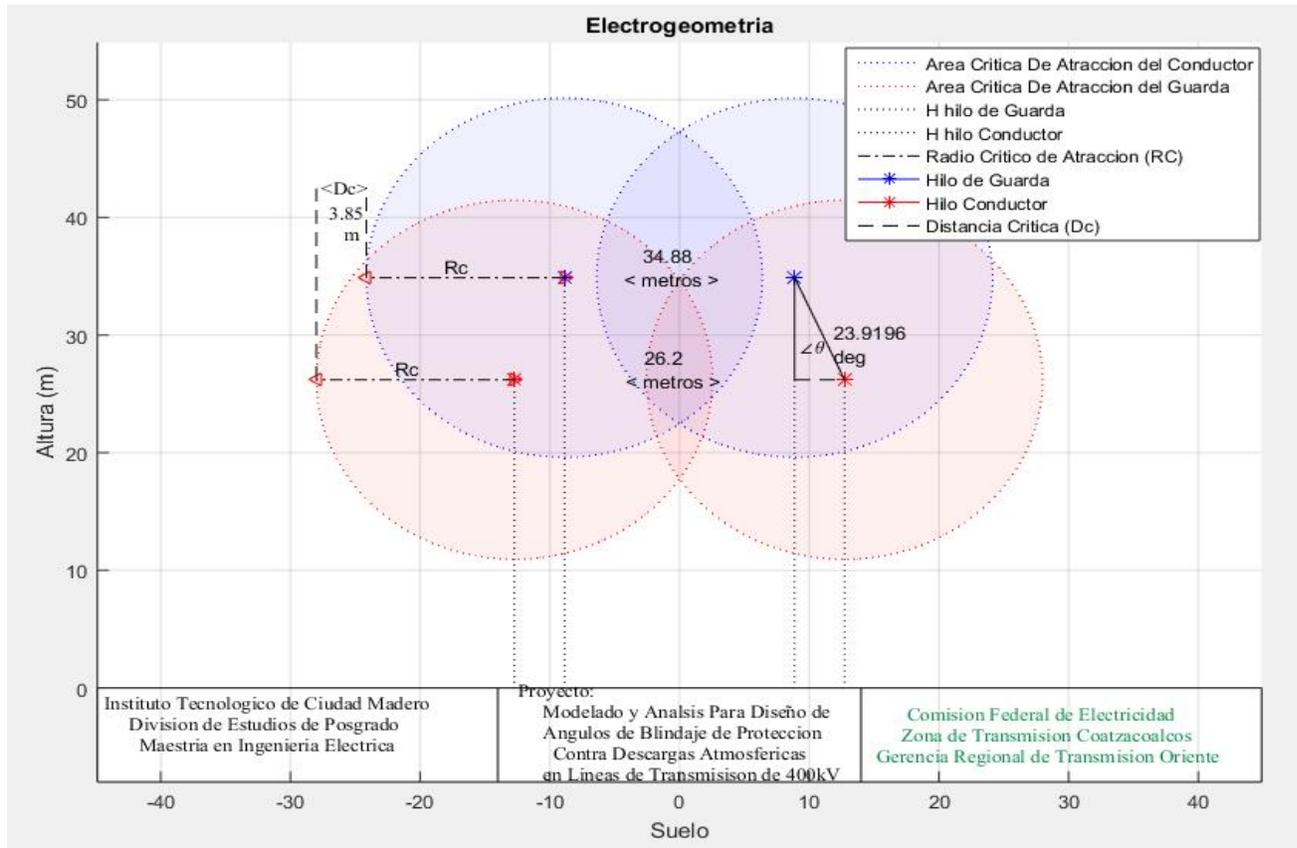


Ilustración 23 Interfaz Electrogeométrica

Descripción

Como es posible apreciar en esta interfaz electrogeométrica (Vista representativa). Nos brinda el ángulo de blindaje actual, así como el radio crítico de atracción de la línea lo cual nos permite ver el área crítica de atracción de ambos conductores y la distancia crítica que se tiene actualmente.

¹³ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Interfaz Electrogeométrica (Vista Perfil)¹⁴

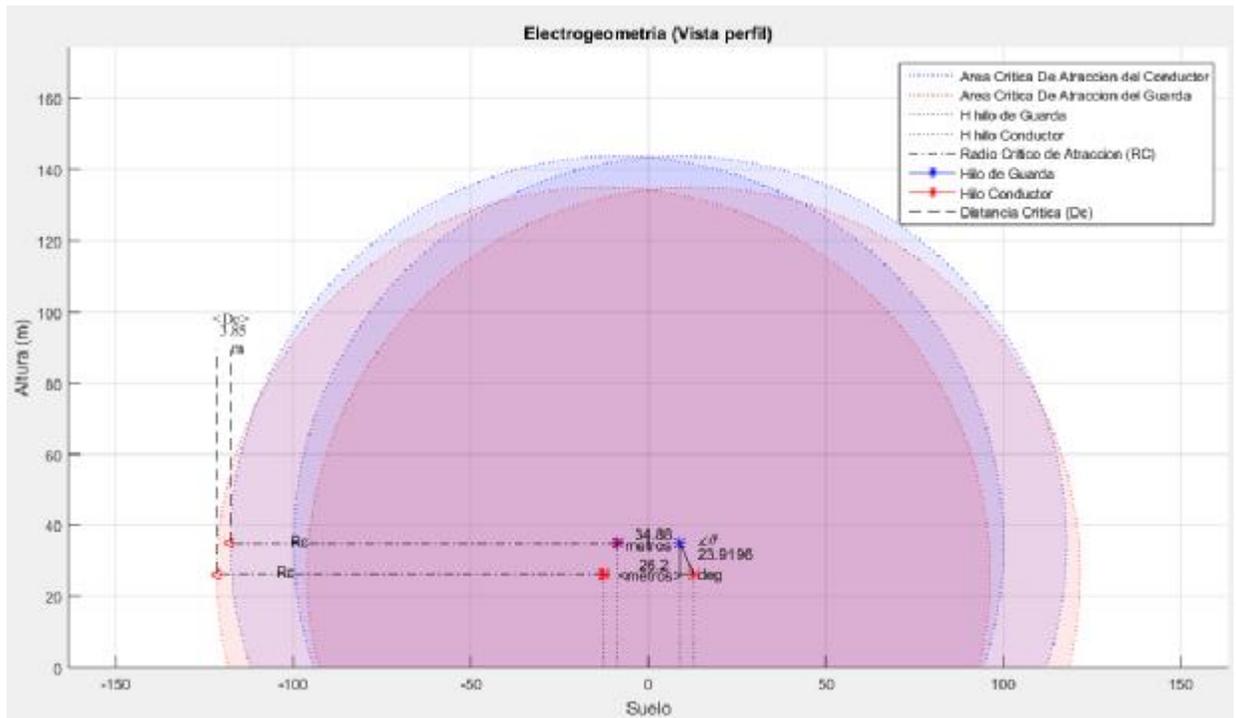


Ilustración 24 Interfaz Electrogeométrica (Vista perfil)

Descripción

Gracias a las ecuaciones implementadas en Matlab para la obtención del radio crítico de atracción se ha podido obtener la interfaz gráfica, donde podemos ver con puntos marcados en color azul (hilos de guarda) y rojo (conductor de fase). Así mismo se representan con los mismos colores con una tonalidad tenue. El radio crítico de atracción de los hilos de guarda y los conductores laterales de fase, con un valor de radio crítico de atracción de 108.905 metros de cada conductor e hilo respectivamente. Lo anterior nos indica que, en el dado caso que la guía ascendente y descendente de la descarga atmosférica se encuentren dentro del radio crítico de atracción estos tenderán a ser atraídos hacia el hilo de guarda o conductor de fase.

¹⁴ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Interfaz Electrogeométrica (Vista Aérea)¹⁵

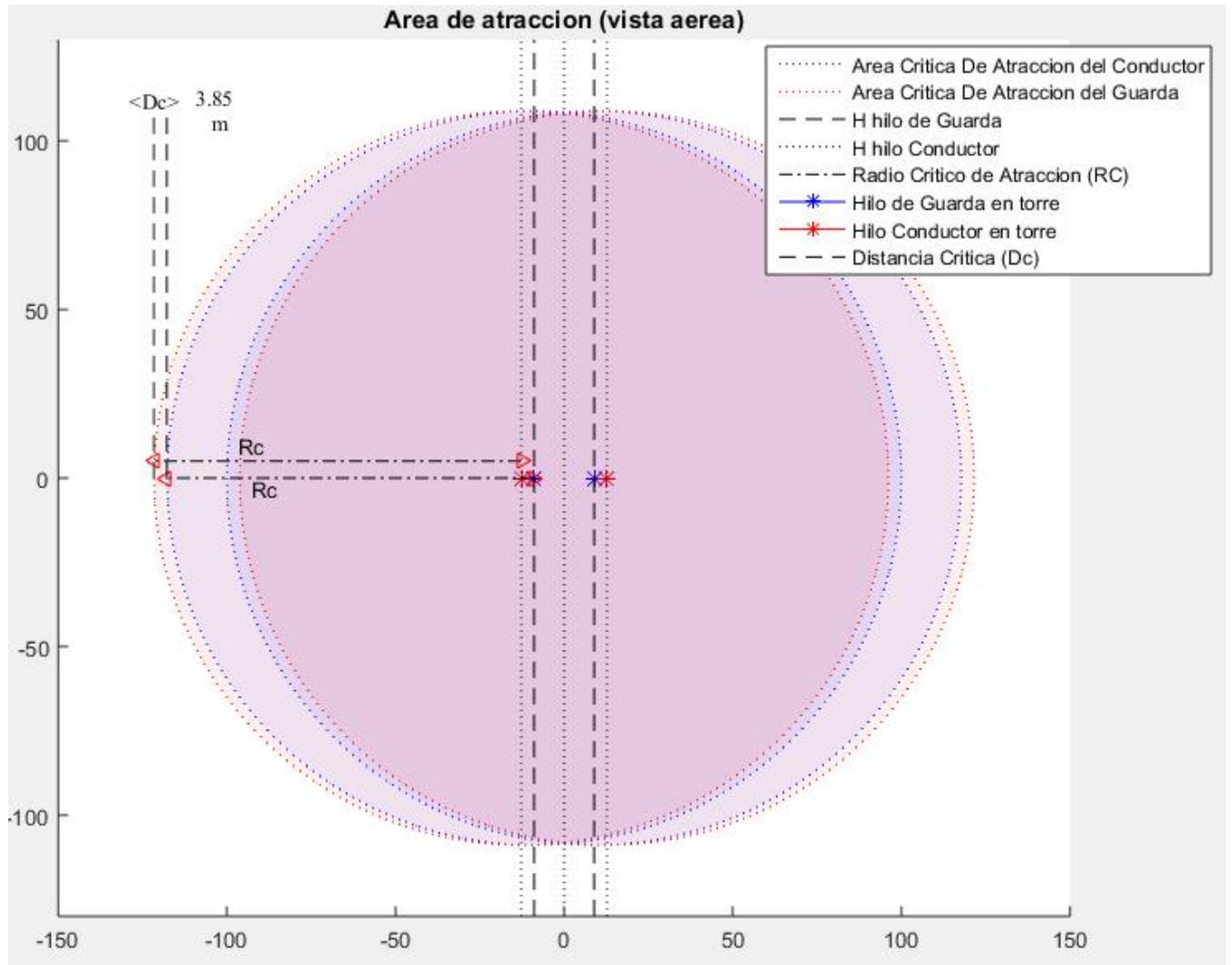


Ilustración 25 Interfaz Electrogeométrica (Vista Aérea)

Descripción

Gracias a las ecuaciones implementadas en Matlab para la obtención del radio crítico de atracción se ha podido obtener la interfaz gráfica con la apreciación aérea de la línea de transmisión, donde podemos ver con puntos marcados en color azul (hilos de guarda) y rojo (conductor de fase). Así mismo se representan con los mismos colores con una tonalidad tenue. El radio crítico de atracción de los hilos de guarda y los conductores laterales de fase, con un valor de radio crítico de atracción de 108.905 metros de cada conductor e hilo respectivamente. Lo anterior nos indica que, en el dado caso que la guía ascendente y descendente de la descarga atmosférica se encuentren dentro del radio crítico de atracción estos tenderán a ser atraídos hacia el hilo de guarda o conductor de fase.

¹⁵ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Interfaz Electrogeométrica (Vista 3D)¹⁶

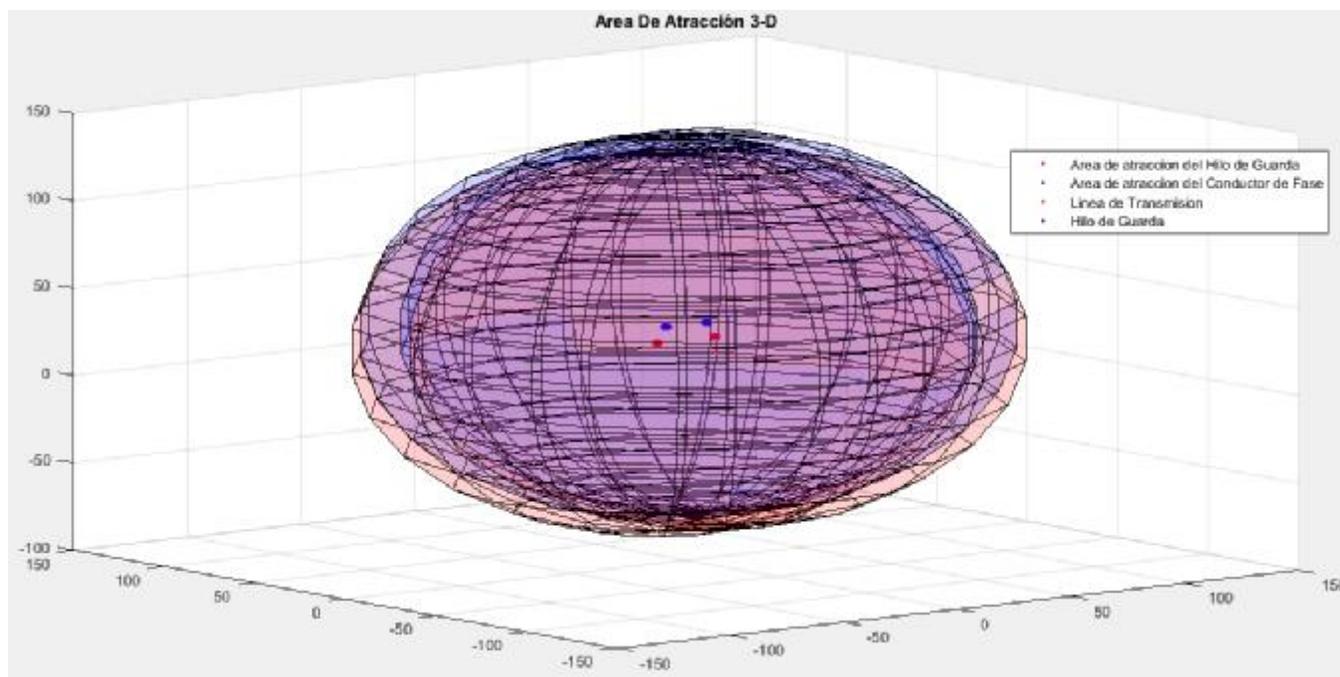


Ilustración 26 Interfaz Electrogeométrica (Vista 3D)

Descripción

Gracias a las ecuaciones implementadas en Matlab para la obtención del radio crítico de atracción se ha podido obtener la interfaz gráfica con la apreciación 3D de la línea de transmisión, donde podemos ver con puntos marcados en color azul (hilos de guarda) y rojo (conductor de fase). Así mismo se representan con los mismos colores con una tonalidad tenue. El radio crítico de atracción de los hilos de guarda y los conductores laterales de fase, con un valor de radio crítico de atracción de 108.905 metros de cada conductor e hilo respectivamente. Lo anterior nos indica que, en el dado caso que la guía ascendente y descendente de la descarga atmosférica se encuentren dentro del radio crítico de atracción estos tenderán a ser atraídos hacia el hilo de guarda o conductor de fase.

¹⁶ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Angulo de blindaje.¹⁷

¿Qué es el ángulo de blindaje?

Se conoce como ángulo de blindaje a la posición geométrica del hilo de guarda e hilo de fase en el sistema eléctrico de distribución o transmisión con los cuales es posible formar un ángulo imaginario, originándose gracias a la línea vertical imaginaria que va del suelo al hilo de guarda y la línea imaginaria que une el cable de guarda y el conductor de fase lateral, así como también la línea imaginaria que va de la ubicación del conductor de fase a la línea vertical dibujada del suelo a la ubicación del guarda respecto a la misma altura del conductor.

El concepto anterior lo podemos comprender mejor con la siguiente figura.

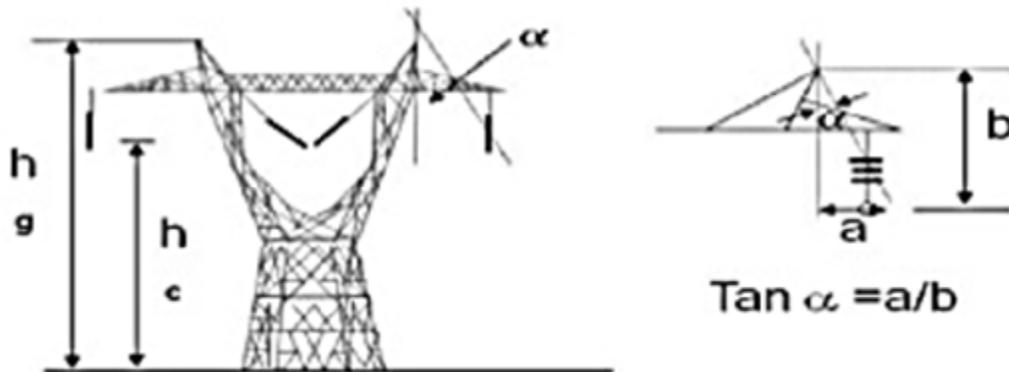


Ilustración 27 Descripción Angulo de Blindaje

Donde:

hg = altura del hilo de guarda

hc = altura del conductor de fase

a = separación entre la línea vertical que va del suelo al hilo de guarda. Con la ubicación del conductor de fase.

B distancia entre hg y hc

α = ángulo de blindaje

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{a}{b}$$

¹⁷ "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination), October 1991, CIGRÉ

Clasificación De Ángulos De Blindaje

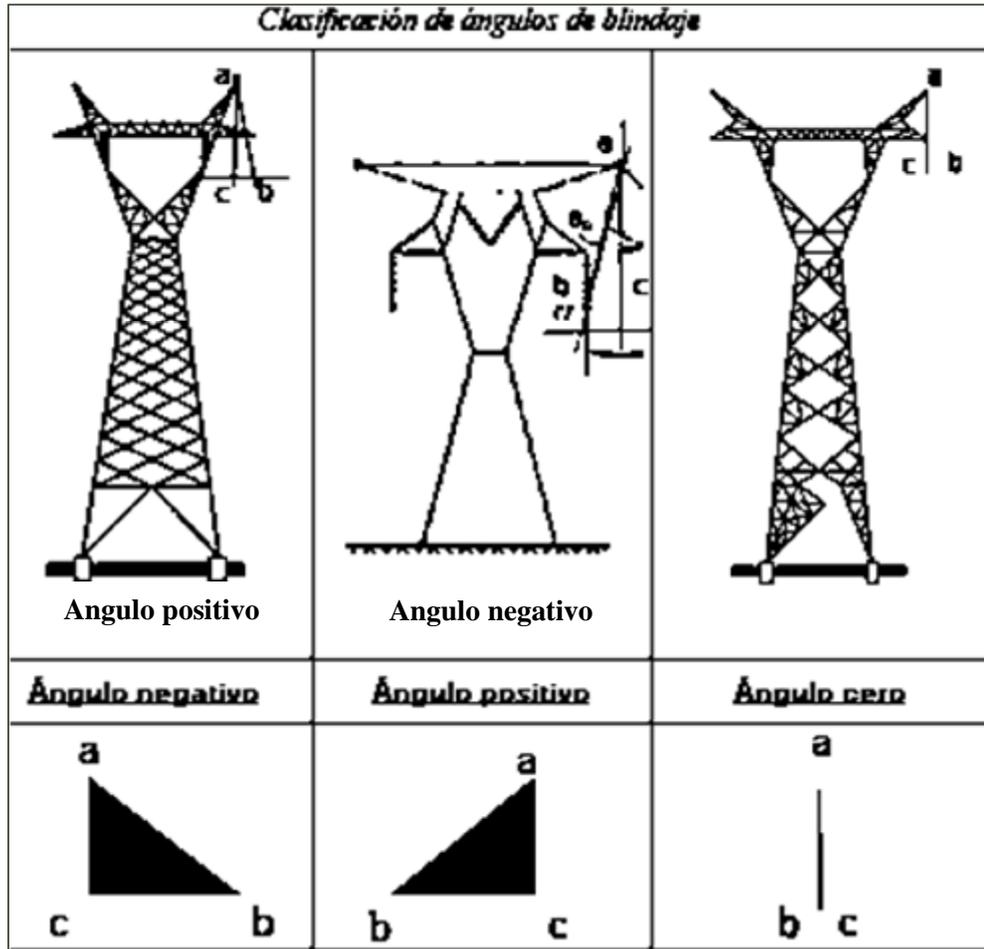


Ilustración 28 Clasificación Ángulos de Blindaje

Donde

a = altura del hilo de guarda

b = altura del hilo conductor

c = trazo imaginario vertical sobre la sombra del hilo de guarda

Análisis Electrogeométrico

Dados los parámetros obtenidos mediante el procedimiento 63 de CIGRE aplicados en la programación en Matlab es posible deducir lo siguiente.

Tabla 5 Análisis Electrogeométrico LT A3360 A3260 A3T10

Línea A3360 / A3T10 / A3260 Anillo MID TMD	
Línea de transmisión	A3T10 A3260 A3360
Torre tipo	Dm+2
Angulo de blindaje	23.9196° (positivo)
Radio critico de atracción	108.905
Densidad de rayos tierra km ²	8.53836
Densidad de rayos en la línea por cada km	216.564
Distancia critica	3.85m

Comentario

Una vez obtenidas las variables anteriores mediante los parámetros detallados anteriormente se necesita el ultimo complemento para implementar el estudio desde el punto de vista transitorio. El cual será abordado mediante el software de licencia libre ATP Draw para ello antes de implementarlo será importante ondear en el sistema de tierras, puesto que es pertinente realizar la implementación de este tópico en el modelado de manera directa.

SISTEMA DE TIERRAS¹⁸

La importancia de los cables de guarda, que proporcionan el blindaje ante descargas atmosféricas en una línea de transmisión, es complementada con el sistema de puesta a tierra que debe de proveer una conexión de baja impedancia entre la estructura y la tierra física.

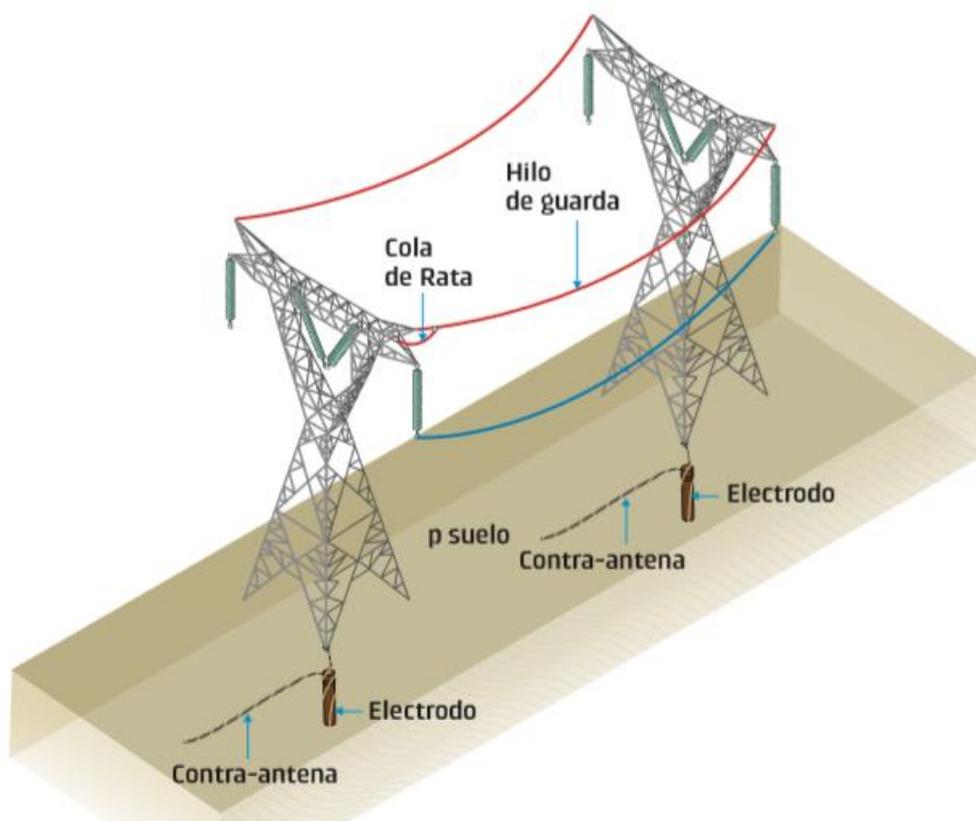


Ilustración 29 Sistema de Tierras En Líneas de Transmisión

El sistema de puesta a tierra es un conjunto de elementos cuyos propósitos fundamentales son

Proveer una conexión de baja impedancia entre la estructura de una línea de transmisión y la tierra física

Limitar el aumento de los gradientes de potencial en los alrededores de la estructura.

¹⁸ Manual para diseño electromecánico de líneas de transmisión aéreas. Dirección de proyectos de inversión financiada. Subdirección de proyectos y construcción. Coordinación de proyectos de transmisión y transformación.

Archivo Departamento de Líneas de Transmisión, Zona de Transmisión Coahuila

Elementos De Un Sistema De Tierras¹⁹

Un sistema típico de puesta a tierra de una línea de transmisión comprende los siguientes elementos.

- (1) Hilos de guarda
- (2) Conexión del cable de guarda con la estructura (Colas de rata)
- (3) Estructura
- (4) Conductor de puesta a tierra (bajante)
- (5) Electrodo y/o contra antenas
- (6) Tierra natural o relleno
- (7) Conectores.

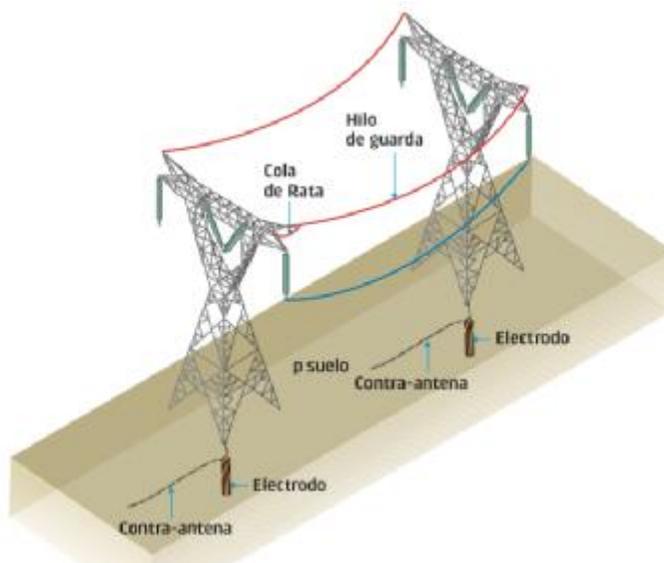


Ilustración 30 Sistema de Tierras en Líneas de Transmisión

Se proporciona la información por parte del Departamento de Líneas de Transmisión de la Zona de Transmisión Coatzacoalcos, para realizar el análisis. Dichos datos proporcionados corresponden a los perfiles de tierras los cuales contienen los parámetros de resistividad de terreno y resistencia a pie de torre.



LÍNEA PERFIL
TIERRAS MID-A3360



LÍNEA PERFIL
TIERRAS MID- A3T10



LÍNEA PERFIL
TIERRAS CHM-A326C

Lo anterior es para observar y analizar las áreas críticas pertinentes de las líneas sobre las cuales se trabaja.

¹⁹ Manual para diseño electromecánico de líneas de transmisión aéreas. Dirección de proyectos de inversión financiada. Subdirección de proyectos y construcción. Coordinación de proyectos de transmisión y transformación.

Análisis Del Sistema De Tierras.²⁰

Se visualizan los parámetros de los sistemas de tierras de las líneas en estudio para posteriormente elegir 5 estructuras por línea para realizar la simulación y obtener las variables deseadas. Dichas estructuras deberán tener la particularidad de tener una Resistencia a Pie de Torre superior a los límites recomendados de la especificación CFE 00J00-52, Así como una resistividad alta. Se ha elegido lo siguiente.

Tabla 6 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10

Línea	Estructuras				
	48	49	50	51	52
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3T10	0.946	0.97	13.31	1.33	3.21
	Resistividad del terreno Ω/m 1.6 m				
	420	341	803	251	119.4

Tabla 7 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10

Línea	Estructuras				
	193	194	195	196	197
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3260	0.6	3	12.6	0.7	5.6
	Resistividad del terreno Ω/m 1.6 m				
	630	620	1740	1840	120

Tabla 8 Análisis de Sistemas de Tierras LT A3T10

Línea	Estructuras				
	430	431	432	433	434
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3360	6.6	8.9	6.7	9.54	9.2
	Resistividad del terreno Ω/m 1.6 m				
	367	499	103	1697	869

²⁰ Archivo (2015) Departamento de Líneas de Transmisión, Zona de Transmisión Coatzacoalcos.

Conversión Resistividad Ω/M A Resistencia Ω

Dada la siguiente formula

$$R = \frac{\rho d}{2 * \pi l} \ln * \left(\frac{2l}{A}\right) [\Omega] \quad \text{donde } A = \sqrt[4]{\sqrt{2} * a * d^3} [\text{m}] \quad \text{ecuación (4)}$$

La cual es proporcionada por el manual de diseño electromecánico para líneas de transmisión aéreas se procede a realizar el cálculo para poderlo integrar al modelado para nuestro estudio.

Gracias a la formula anterior nuestros parámetros para la simulación quedaran de la siguiente manera.

Tabla 9 Conversión Resistividad a Resistencia LT A3T10.

Línea	Estructuras				
	48	49	50	51	52
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3T10	0.946	0.97	13.31	1.33	3.21
	Resistividad del terreno Ω 1.6 m				
	32.20	26.14	61.56	19.244	9.15

Tabla 10 Conversión Resistividad Resistencia LT A3260

Línea	Estructuras				
	193	194	195	196	197
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3260	0.6	3	12.6	0.7	5.6
	Resistividad del terreno Ω 1.6 m				
	48.30	47.53	133.40	141.07	9.20

Tabla 11 Conversión Resistividad Resistencia LT A3360

Línea	Estructuras				
	430	431	432	433	434
	Resistencia a Pie de Torre Ω				
A3360	6.6	8.9	6.7	9.54	9.2
	Resistividad del terreno Ω 1.6 m				
	28.13	38.25	7.89	130.11	66.62

Cabe mencionar que con base a lo anterior lo ideal es tener un nivel de menos de 100 ohm/m lo cual es muy complejo y este a su vez nos proveería de 7.66 ohm lo cual justificaría a la especificación CFE 00J100-52 donde se menciona los 10 ohm como máximo para la resistencia a pie de torre.

MODELADO INTEGRAL DEL SISTEMA A ANALIZAR²¹

Se realiza la modelación mediante el software ATP Draw el cual ofrece la ventaja de tener la capacidad de simular transitorios electromagnéticos. Gracias a ello nos ofrecerá un amplio panorama para analizar los efectos de la descarga atmosférica y su comportamiento como transitorio electromagnético al interactuar con la red de transmisión.

Características Del Modelado

Modelado de 5 estructuras por línea anexando el complemento de la línea a los extremos

La impedancia característica de la torre de transmisión será obtenida mediante el manual de coordinación de aislamiento en líneas de transmisión.

Se efectuarán 3 modelados por línea los cuales consisten en:

- (1) Situación actual
- (2) Maniobra de configuración para ángulo de blindaje (Modificando cadena de aisladores)
- (3) Maniobra de configuración para ángulo de blindaje (Modificando cupulas de guarda)
- (4) Modelado de la línea por claros

Se modelará por claro para las 5 estructuras a analizar (Conductor F – Hilo guarda) 300m (Bluejay 1113 45-7 /alumoweld 7 #8) la información de los parámetros eléctricos de los conductores será proporcionados por los manuales del proveedor.

Modelado de resistencia a pie de torre y resistividad del terreno

Resistencia a pie de torre, así como la resistividad serán tomadas a partir de los perfiles de tierras que ha proporcionado el Departamento de Líneas de Transmisión y serán analizadas con fundamento en CFE 00J00-52

²¹ Especificación CFE 52210-47. Especificación CFE 0J00-52 Manual de Diseño Electromecánico Para Líneas de Transmisión Aéreas, Manual de Coordinación de Aislamiento.

Variables A Obtener

Sobre tensiones inducidas en el conductor de fase respecto a la descarga atmosférica incidente en el guarda.

La sobretensión a analizar esta con base al Flashover conforme a CFE 52210-47

Red Modelada Para La Simulación. SE MID

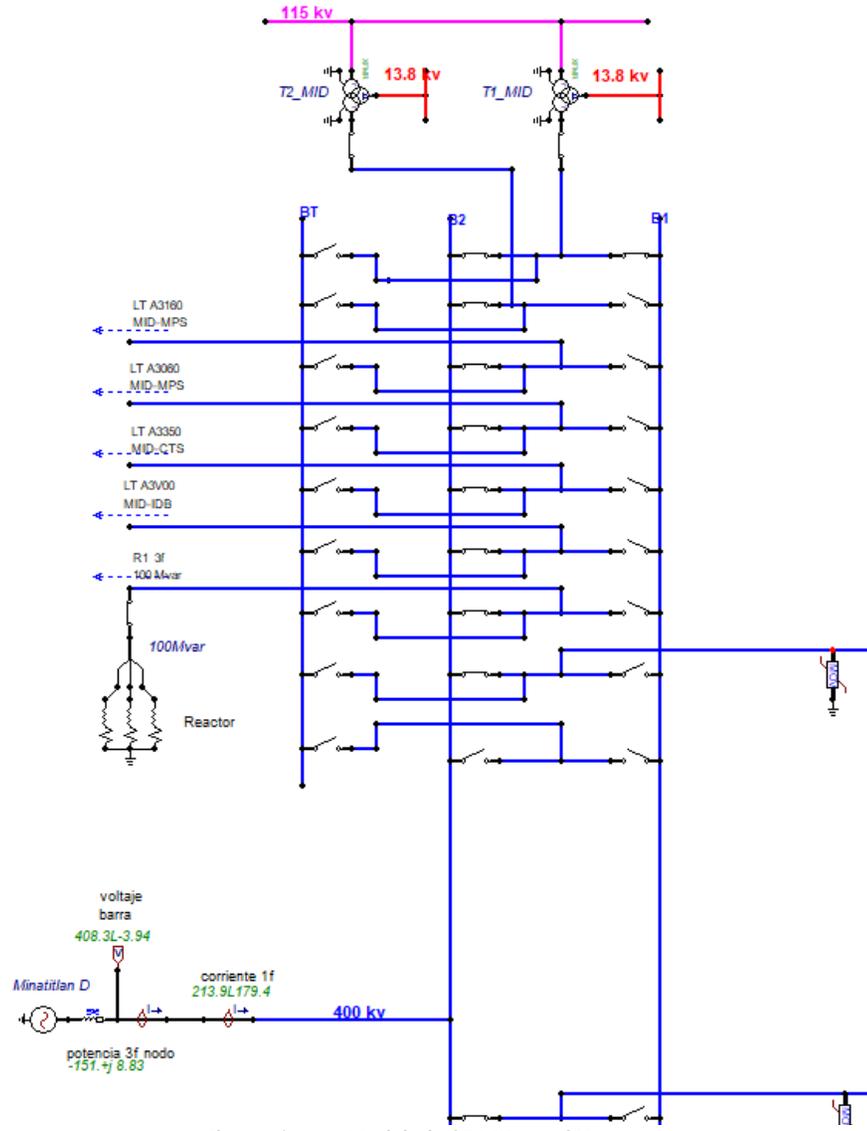


Ilustración 31 Modelado SE MID 400 kv

Red Modelada Para La Simulación. SE CHM

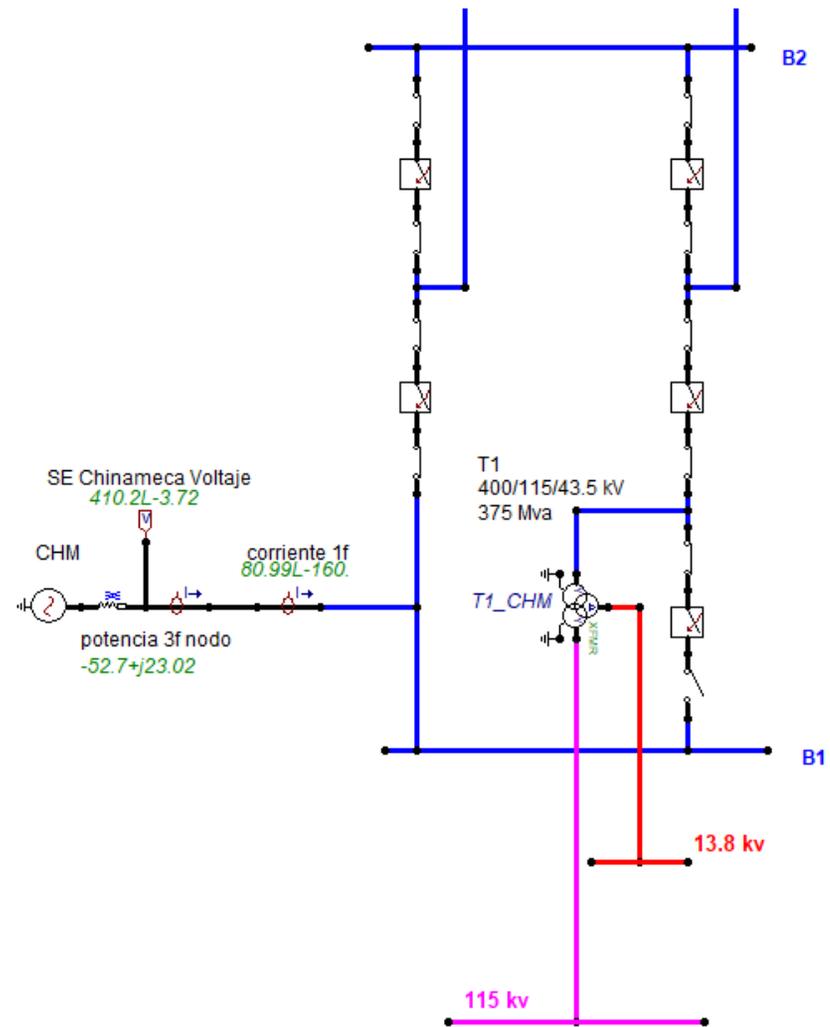


Ilustración 32 Modelado SE CHM 400 kV

Red Modelada Para La Simulación. SE TMD

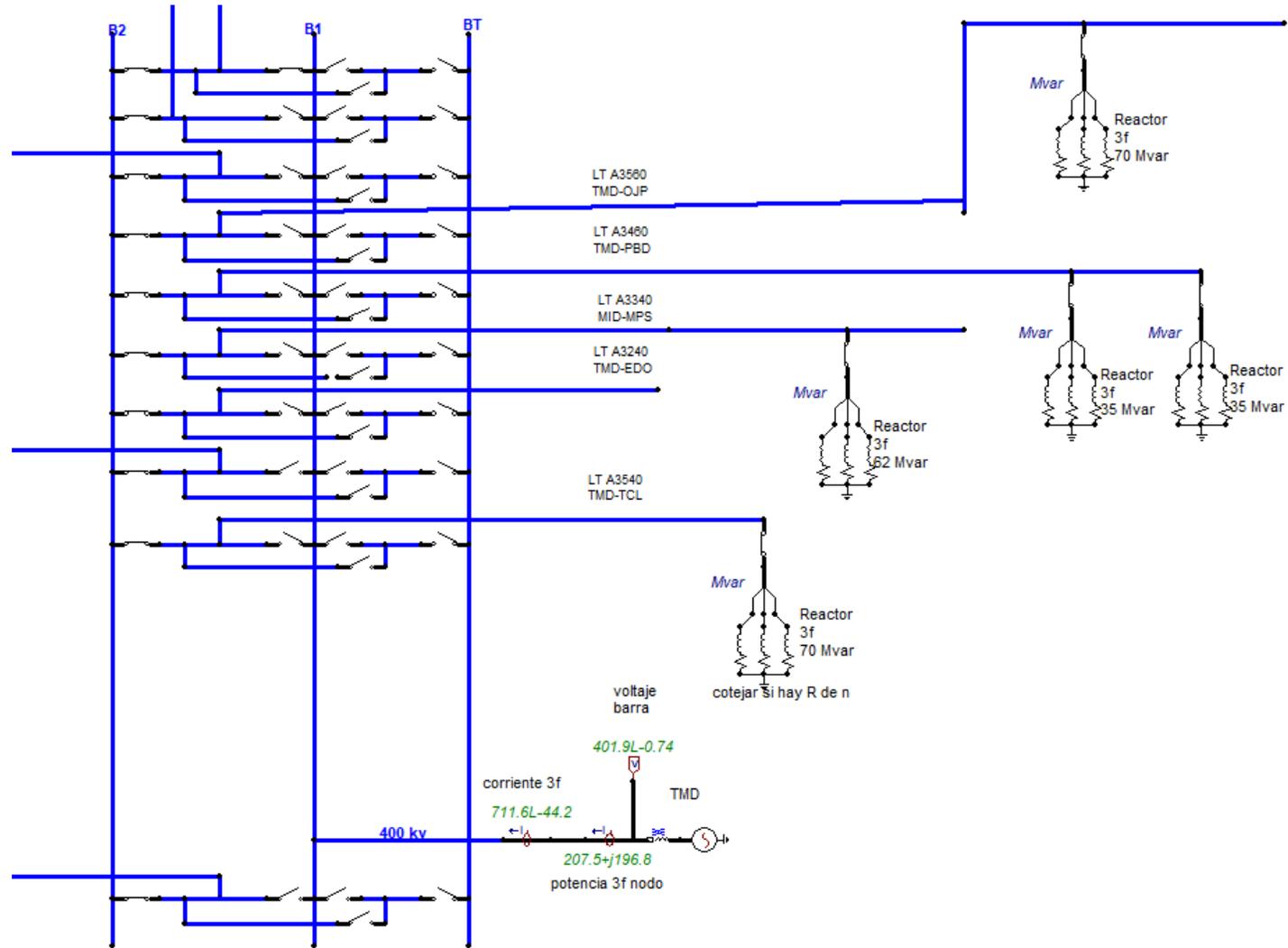


Ilustración 33 Modelado SE TMD 400 kV

Red Modelada Para La Simulación. SE TMD CEV

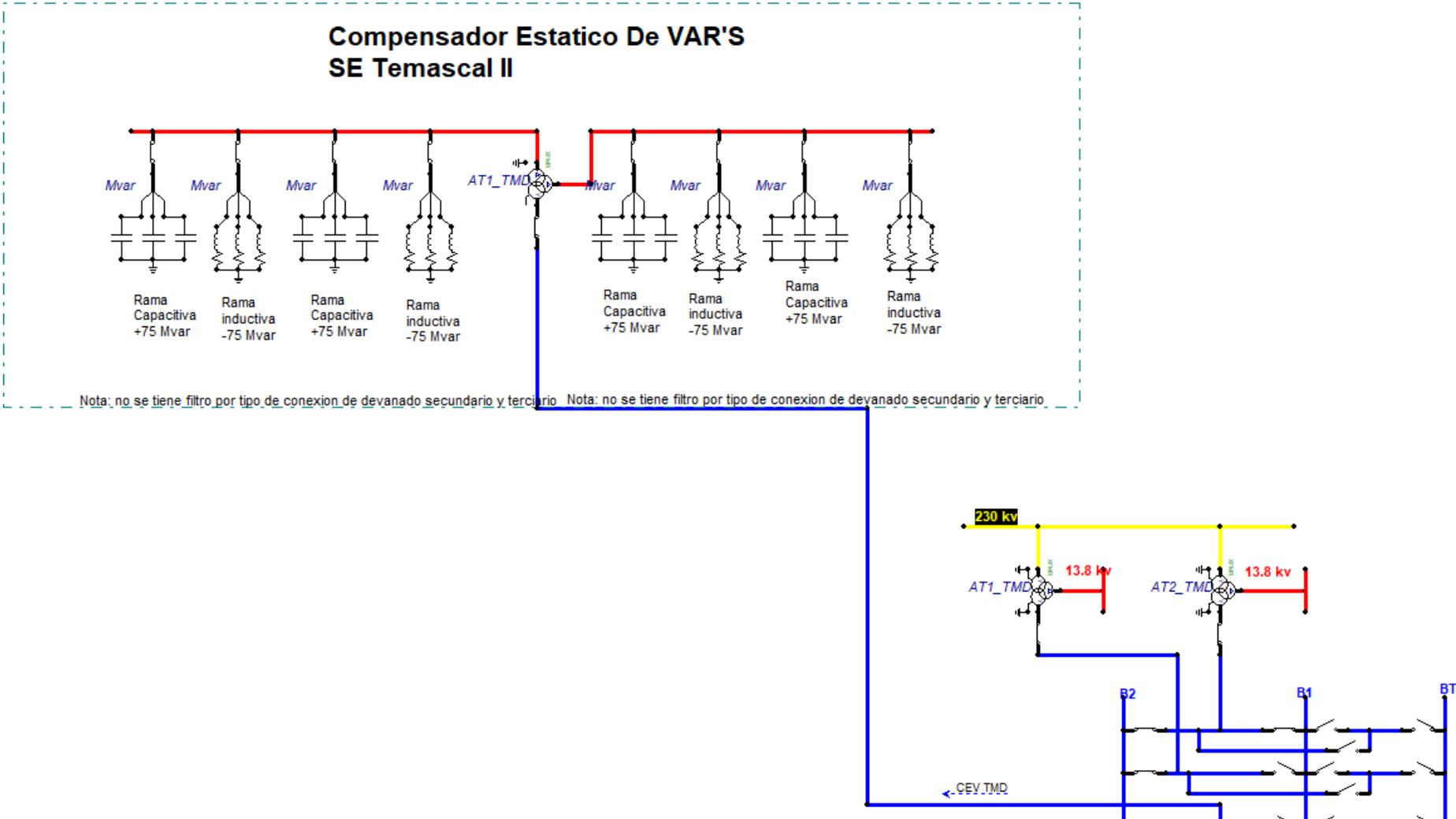


Ilustración 34 Modelado CEV TMD +/- 300 Mvar

Red Modelada Para La Simulación. TP, TC, Interruptores, Compensación Serie. A3260-A3360

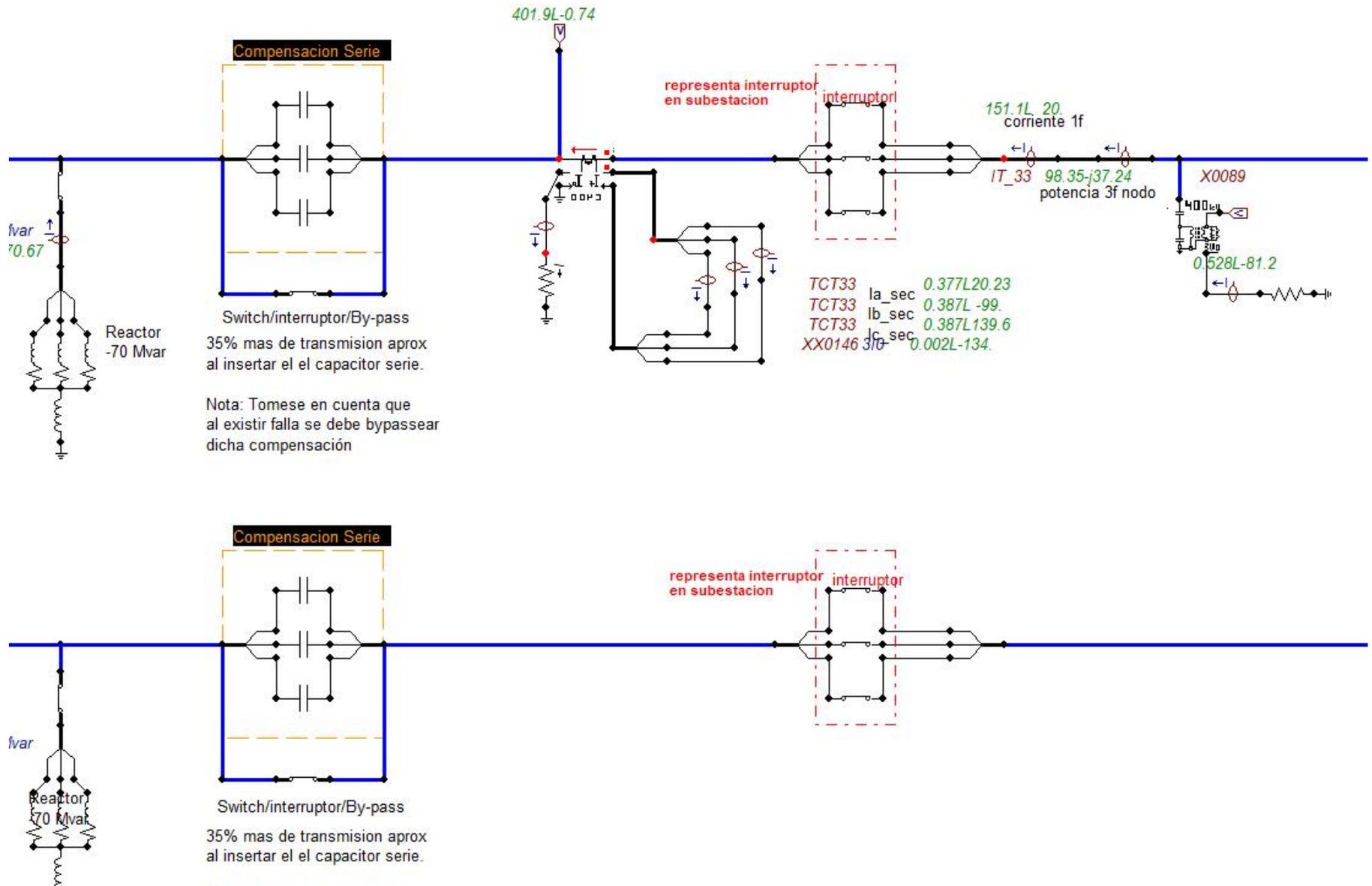


Ilustración 35 Modelado TP, TC, Interruptores, Compensación serie

Red Modelada Para La Simulación. LT A3360

EJEMPLO: DESCARGA ATMOSFERICA SOBRE EL HILO DE GUARDA

ESCENARIO:

LINEA: LINEA A3360 MID-CHM
FALLA : CLARO 432-433

DESCARGA ATMOSFERICA CAE SOBRE HILO DE GUARDA PROVOCANDO UNA SOBRE TENSION EN LAS FASES .
AVOCANDONOS A LA ESPECIFICACION CFE 52210-47 PODEMOS DETERMINAR QUE EL NIVEL DE SOBRETENSION
GENERADO POR LA DESCARGA ATMOSFERICA OCASIONARA EL FLAMEO DEL AISLADOR PROCOVANDO UNA
FALLA DE ALTA IMPEDANCIA POR LAS CARACTERISTICAS PROPIAS DE LA SITUACION

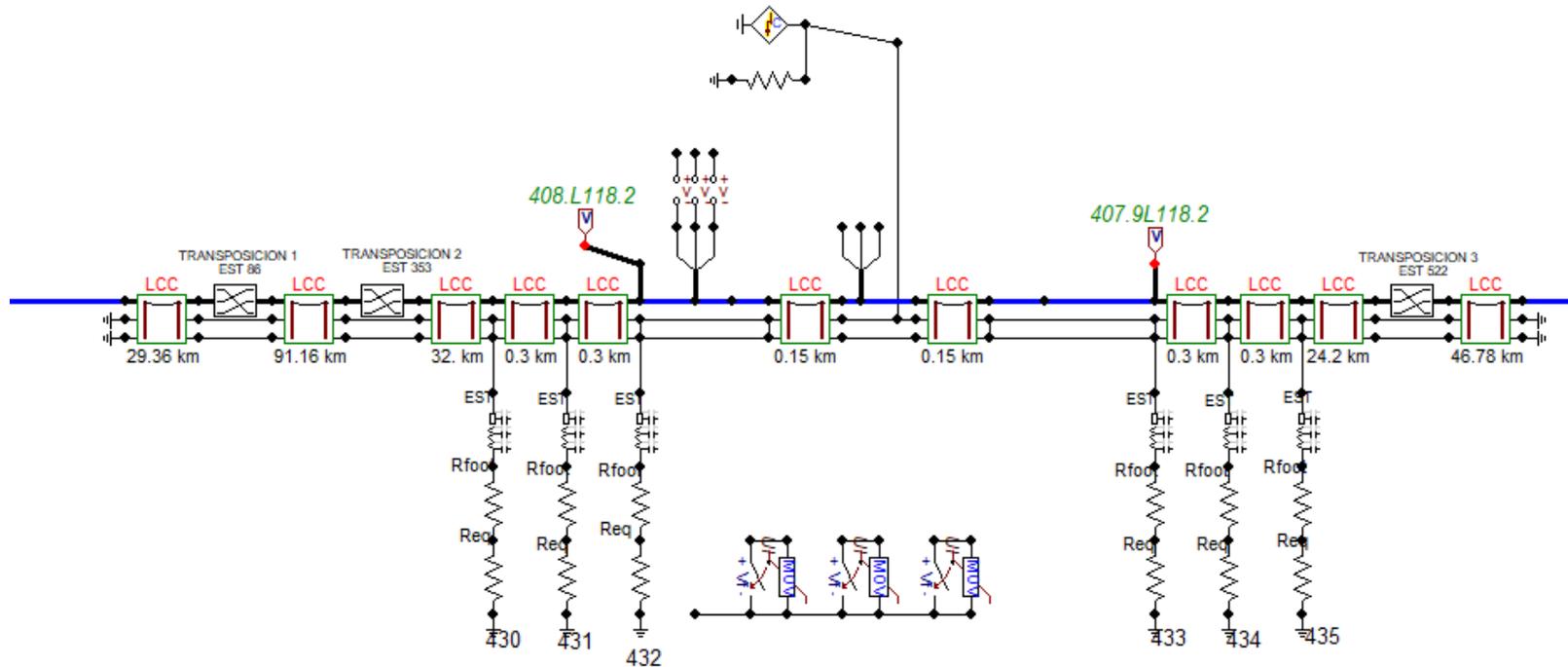


Ilustración 36 LT A3360 Modelada

Red Modelada Para La Simulación. LT A3T10



Ilustración 37 LT A3T10 Modelada

Red Modelada Para La Simulación. LT A3260

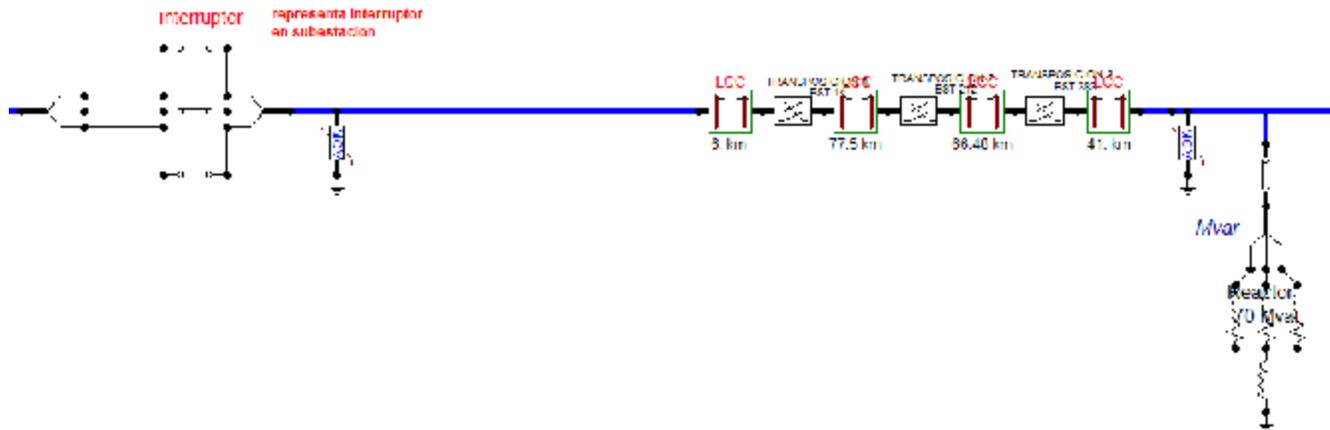


Ilustración 38 LT A3260 Modelada

Detalles Del Modelado Implementado.

Fuente De Voltaje



Se simulan 3 fuentes de voltaje para sintonizar el nodo MID CHM TMD las características del modelado de las fuentes respecto a la magnitud de voltaje y ángulo serán las siguientes.

Ilustración 39 fuente de voltaje

Nodo MID

Le corresponde una magnitud de un 1 p.u de voltaje puesto que tomaremos al nodo MID como el SWIN o System Slack por lo tanto su ángulo será de 0°

Nodo CHM

Le corresponde una magnitud de + 1 p.u de voltaje puesto que tomaremos al nodo CHM como el nodo de control de voltaje por lo tanto su ángulo será de 0°

Nodo TMD

Le corresponde una magnitud de -1 p.u de voltaje ya que se tomará al nodo de TMD como nodo de carga así que por lo tanto le corresponde un ángulo de -0° o ángulo en atraso para que este se comporte como nodo de carga.

Lo anterior es justificado en base a que deseamos orientar los flujos de potencia con dirección de sur a norte lo cual gracias a lo mencionado será posible.

Nota: en la red simulada 1.0 p.u corresponde a 400 kV el cual se tomará como valor base del sistema.

Equivalente de Thévenin



Se obtienen los equivalentes de Thévenin para los 3 nodos en cuestión, esto es posible gracias al software ASPEN OneLiner, mediante la función Boundary Equivalent. Ha sido proporcionada la Red Troncal de 400 kV con la cual ha sido posible obtener el equivalente de Thévenin para los 3 nodos en cuestión.

Ilustración 40 Equivalente de Thévenin

Equivalentes De Thévenin De La RNT

Nodo MID

Z + se tendrá una R de 0.00259 p.u y una jX de 0.01697 p.u

Z – se tendrá una R de 0.00258 p.u y una jX de 0.01695 p.u

Z 0 se tendrá una R de 0.00095 p.u y una jX de 0.01138 p.u

Nodo CHM

Z + se tendrá una R de 0.1099 p.u y una jX de 0.2021 p.u

Z – se tendrá una R de 0.10981 p.u y una jX de 0.20206 p.u

Z 0 se tendrá una R de 0.00007 p.u y una jX de 0.04046 p.u

Nodo TMD

Z + se tendrá una R de 0.00132 p.u y una jX de 0.00762 p.u

Z – se tendrá una R de 0.00128 p.u y una jX de 0.00754 p.u

Z 0 se tendrá una R de 0.00136 p.u y una jX de 0.01045 p.u

Nota: la Zbase es 1600 ohm

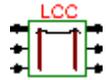
La cual proviene de la siguiente formula

$$Zb = \frac{vb^2}{sb} \quad \text{ecuación (5)}$$

Observación

Aspen otorga valores p.u mientras que en ATP Draw se ingresa el valor real de la impedancia según su secuencia.

Líneas De Transmisión



bajo el modelo que ofrece ATP Draw se ingresarán los parámetros correspondientes en el cuadro de dialogo del modelo. Dichos parámetros son suministrados tanto por el fabricante los cuales corresponden a resistencia eléctrica y radios del material conductor, como por el departamento de Líneas, ya que se necesita la disposición de fases, número de conductores por fase, configuración de conductores si es el caso.

Se utiliza los siguientes parámetros para la construcción de los modelos para las 3 líneas en estudio.

Tabla 12 Características físicas de conductores.

#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]	Separ [cm]	Alpha [deg]	NB
1	1	0.40005	1.59893	0.05085	0	26.2	20.2	45	180	2
2	2	0.40005	1.59893	0.05085	12.5	26.2	20.2	45	180	2
3	3	0.40005	1.59893	0.05085	25	26.2	20.2	45	180	2
4	4	0	0.489	1.516	3.85	34.88	28.88	0	0	0
5	5	0	0.489	1.516	21.6	34.88	28.88	0	0	0

LT A3360

Se utilizaron 5 modelos para la construcción del área elegida en base a los criterios de alta resistencia a pie de torre y resistividad de terreno. Así como otros 5 modelos para completar el largo de la línea, 3 de ellos antes del área elegida para el estudio y 2 posterior al mismo.

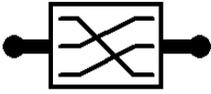
LT A3T10

Se utilizaron 5 modelos para la construcción del área elegida en base a los criterios de alta resistencia a pie de torre y resistividad de terreno. Así como otros 3 modelos para completar el largo de la línea, 1 de ellos antes del área elegida para el estudio y 2 posterior al mismo.

LT A3260

Se utilizaron 5 modelos para la construcción del área elegida en base a los criterios de alta resistencia a pie de torre y resistividad de terreno. Así como otros 5 modelos para completar el largo de la línea, 3 de ellos antes del área elegida para el estudio y 2 posterior al mismo.

Transposición



Dada las longitudes de la línea, es inherente la transposición de la misma para la LT A3360 y A3260 las cuales poseerán 3 transposiciones cada una respectivamente.

Ilustración 41 Transposición

Estructura



El modelado de la estructura se hace en base a la impedancia típica para torres DM u AM datos típicos manejados por la tabla 2.2 del manual de coordinación de aislamiento la cual constara de una impedancia característica de 200 ohm, el modelado requiere de un valor de resistencia el cual es muy bajo se le concederá el valor de 0.001 ohm y una velocidad de propagación característica de la velocidad del sonido la cual es de $3e8$. Así mismo se le otorga una distancia que es similar a la altura de la estructura la cual esta tasada en 34.88 m.

Ilustración 42 Torre de Transmisión

Resistencia a pie de torre y Resistencia equivalente a resistividad



Ambas se modelan en base al parámetro suministrado por los perfiles de tierras, así como gracias a la conversión que se realiza para obtener la resistencia equivalente a partir de la resistividad, con ello únicamente se insertara el valor dentro del modelo el cual es una resistencia típica.

Ilustración 43 Resistencia a pie de torre

Compensación

Tanto la LT A3360 como la A3260 tienen la característica de tener compensación. Capacitor serie y reactores en derivación con reactor de neutro.

Reactores.

Se tiene reactores monofásicos de una capacidad de 75 Mvar para las líneas mencionadas con anterioridad, el modelado implementado para las mismas es el siguiente.

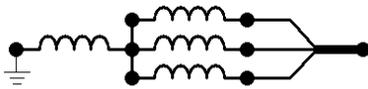


Ilustración 44 Reactor

Nota: a partir de la potencia “75 Mvar” podemos saber la reactancia inductiva del reactor para ser implementado en ATP Draw.

Capacitor serie

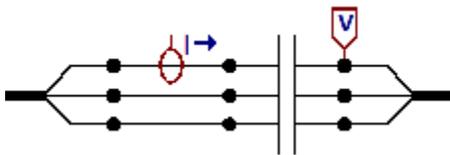


Ilustración 45 Compensación Serie

Se tiene compensación serie en la línea la cual tiene a bien cumplir con su función con una reactancia capacitiva de $-j X_c$ 0.0251 ohm y es implementado de esta manera.

Nota: Se tiene a bien modelar dicho capacitor serie, pero para fines de simulación se utilizará un interruptor para puentear su función, puesto que para la misma no se interactuará con el capacitor serie.

Simulación y análisis de variables obtenidas.

LT A3360

Se simulan 4 escenarios para observar el comportamiento de la descarga atmosférica cuando impacta sobre el hilo de guarda.

Los parámetros a variar corresponden a lo siguiente.

Situación actual

Corrección de ángulo de blindaje (moviendo los guardas)

Corrección de ángulo de blindaje (configurando cadenas de aisladores)

Mejoramiento del sistema de tierras

LT A3T10

Se simulan 4 escenarios para observar el comportamiento de la descarga atmosférica cuando impacta sobre el hilo de guarda.

Los parámetros a variar corresponden a lo siguiente.

Situación actual

Corrección de ángulo de blindaje (moviendo los guardas)

Corrección de ángulo de blindaje (configurando cadenas de aisladores)

Mejoramiento del sistema de tierras

LT A3260

Se simulan 4 escenarios para observar el comportamiento de la descarga atmosférica cuando impacta sobre el hilo de guarda.

Los parámetros a variar corresponden a lo siguiente.

Situación actual

Corrección de ángulo de blindaje (moviendo los guardas)

Corrección de ángulo de blindaje (configurando cadenas de aisladores)

Mejoramiento del sistema de tierras

Variables Obtenidas LT A3360 (Sobre tensiones)

Situación actual

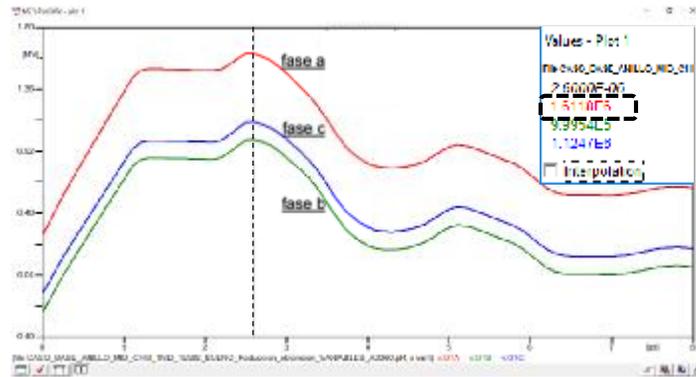


Ilustración 46 Sobretensión Generada LT A3360 Situación Actual Escenario a

(a)

Modificando cadena de aisladores para tener blindaje (-)

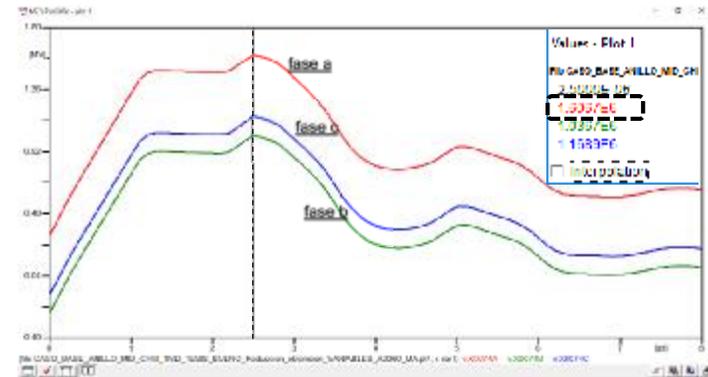


Ilustración 47 Sobretensión Generada LT A3360 modificando cadena de aisladores Escenario b

(b)

Modificando cupulas de guarda para tener blindaje (-)

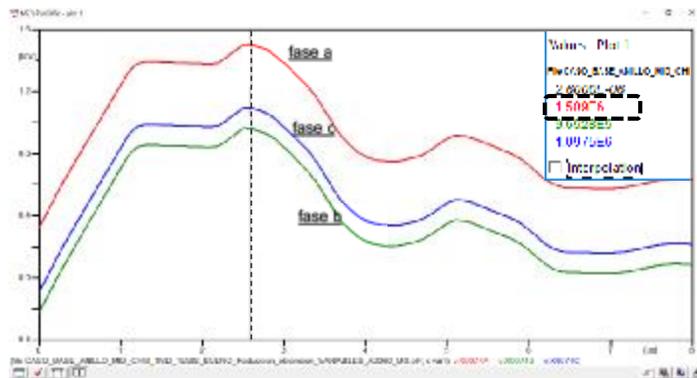


Ilustración 478 Sobretensión Generada LT A3360 Modificando Cupulas de Guarda Escenario c

(c)

Mejorando el sistema de tierras

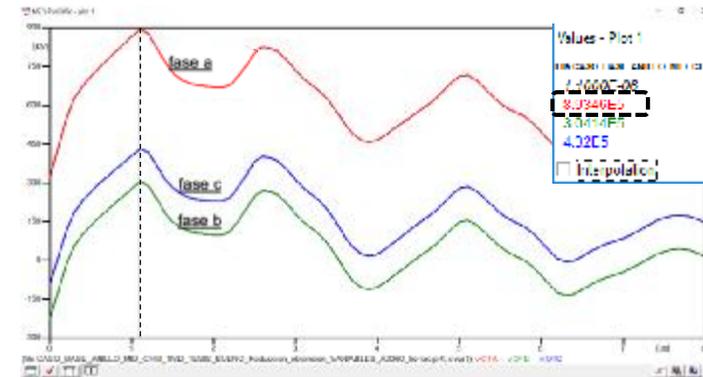


Ilustración 49 Sobretensión Generada LT A3360 Mejorando Sistema de Tierras Escenario d

(d)

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Análisis de Resultados Línea A3360

Cómo se ha podido apreciar a lo largo de las 4 figuras observadas anteriormente las variables obtenidas cambian modificando los parámetros correspondientes a cada una.

Situación Actual - Figura (A)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (a) que en la situación actual de la línea A3360 al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 45 kA sobre el hilo de guarda se generara una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.61 MV pico en la fase a, 999 kV pico en la fase b y 1.12 MV pico en la fase c.

De acuerdo a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (a) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. Mismo valor que ocasionara un flameo en el aislador traduciéndose a una falla de fase a tierra de alta impedancia. Lo cual genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Modificación De Cadena De Aisladores Obteniendo Blindaje (-) - Figura (B)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (b) la cual nos muestra la situación donde se lleva a cabo la estrategia común para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador, lo que se traduce como una falla de línea a tierra de alta impedancia, es modificar el ángulo de blindaje, en base a la configuración de la cadena de aisladores de las fases orilleras, sin embargo se observa en la gráfica (b) que esto no trae un resultado satisfactorio, puesto que se observan valores similares a la situación actual figura (a).

Al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 45 kA sobre el hilo de guarda se generará una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.60 MV pico en la fase a, 1.03 MV pico en la fase b y 1.16 MV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (b) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las otras fases, aumentaría.

El hecho anterior genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Modificación De Cupulas De Guarda Obteniendo Blindaje (-) - Figura (C)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (c) la cual nos muestra la situación donde se lleva a cabo otra de las estrategias comunes para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador, lo que se traduce como una falla de línea a tierra de alta impedancia, es modificar el ángulo de blindaje, en base a la restructuración de la torre en sus cupulas de guarda, desde el punto de vista mecánico, sin embargo se observa en la gráfica (c) que esto no trae un resultado satisfactorio, puesto que aunque el valor de la sobretensión tienda a disminuir un poco se observan valores similares a la situación actual figura (a).

Al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 45 kA sobre el hilo de guarda se generará una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.50 MV pico en la fase a, 965 kV pico en la fase b y 1.09 MV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (c) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebase los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las otras fases, disminuiría en comparación con la situación actual figura (a) y con la modificación de cadena de aisladores figura (b).

El hecho anterior genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Mejora En El Sistema De Tierras - Figura (D)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (d) la cual nos muestra el escenario donde se modifica el sistema de tierras a un valor de resistividad de 100 ohm/m que al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 45 kA sobre el hilo de guarda se generara una sobretensión en las fases con una magnitud de 893 kV pico en la fase a, 304 kV pico en la fase b y 432 kV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (d) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a, b o c*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. No rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las fases b y c, disminuirían en comparación con la situación actual figura (a), modificación de cadena de aisladores figura (b) y modificación de cupulas de guarda figura (c).

El hecho anterior genera una estrategia a tomar en cuenta para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Conclusión

Con base a los 4 análisis anteriores se puede determinar lo siguiente

Situación Actual

La condición actual del muestreo de 5 estructuras tomado de la línea MID A3360 TMD, carece de las condiciones adecuadas para la disipación de corriente inducida por la descarga atmosférica aplicada al hilo de guarda, torre, sistema de tierras. Lo que ocasiona una sobretensión y esta a su vez ocasiona un estrés superior al que soportan por especificación los aisladores, estrés por el cual ante la sobretensión originada el aislador sufriría una flashover ocasionando una falla de fase a tierra de alta impedancia.

Modificación De Cadena De Aisladores Y Cupulas De Guarda Obteniendo Blindaje (-)

Al observar las variables de tensión obtenidas se puede visualizar que la estrategia común para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador tratando de mecánicamente modificar el ángulo de blindaje, en base a la configuración de la cadena de aisladores de las fases orilleras, o modificando las cupulas de los guardas, siendo la primera más común que la segunda. No trae consigo un resultado satisfactorio, puesto que se observan valores similares a la situación actual.

Mejora En El Sistema De Tierras

Esta última acción ha sido la más favorable para contrarrestar los fenómenos causados por descargas atmosféricas, sin duda alguna es la acción correcta para evitar el flameo de aisladores, provocadas por la sobretensión de la misma. Nos da una viabilidad de operación continua evitando así las fallas por transitorios de voltaje ante su aumento súbito y a su vez nos permite generarles menos estrés a las cadenas de aisladores, lo que prolongaría su vida desde el punto de vista eléctrico.

Recomendación

Si se planea mitigar los efectos de la descarga atmosférica en líneas de transmisión, es necesario en primera instancia mejorar el sistema de tierra, la modificación de blindaje se vuelve prescindible con tendencias a opcional ya que solo se beneficia en 3.85 m de los 108.9 m del radio crítico de atracción.

Ing. José María Castillo Hernández

Variables Obtenidas LT A3T10 (Sobretensiones)

Situación actual

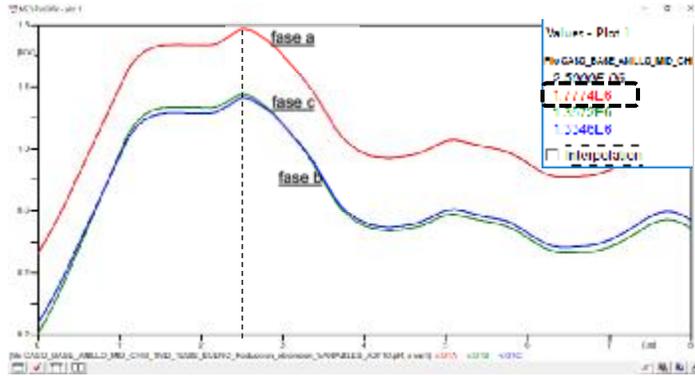


Ilustración 48 Sobretensión Generada LT A3T10 Situación Actual Escenario a

(a)

Modificando cadena de aisladores para tener blindaje (-)

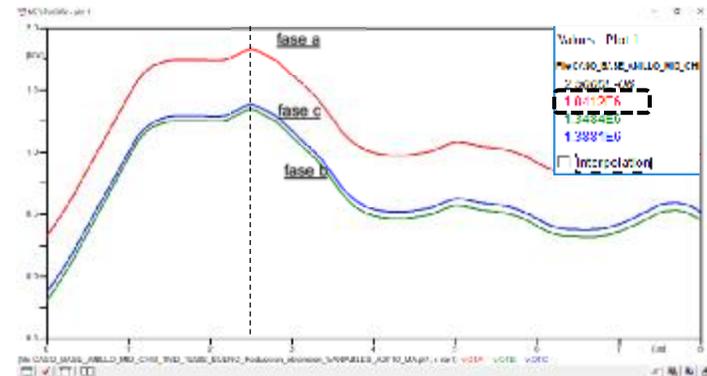


Ilustración 50 Sobretensión Generada LT A3T10 modificando cadena de aisladores Escenario b

(b)

Modificando cupulas de guarda para tener blindaje (-)

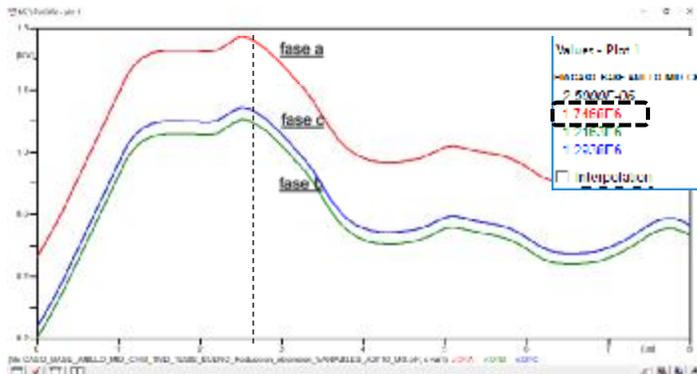


Ilustración 49 Sobretensión Generada LT A3T10 Modificando Cupulas de Guarda Escenario c

(c)

Mejorando sistema de tierras

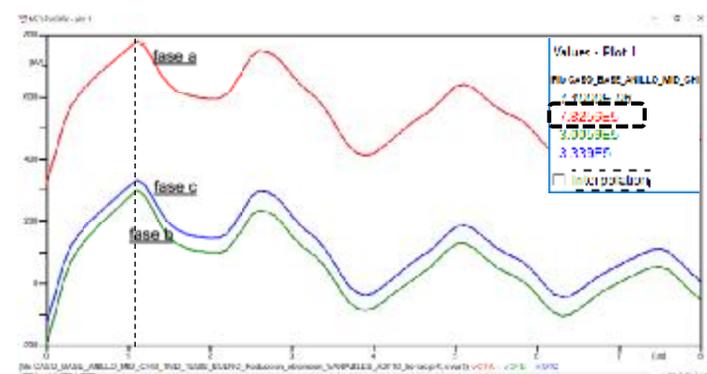


Ilustración 51 Sobretensión Generada LT A3360 Mejorando Sistema de Tierras Escenario c

(d)

Análisis De Resultados Línea A3T10

Es ha podido apreciar a lo largo de las 4 figuras observadas anteriormente las variables obtenidas cambian modificando los parámetros correspondientes a cada una.

Situación Actual - Figura (A)

Nos hace posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (a) que en la situación actual de la línea A3360 al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 40 kA sobre el hilo de guarda se generara una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.7 MV pico en la fase a, 1.35 MV pico en la fase b y 1.33 MV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (a) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. Mismo valor que ocasionara un flameo en el aislador traduciéndose a una falla de fase a tierra de alta impedancia. Lo cual genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Modificación De Cadena De Aisladores Obteniendo Blindaje (-) - Figura (B)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (b) la cual nos muestra la situación donde se lleva a cabo la estrategia común para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador, lo que se traduce como una falla de línea a tierra de alta impedancia, es modificar el ángulo de blindaje, en base a la configuración de la cadena de aisladores de las fases orilleras, sin embargo se observa en la gráfica (b) que esto no trae un resultado satisfactorio, puesto que se observan valores similares a la situación actual figura (a).

Al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 40 kA sobre el hilo de guarda se generará una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.84 MV pico en la fase a, 1.34 MV pico en la fase b y 1.38 MV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (b) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las otras fases, aumentaría.

El hecho anterior genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Modificación De Cupulas De Guarda Obteniendo Blindaje (-) - Figura (C)

Es posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (c) la cual nos muestra la situación donde se lleva a cabo otra de las estrategias comunes para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador, lo que se traduce como una falla de línea a tierra de alta impedancia, es modificar el ángulo de blindaje, en base a la restructuración de la torre en sus cupulas de guarda, desde el punto de vista mecánico, sin embargo se observa en la gráfica (c) que esto no trae un resultado satisfactorio, puesto que aunque el valor de la sobretensión tienda a disminuir un poco se observan valores similares a la situación actual figura (a).

Al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 40 kA sobre el hilo de guarda se generará una sobretensión en las fases con una magnitud de 1.74 MV pico en la fase a, 1.21 MV pico en la fase b y 1.29 MV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (c) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a*, gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. Rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las otras fases, disminuiría en comparación con la situación actual figura (a) y con la modificación de cadena de aisladores figura (b).

El hecho anterior genera un punto ciego para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Mejora En El Sistema De Tierras - Figura (D)

Nos hace posible apreciar el transitorio electromagnético causado por la descarga atmosférica la cual ha propiciado una sobretensión en las 3 fases entiéndase que en condiciones nominales para ese periodo de tiempo la gráfica debería tener una amplitud de voltaje máxima de 326.59 kV pico correspondiente al periodo de tiempo donde la onda senoidal de voltaje se encuentre en su amplitud máxima.

Mencionado lo anterior se puede observar en la figura (d) la cual nos muestra el escenario donde se modifica el sistema de tierras a un valor de resistividad de 100 ohm/m que al simularle el impacto de la descarga atmosférica con un valor de 40 kA sobre el hilo de guarda se generara una sobretensión en las fases con una magnitud de 782 kV pico en la fase a, 306 kV pico en la fase b y 333 kV pico en la fase c.

Avocándonos a la especificación CFE 52210-47 la cual en su sección 3 en el punto 3.26 donde se menciona la tensión crítica de flameo por impulso de rayo con la onda normalizada de (1.2/50 microsegundos). Así también en la Tabla 3 correspondiente a “Requerimientos de características eléctricas de los aisladores” de la especificación en mención se habla en la columna 4 de la tabla, la tensión de aguante al impulso por rayo en valor de “kilo volts pico” el cual se establece que, para altitudes de 0 a 1500 metros, a una tensión nominal de 400 kV rms L-L. el aislador tiene que soportar una sobretensión de 1480 kV.

Es posible apreciar en la figura (d) el valor kilo volt pico, obtenido al originarse la sobretensión en la *fase a, b o c*, originada gracias al impacto de la descarga atmosférica sobre el hilo de guarda. No rebasa los valores mencionados en la especificación CFE 52210-47. Tabla 3. Columna 4. Fila 4. También nos es posible notar que el estrés por tensión que sufrirían los aisladores en las fases b y c, disminuirían en comparación con la situación actual figura (a), modificación de cadena de aisladores figura (b) y modificación de cupulas de guarda figura (c).

El hecho anterior genera una estrategia a tomar en cuenta para la operación de la RNT ante contingencias atmosféricas.

Conclusión

Con base a los 4 análisis anteriores se puede determinar lo siguiente

Situación Actual

La condición actual del muestreo de 5 estructuras tomado de la línea MID A3T10 CHM, carece de las condiciones adecuadas para la disipación de corriente inducida por la descarga atmosférica aplicada al hilo de guarda, torre, sistema de tierras. Lo que ocasiona una sobretensión y esta a su vez ocasiona un estrés superior al que soportan por especificación los aisladores, estrés por el cual ante la sobretensión originada el aislador sufriría una flashover ocasionando una falla de fase a tierra de alta impedancia.

Modificación De Cadena De Aisladores Y Cupulas De Guarda Obteniendo Blindaje (-)

Al observar las variables de tensión obtenidas se puede visualizar que la estrategia común para corregir estos valores de sobretensión ante la prevención o resarcimiento de tales efectos como el flameo anterior de un aislador tratando de mecánicamente modificar el ángulo de blindaje, en base a la configuración de la cadena de aisladores de las fases orilleras, o modificando las cupulas de los guardas, siendo la primera más común que la segunda. No trae consigo un resultado satisfactorio, puesto que se observan valores similares a la situación actual.

Mejora En El Sistema De Tierras

Esta última acción ha sido la más favorable para contrarrestar los fenómenos causados por descargas atmosféricas, sin duda alguna es la acción correcta para evitar el flameo de aisladores, provocadas por la sobretensión de la misma. Nos da una viabilidad de operación continua evitando así las fallas por transitorios de voltaje ante su aumento súbito y a su vez nos permite generarles menos estrés a las cadenas de aisladores, lo que prolongaría su vida desde el punto de vista eléctrico.

Recomendación

Si se planea mitigar los efectos de la descarga atmosférica en líneas de transmisión, es necesario en primera instancia mejorar el sistema de tierra, la modificación de blindaje se vuelve prescindible con tendencias a opcional ya que solo se beneficia en 3.85 m de los 108.9 m del radio crítico de atracción.

Ing. José María Castillo Hernández

Actualización y vigencia.

Código de red

- 3.5.4

Transitorios electromagnéticos Un aspecto importante, en los sistemas eléctricos, lo constituye el nivel de aislamiento en los equipos. Un valor apropiado asegura la integridad del equipo ante la presencia de sobretensiones de naturaleza transitoria, que pueden ser provocadas por la operación de interruptores o por *descargas atmosféricas*. Se pueden lograr grandes ahorros limitando el valor que pueden alcanzar las *sobretensiones*. El empleo de resistencias de pre-inserción en interruptores y la *aplicación de aparta-rayos de Óxido de Zinc*, así como el establecer secuencias apropiadas para maniobras, podrían justificar su costo para enlaces en alta tensión y para *longitudes mayores a 150 km*.

El *ahorro* se podría dar *por una reducción importante en el nivel de aislamiento*. La máxima sobre-tensión permisible del equipo eléctrico ante maniobras y energizaciones será definida por el Transportista y el Distribuidor.

Capítulo 1. Disposiciones Generales de observancia para el proceso de planeación (P).

1.4 Criterios técnicos generales para el proceso de planeación.

1.4.3 Criterios adicionales para la planeación.

Criterio P - 48. La planeación de las RNT y las RGD deberán de incluir diseños y elementos de protección acordes a las condiciones ambientales y atmosféricas a las que se verán expuestas durante su operación.

Implementación De Apartarrayos De Línea

Por instrucciones de la Gerencia Regional de Transmisión Oriente, se hace la petición de simular un apartarrayo de línea para corroborar la elección a no realizar la compra de los mismos en futuros próximos.

Descripción

Se realiza la simulación prueba para observar el comportamiento transitorio de la descarga atmosférica ante la implementación del apartarrayo en la línea A3360.

Características De La Simulación.

Se crearán 3 condiciones de simulación

- (1) Estado actual
- (2) Estado actual + implementación de apartarrayo
- (3) Estado actual + implementación de apartarrayo + mejora en sistema de tierras.

Graficas Obtenidas

A continuación, se presentan las gráficas obtenidas de las simulaciones realizadas.

Situación Actual

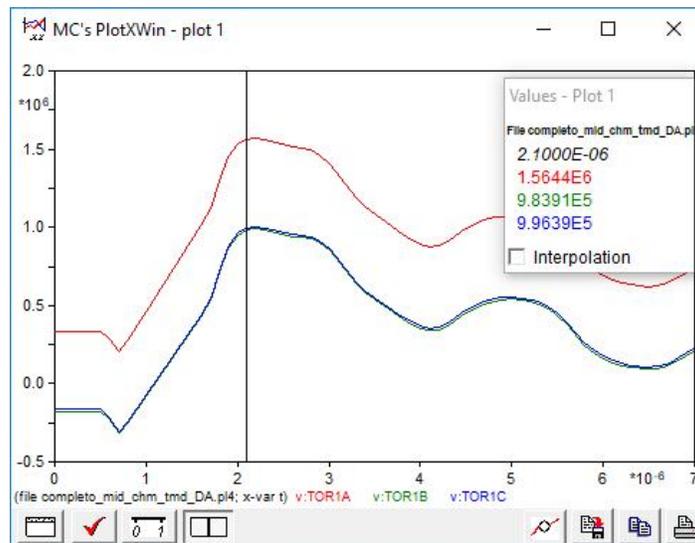


Ilustración 52 Situación Actual

Descripción.

Es posible analizar la situación actual conforme al modelado realizado donde se ha podido observar el nivel de sobretensión generado con las condiciones actuales de la LT donde se presenta una mayor sobretensión en la fase A la cual corresponde a 1.564 MV los cuales estresarían al aislador para causar el flameo de este. Conforme a la especificación CFE 52210-47.

Estado Actual + Implementación De Apartarrayo

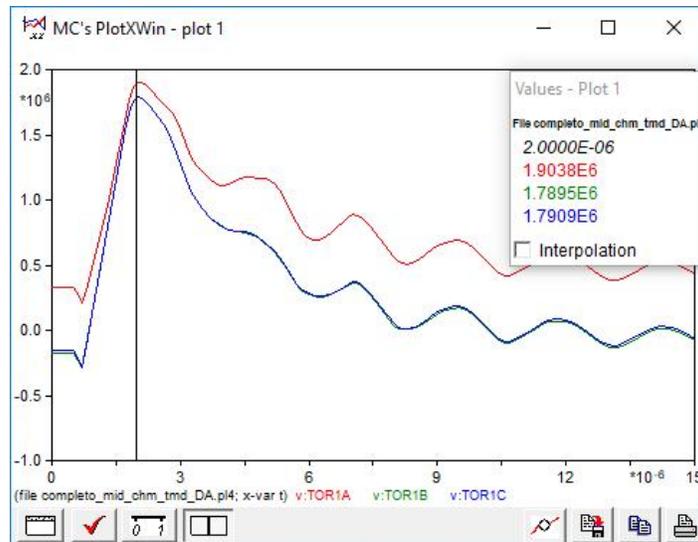


Ilustración 53 Implementación de Apartarrayo de Línea Situación Actual

Descripción.

Es posible analizar la situación actual más la inclusión del apartarrayo, conforme al modelado realizado donde se ha podido observar el nivel de sobretensión generado con las condiciones mencionadas de la LT donde se presenta una mayor sobretensión en la fase A la cual corresponde a 1.90 MV los cuales estresarían al aislador para causar el flameo de este. Conforme a la especificación CFE 52210-47. Cabe hacer hincapié que dicha sobretensión generada es incluso superior a la obtenida con la simulación del estado actual de la LT

Estado Actual + Implementación De Apartarrayo + Mejora En Sistema De Tierras.

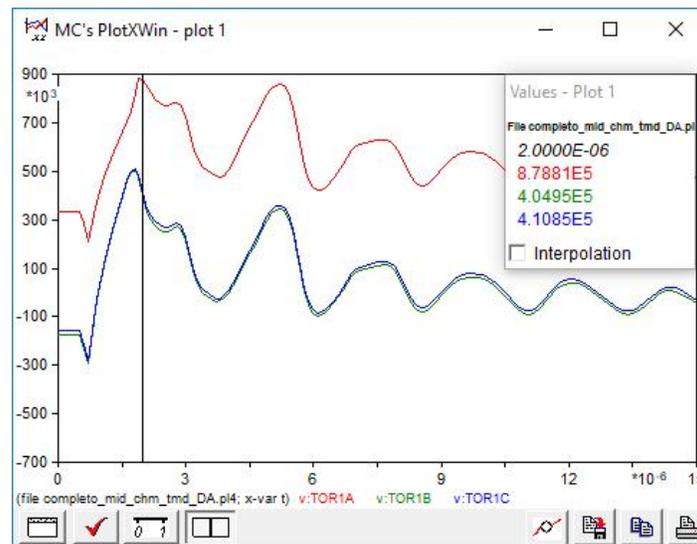


Ilustración 54 Implementación de Apartarrayo de Línea Situación Actual y mejora de sistema de tierras

Descripción.

Es posible analizar la situación actual más la inclusión del apartarrayo, así como el mejoramiento del sistema de tierras. Conforme al modelado realizado donde se ha podido observar el nivel de sobretensión generado con las condiciones mencionadas de la LT donde se presenta una mayor sobretensión en la fase A la cual corresponde a 878 KV los cuales estresarían al aislador sin embargo no cumplirían con la sobretensión para causar el flameo de este. Conforme a la especificación CFE 52210-47. Dicha sobretensión generada es incluso superior a la obtenida en la simulación anterior a esta.

Conclusión

Si se quiere hacer uso de los apartarrayos de línea no se puede dejar de lado la mejora del sistema de tierras. Puesto que al no realizarse generaría un back flashover en los aisladores, así como la operación incorrecta de los apartarrayos.

Trabajos futuros

JMCH

Para continuación de tesis se decide proponer los siguientes tópicos:

Sistema de Tierras

- Análisis electroquímico para diseño de sistemas de tierras en líneas de transmisión ubicadas en lugares con alta resistividad del terreno por la complejidad de suelos.
- Corrosión en sistemas de tierras
- Baja impedancia en sistemas de tierra, la mejora para evitar el Back Flash Over y la desventaja del aumento en la corrosión de materiales del sistema de tierras.
- Análisis del Sistema de Tierras para SE TMD

Transitorios Electromagnéticos

- Estudio del fenómeno transitorio de sobretensión previa apertura mono polar de la línea A3360 A3260 en extremo Temascal Dos por falla en fase.
- Explosión de apartarrayos ante fallas (onda característica de sobretensión en fases sanas)

Estabilidad

- Estudio de Estabilidad Transitoria ante Falla del LT A3T10 y su repercusión a la RNT en los corredores de flujos orientación SUR – Centro de México.
- Modelado Dinámico del CEV +- 300 Mvar S.E TMD
- Reactor de línea Vs reactor en la barra para control de voltaje ventajas y desventajas de su uso.
- Análisis modal en flujos de carga ante seccionamiento de anillo MID TMD, perfiles de voltaje y sobre carga de RNT a tensión de 115
- Violación de bandas de voltaje y margen de estabilidad ante disturbios en SE MID
- Implementación de esquemas de acción remedial DAT, DAG, DAL ante fallas en Líneas de ANILLO MID TMD
- Falla en Banco T1 CHM y sus consecuencias en RNT 115 kV.
- Selección discreta en seccionamiento de cargas de la RNT 115 kV para control de flujos y abatimiento de voltaje.
- Debate en restauración de líneas, post falla. Cierre por nodo con mayor aportación de flujos o con menor. CENACE VS CFE. Abatimiento de Voltaje o Menor aportación de Icc a la falla.

Nuevas Tecnologías (Experimentales)

- GICs en la RNT 400 kV y las tormentas solares
- Líneas de transmisión de la RNT como pronosticadores del clima espacial enfocado a predicción de daños por tormentas solares
- Filtro para evitar corrientes de retorno por tierra gracias a las GICs

Protecciones

- Ajuste y coordinación de protecciones para anillo MID – CHM – TMD – MID selección adecuada de polarización para operación de protecciones, compensación serie y el fenómeno de las variaciones en magnitud de componentes simétricas en función de la distancia de falla respecto a la topología y equipo del anillo.
- Aplicación de DRM dinámico para anillo MID – CHM – TMD – MID con base en orientación de flujos a diferentes épocas del año.
- Algoritmos para uso de la protección con principio en Onda Viajera

Electrónica de Potencia.

- Control del CEV en TMD y su comparación con el CEV en EDO.
- Switcheo Automático del R1 de MID ajuste fino.

Materiales y transitorios.

- Aislador polimérico vs aislador de vidrio refractario vs aislador de cerámica. Ante un ambiente altamente corrosivo y con descargas atmosféricas abundantes selección oportuna de rigidez dieléctrica y su estimado en función de el medio ambiente.

Estabilidad Transitoria y Transitorios Electromagnéticos

- Correcta realización de maniobras en restauración de contingencias, switcheo y desconexión de compensación reactiva y el problema de la resonancia en elementos de compensación, interruptores y barras.

Arco eléctrico

- Análisis, causa, raíz y estudios de arco eléctrico en evento SE MID

Armónicos

- Parques eólicos del Sureste y Calidad de la energía en nodos principales, deformación de la onda senoidal de voltaje e implementación de filtros en compensación de potencia reactiva vs reactores y capacitores sin filtros.

Los tópicos antes mencionados son totalmente reproducibles debido a la existencia de la información base para su elaboración.

José María Castillo Hernández

Material fotográfico



Ilustración 55 Visita a LT A3260 1

Descripción

Como parte del proyecto se realizó visita a campo durante una sustitución de conductor de fase para revisar el entorno a simular, esto ocurre en el municipio de Villa Juanita Veracruz. Donde además de ello se tuvo la oportunidad de visualizar el sistema de tierras que se tiene en dicha línea de transmisión verificando un lugar estratégico por las condiciones del terreno, así como el área donde se encuentra debido a la aparición de testigos en los conductores donde se indica la presencia de descargas atmosféricas

LT CHM A3260 TMD



Ilustración 56 Visita a LT A3260 2

Descripción

Como parte del proyecto se realizó visita a campo durante una sustitución de conductor de fase para revisar el entorno a simular, esto ocurre en el municipio de Villa Juanita Veracruz. Donde además de ello se tuvo la oportunidad de visualizar el sistema de tierras que se tiene en dicha línea de transmisión verificando un lugar estratégico por las condiciones del terreno, así como el área donde se encuentra debido a la aparición de testigos en los conductores donde se indica la presencia de descargas atmosféricas

LT CHM A3260 TMD



Ilustración 57 Testigo Descarga atmosférica sobre conductor

Descripción

Como parte del proyecto se realizó visita a campo durante una sustitución de conductor de fase para revisar el entorno a simular, esto ocurre en el municipio de Villa Juanita Veracruz. Se nota la presencia de un testigo de descarga atmosférica y su repercusión en el conductor lo que minimiza la vida útil del conducto, genera particularidades en el claro correspondiente. Así como un área de oportunidad para salvaguardar la integridad física de la línea.

LT CHM A3260 TMD



Ilustración 58 Estructura en LT A3360

Descripción

Como parte del proyecto se realizó visita a campo durante una sustitución de conductor de fase para revisar el entorno a simular, esto ocurre en el municipio de Villa Juanita Veracruz. Donde además de ello se tuvo la oportunidad de visualizar el sistema de tierras que se tiene en dicha línea de transmisión verificando un lugar estratégico por las condiciones del terreno, así como el área donde se encuentra debido a la aparición de testigos en los conductores donde se indica la presencia de descargas atmosféricas

Debido a la paralelidad entre ambos corredores a un par de kilómetros en otra visita se pudo ir a verificar la línea LT MID A3360 TMD.



Ilustración 59 Revisión Física Ángulos de Blindaje

Descripción

Se invita a realizar la revisión física del ángulo de blindaje a modelar, así como se ofrece el curso de “trabajo en alturas” y la capacitación para ascenso y descenso en estructuras superiores a 50 metros de altura, la cual es tomada por el autor.

En mi opinión una de las mejores experiencias que he tenido en la vida, como Ing. Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia, Orientada a alta tensión uno de mis metas era subirme a una estructura de transmisión y que mejor que en un corredor tan importante como este que se encarga de llevar energía al centro del país.

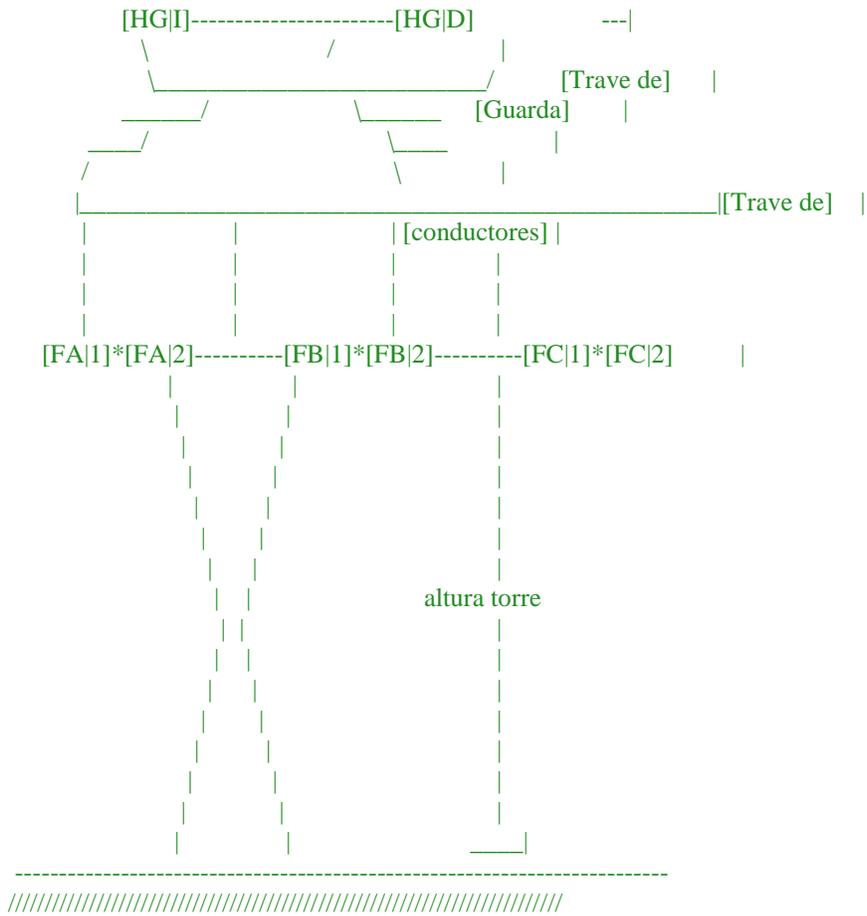
Código Matlab para Simulación de Interfaz Gráfica.

```
clear all,clc;

%{
    Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.
    División de Estudios de Posgrado.
    Maestría en Ingeniería Eléctrica.
    Director de Tesis: Dr. Gastón Hernández Martínez
    Alumno: Ing. José María Castillo Hernández.

Construcción de electrogeometría para cálculos de ángulos de blindaje.
% }
% {
-----Parametros de Línea de Transmisión-----
Datos de conductores.
--LT A3360 TMD-MID
--2 Cond por fase | Bluejay 45/7 ACSR
--2 Hilos de guarda | Alumoweld 7#8 ACSR o OPGW #36 fibras
--225 km
--400 kV
Datos de conductores.
--LT A3260 TMD-CHM
--2 Cond por fase | Bluejay 45/7 ACSR
--2 Hilos de guarda | Alumoweld 7#8 ACSR o OPGW #36 fibras
--194.30 km
--400 kV
Datos de conductores.
--LT A3T10 CHM-MID
--2 Cond por fase | Bluejay 45/7 ACSR
--2 Hilos de guarda | Alumoweld 7#8 ACSR o OPGW #36 fibras
--0.94 km
--400 kV
Ubicación en un plano X-Y
Conductor    X    Y
[FA|1]       0.00  26.20
[FA|2]       0.45  26.20
[FB|1]       12.50  26.20
[FB|2]       12.95  26.20
[FC|1]       25.00  26.20
[FC|2]       25.45  26.20
[HG|I]       3.85  34.88
[HG|D]       21.60  34.88
```

configuracion de conductorees de fase y conductores de hilo de guarda.



por lo tanto:

ubicacion promedio.

	X	Y
[FA 1]-[FA 2]	0.225	26.20
[FB 1]-[FB 2]	12.7225	26.20
[FC 1]-[FC 2]	25.225	26.20
[HG I]	3.85	34.88
[HG D]	21.60	34.88

se obtendra. lo siguiente:

Separaciones de conductores:

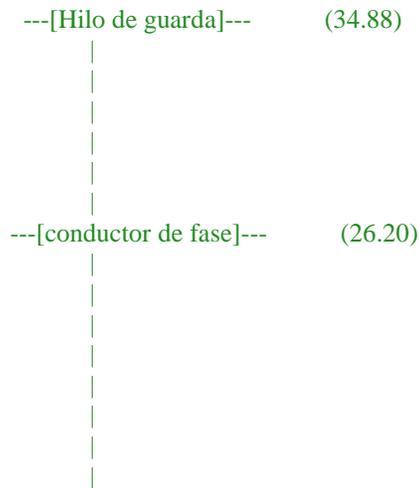
Distancia entre hilos de guarda

[HG|I]------(17.75)-----[HG|D]

Distancia entre conductores de fase:

[FA|1]-[FA|2]------(25 metros)-----[FC|1]-[FC|2]

Alturas:



% }

%Se ingresan los siguientes parametros.

g=34.88; % Dado Hg y Hc.
c=26.20; % Donde:
 % Hg=altura del hilo de guarda.
 % Hc=altura del hilo conductor de fase.

%Se ingresa la medicion de la distancia entre los conductores de fase e
%hilos de guarda.

D=17.75; % corresponde a la distancia entre hilos de guarda
DC=25.45; % corresponde a la distancia entre los extremos de conductores de fase

%Mediante la siguiente formula, se determina el Radio Critico de Atraccion.

$RCA = ((Hg + Hc) / 2) / 2$; %Corresponde al Radio Critico de Atraccion 'Metaforico'

%Por lo tanto el diametro

$D = RCA * 2$;

$RCAVerdadero = 14.0 * (RCA * 2)^{0.6}$;

$DVdd = RCAVerdadero * 2$;

%-----

%Ubicacion de los hilos de guarda e hilos conductores en el plano X con un

%eje imaginario en (-x , +x)

$HGLIT = -(DHG / 2)$; %hilo de guarda ubicacion en el lado(-x).

$HGLDT = DHG / 2$; %hilo de guarda ubicacion en el lado(+x).

$HCLIT = -(DHC / 2)$; %hilo de conductor ubicacion en el lado(-x).

$HCLDT = DC / 2$; %hilo de conductor ubicacion en el lado(+x).

%-----

%Electrogeometria (Construcción)

%Hilos de guarda (-x,-y) & (+x,+y) 'Para formar la linea que va de la base

%a la altura del HG' se desarrollan estos puntos para formar la linea de la

% la base a la altura de los hilos de guarda

%Hilos de guarda

$BHgI = [HGLT, HGLIT]$;

$HHgI = [0, Hg]$;

$BgD = [HGLDT, HGLDT]$;

$HHgD = [0, Hg]$;

%Hilos conductores de fase (-x,-y) & (+x,+y) 'Para formar la linea que va

%de la base a la altura del Hilo conductor de fase se desarrollan estos

%puntos para formar la linea de la base a la altura de los hilos de guarda.

%hilo conductor

$BHcI = [HCLIT, HCLIT]$;

$HHcI = [0, Hc]$;

$BcD = [HCLDT, HCLDT]$;

$HHcD = [0, Hc]$;

%-----

%Construccion de la interfaz grafica de los Radios Criticos de Atraccion

%Radio critico de atraccion conductores de guarda plano(-x).

$px = HGLIT - RCA$;

$py = Hg - RCA$;

figure(1)

$GG = \text{rectangle}('Position', [px py D D], 'Curvature', [1, 1], 'FaceColor', [0 0 1, 0.06]); ([1, 1, 1])$

hold on

%Radio critico de atraccion conductores de guarda plano (+x).

$px1 = HGLDT - RCA$;

$py1 = Hg - RCA$;

```
HH=rectangle('Position',[px1 py1 D D], , 'LineWidth',0.5,'LineStyle',':', 'FaceColor',[0 0 1,0.06]);  
daspect([1,1,1])
```

%Radio critico de atraccion conductores de fase plano(-x).

```
px2=HCLIT-RCA;  
p2=Hc-RCA;  
II=rectangle('Position',[px2 py2 D D], 'Curvature',[1,1], , 'LineStyle',':', 'FaceColor',[1 0 0,0.06]);  
daspect([1,1,1])
```

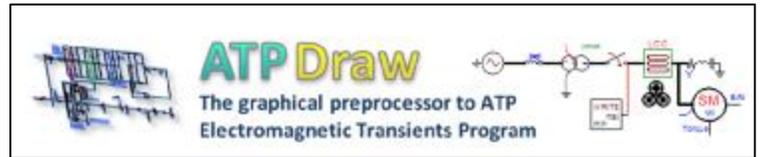
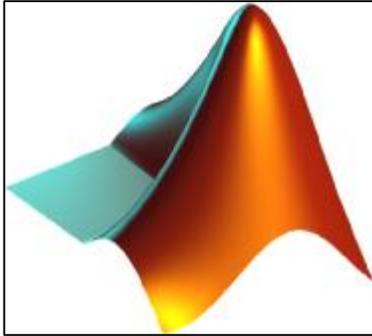
%Radio critico de atraccion conductores de fase plano(+x).

```
px3=HCLDT-RCA;  
py3=Hc-RCA;  
HH=rectangle('Position',[px3 py3 D D], 'Curvature',[1,1], 'EdgeColor','r', 'LineWidth',0.5, 'LineStyle',':', 'FaceColor',[1 0  
0,0.06]);  
daspect([1,1,1]);
```

Nota: la programación se ha cortado

Si se requiere el código favor de solicitarlo al autor: jmch92@gmail.com

Software utilizado en simulación



Bibliografía

ANDERSON.-JG "TRANSMISIÓN LINE REFERENCE BOOK. 345 KV AND ABOVE" CHAPTER 12. LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES. SECOND EDITION, REVISED. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE.

R.B. ERIKSSON A. J., KRONINGER H., MEAL D. V. AND SMITH M. A., "LIGHTNING AND THUNDERSTORM PARAMETERS" IEE LIGHTNING AND POWER SYSTEMS CONF. PUBL., NO 236, 1984

BROWN G. W. AND WHITEHEAD E. R "FIELD AND ANALYTICAL STUDIES OF TRANSMISSION LINE SHIELDING: PART II" IEEE TRANS. ON PAS, VOL PAS-88, PP.617-626, 1969.

DELLERA L., GARBAGNATI E., "LIGHTING STROKE SIMULATION BY MEANS OF THE LEADER PROFESSION MODEL. I. DESCRIPTION OF THE MODEL AND EVALUATION OF EXPOSURE OFFREESTANDING STRUCTURES, "IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY VOL. 5 NO. 4, PP. 2009-2022, 1990.

ERIKSSON J. A., "AN IMPROVED ELECTROGEOMETRICAL MODEL FOR TRANSMISSION LINE SHIELDING ANALYSIS, "IEEE TRANS. PWR-D, VOL 2, NO. 3, PP. 871-876, JULIO DE 1987

IIE, SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BAJO EL EFECTO DE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS DE LAS LÍNEAS DE 230 Y 400KV DONDE SE HAN INSTALADO SSDA'S (APARTARRAYOS DE LÍNEA). INFORME INTERNO PROYECYO 13001, NOVIEMBRE DE 2005

NGK INSULATORS LTD., CURRENT INTERRUPTING ARCING HORN (CIAH), NGK RELÉASE NO. 105/1989. NRF-014-CFE-2004, "DERECHO DE VIA."

SARGENT M. A AND DARVENIZA M., "TOWER SURGE IMPEDANCE," IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-88, NO. 5, PP 680-687.1969.

MANUAL DE RED DE PUESTAS A TIERRAS PARA LINEAS DE TRANSMISION AEREAS DE 69 KV A 400 KV ESPECIFICACION CFE 00J00-52.

ANDERSON.-JG "TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK. 345 KV AND ABOVE" CHAPTER 12. LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES. SECOND EDITION, REVISED. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE.

R.B. ERIKSSON A. J., KRONINGER H., MEAL D. V. AND SMITH M. A., "LIGHTNING AND THUNDERSTORM PARAMETERS" IEE LIGHTNING AND POWER SYSTEMS CONF. PUBL., NO 236, 1984

BROWN G. W. AND WHITEHEAD E. R "FIELD AND ANALYTICAL STUDIES OF TRANSMISSION LINE SHIELDING: PART II" IEEE TRANS. ON PAS, VOL PAS88, PP.617-626, 1969.

DELLERA L., GARBAGNATI E., "LIGHTNING STROKE SIMULATION BY MEANS OF THE LEADER PROGRESSION MODEL. I. DESCRIPTION OF THE MODEL AND EVALUATION OF EXPOSURE OFFREESTANDING STRUCTURES, "IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY VOL. 5 NO. 4, PP. 2009-2002, 1990.

ERIKSSON J. A., "AN IMPROVED ELECTROGEOMETRICAL MODEL FOR TRANSMISSION LINE SHIELDING ANALYSIS, "IEEE TRANS. PWR-D, VOL 2, NO. 3, PP. 871-876, JULIO DE 1987

IIE, SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BAJO EL EFECTO DE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS DE LAS LÍNEAS DE 230 Y 400KV DONDE SE HAN INSTALADO SSDA'S (APARTARRAYOS DE LÍNEA). INFORME INTERNO PROYECYO 13001, NOVIEMBRE DE 2005

NGK INSULATORS LTD., CURRENT INTERRUPTING ARCING HORN (CIAH), NGK RELÉASE NO. 105/1989.

NRF-014-CFE-2004, "DERECHO DE VIA."

SARGENT M. A AND DARVENIZA M., "TOWER SURGE IMPEDANCE," IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-88, NO. 5, PP 680-687.1969.

IEEE PES GENERAL MEETING IEEE PES GENERAL MEETING JUNE 23 JUNE 23-27, 2007 27, 2007

MANUAL PARA DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA SUBDIRECCIÓN DE PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUBDIRECCIÓN DE PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN

PRIMERA EDICIÓN, 2012 D.R. © COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, PASEO DE LA REFORMA 164, COL. JUÁREZ, DEL. CUAUHTÉMOC C.P. 06600, MÉXICO, D.F.

ELABORÓ: M.C. RAYMUNDO FLORES M. / ING. RUBÉN RAMÍREZ G. / ING. FILIBERTO ZAMORA S. / ING. GUILLERMO AGUIRRE L. / M.C. J. GABRIEL PADILLA C. / M.C. JORGE MARTÍNEZ G. GERENCIA DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN. DIVISIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS.

TRABAJOS DE MANTENIMIENTO A LÍNEAS DE TRANSMISIÓN RAÚL MIGUEL MEZA HERNÁNDEZ

LIGHTNING PROTECTION AND TRANSIENT OVERVOLTAGE PRESENTED BY: ROGERIO VERDOLIN, M.SC., PH.D., P.ENG., SMIEEE

DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ZONA DE TRANSMISIÓN
COATZACOALCOS

MANUAL DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN ALTA TENSIÓN |IRAPUATO
LAPEM

MANUAL DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO | MÉXICO | IIE

GUIDE TO PROCEDURES FOR ESTIMATING THE LIGHTNING PERFORMANCE OF
TRANSMISSION LINES”, WORKING GROUP 01 (LIGHTNING) OF STUDY
COMMITTEE 33 (OVERVOLTAGES AND INSULATION CO-ORDINATION).

ZTC. (2015).

DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. COATZACOALCOS VERACRUZ:
ZONA DE TRANSMISIÓN COATZACOALCOS.

PARÁMETROS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GRTOR. (2015). DEPARTAMENTO DE
PROTECCIÓN Y MEDICIÓN. VERACRUZ: GERENCIA REGIONAL DE TRANSMISIÓN
ORIENTE.

MANUAL PARA DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
AÉREAS. DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA.
SUBDIRECCIÓN DE PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN. COORDINACIÓN DE
PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN.

ARCHIVO DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, ZONA DE
TRANSMISIÓN COATZACOALCOS

ESPECIFICACIÓN CFE 52210-47.

ESPECIFICACIÓN CFE 0J00-52

MANUAL DE DISEÑO ELECTROMECAÁNICO PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
AÉREAS,

MANUAL DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.



Academia Mexicana Multidisciplinaria A.C.



Otorga el presente:

Reconocimiento

Al:

Ing. José María Castillo Hernández

Por su brillante ponencia:

“Desarrollo en MATLAB del Modelo Electrogeométrico para Ángulos de Blindaje en Líneas de Transmisión en 400 Kv con Alta Incidencia de Descargas Atmosféricas”

Dra. Rebecca Silca Rodríguez
Presidenta

**10° Congreso Internacional de la Academia
Mexicana Multidisciplinaria A.C.**
“Lo Multidisciplinario impulsando la Creatividad para
Innovar”

Del 7 al 9 de Marzo de 2018 en Tampico, Tamaulipas, México



ACADEMIA MEXICANA MULTIDISCIPLINARIA, A.C.

No. Oficio: 173-0618
Aguila: Conclencia

A QUIÉN CORRESPONDA

La suscrita, Presidenta de la Academia Mexicana Multidisciplinaria, HACE CONSTAR que se publicó la contribución con el título "*Desarrollo en Matlab del modelo electrogeométrico para ángulos de blindaje en líneas de transmisión en 400kv con alta incidencia de descargas atmosféricas.*" cuyos autores son: *Gastón Hernández Martínez, José María Castillo Hernández, Alfonso de Jesús María Ibarra*, en el Capítulo 28 en las Páginas: 247-261, en el Libro electrónico intitulado "*Lo Multidisciplinario Impulsando la Creatividad para Innovar*", Publicado en Mayo de 2018, ©2018 Academia Mexicana Multidisciplinaria, A.C., con ISBN: 978-607-95308-7-7. Así mismo se indica a continuación los editores, consejo editorial y comité de arbitraje:

Editor Academia Mexicana Multidisciplinaria, A.C.

Editor Literario: Dra. Rebeca Silva Rodrigo

Consejo Editorial: Dra. Rebeca Silva Rodrigo, Dra. Celia Calderón Salas, Dra. Fabiola Erika Lugo del Angel, Dra. Nancy Patricia Díaz Zavala, C. a Dra. Azalea María Peña Blanco.

Comité Arbitraje: Dr. Gabriel Alonso Núñez, Dra. Griselle J. Velasco Rodríguez, Dr. Sergio Robles Andrade, Dr. Alfredo Castillo Marcos, Dra. Claudia Esmeralda Ramos Galván, M.B. Guillermo Silva Rodrigo, Dra. Margarita García Hernández, Dra. Nancy Patricia Díaz Zavala, Dra. Laura Cruz Reyes, Dra. Margarita Gómez Cisneros, Dr. Jorge Aurelio Lois Correa, Dr. Héctor Joaquín Fraire Huacuja, M.A. Jesús Gómez Rojas, M.C. Irma Beatriz Florencia Castillo, Dr. Tomas Lozano Ramírez, Dra. Fabiola Erika Lugo del Angel, Ing. Guillermina Rivera Castillo, Dra. Rebeca Silva Rodrigo, Dra. Catalina Pérez Berumen, Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Dr. Ricardo García Alamillo, M.C. Hilario Martínez Flores.

Se extiende la presente a petición del interesado, para los fines legales que le convengan, en Tampico, Tamaulipas a los veintisiete días del mes de mayo del año dos mil diecinueve.

Acentuamente,

Dra. Rebeca Silva Rodrigo
Presidenta de la AMM



"Investigación Científica y Tecnológica al Servicio de la Patria"