

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE
LÍNEAS ELÉCTRICAS**

PRESENTADO POR:

**BRIAN WILLIAM GÓMEZ PALACIOS
CÉSAR AUGUSTO MEJÍA SANTOS
JOSÉ DANIEL VALLADARES MORENO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE
LÍNEAS ELÉCTRICAS**

Presentado por :

**BRIAN WILLIAM GÓMEZ PALACIOS
CÉSAR AUGUSTO MEJÍA SANTOS
JOSÉ DANIEL VALLADARES MORENO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. NUMA POMPILIO JIMÉNEZ CORTEZ

San Salvador, Enero de 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. NUMA POMPILIO JIMÉNEZ CORTEZ

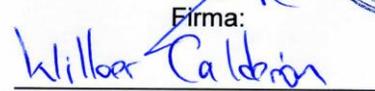
ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Martes 5 de diciembre de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

Firma:  

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

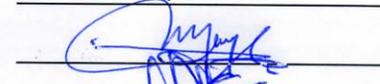
Firma: 

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Ing. Numa Pompilio Jiménez Cortez

2- Ing. Armando Martínez Calderon

3- MSc. Jorge Alberto Zetino Chicas

Firma: 



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

A cargo de los Bachilleres:

- GÓMEZ PALACIOS, BRIAN WILLIAM
- MEJÍA SANTOS CÉSAR AUGUSTO
- VALLADARES MORENO JOSÉ DANIEL

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.2

(ocho punto dos)

DEDICATORIA.

A DIOS, por darme la sabiduría necesaria para salir adelante y cumplir esta meta.

A MI MADRE, Nasaria por darme su apoyo incondicional, paciencia y alentarme siempre a cumplir mis metas.

A MI PADRE, Antonio por estar siempre a mi lado apoyándome en cada uno de los pasos que doy.

A MI HERMANO, Humberto por todo el apoyo brindado en estos años.

A MIS COMPAÑEROS, Que fueron parte de este largo recorrido sin ustedes la Ingeniería no hubiese sido igual, gracias 12 Ohmios.

A MIS AMIGOS, Por estar ahí siempre que los necesite y por la ayuda que me brindaron fuera de la Universidad.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Daniel y William por todo el esfuerzo realizado para poder culminar este proyecto.

A MAESTROS, ASESOR Y DEMAS PERSONAS, Por ser parte de este gran logro.

CÉSAR AUGUSTO MEJÍA SANTOS.

A DIOS TODO PODEROSO, por acompañarme en cada paso de mi vida derramando mucha sabiduría para salir adelante y nunca darme por vencido. Este triunfo se lo debo al gran YO SOY.

A RICARDO AUGUSTO VALLADARES (Q.D.D.G), por ser el mejor abuelo, padre y amigo que en mi vida pude tener. Por apoyarme, confiar en mí y educarme para ser un hombre de bien, por enseñarme a luchar por mis objetivos, ser valiente y nunca darme por vencido.

A MARGARITA GARCIA DE VALLADARES, por ser un pilar muy importante en mi vida, darme su apoyo incondicional y estar siempre para mí en todo momento.

A MIS PADRES, por siempre apoyarme en cada paso de mi carrera incondicionalmente, por el esfuerzo y paciencia este triunfo también es de ustedes.

A MIS TIOS Y PRIMOS, por apoyarme en cada momento de mi vida y estar cuando más los necesite, por ser mi familia y confiar en mí.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS, por acompañarme en este caminar y ser parte importante para alcanzar este triunfo.

“TODO LO PUEDO EN CRISTO QUE ME FORTALECE”.
FILIPENSES 4:13

JOSÉ DANIEL VALLADARES MORENO.

AGRADECIMIENTOS.

Unidad de Desarrollo Físico (UDF), por toda la información y ayuda proporcionada para poder realizar este proyecto.

Dr. Carlos Martínez, Por la información otorgada.

Reina Isabel Vides, por toda la ayuda brindada durante la carrera.

Agradecemos a Salvador Posada y Juan Olano, que siempre estuvieron ahí para ayudarnos en los distintos laboratorios realizados.

A Alonzo, Kevin, Ernesto, Ever, Nelson, Samuel, Guillermo, Pedro, Gerson, Ignacio, Jimmy y todos los demás amigos y compañeros que estuvieron con nosotros durante este tiempo fue gratificante haber cursado esta Ingeniería con ustedes 12 Ohmios.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	13
INTRODUCCION	15
OBJETIVOS:.....	16
GENERAL:	16
ESPECIFICOS:	16
CAPITULO I. GENERALIDADES	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 ALCANCES	19
1.5 LIMITACIONES	19
1.6 MÉTODO INVESTIGATIVO	19
1.7 DEFINICIONES.....	20
CAPITULO II. MARCO TEORICO	23
2.1 ESTRUCTURAS MÁS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS PARA VOLTAJE DE 23 KV.....	23
2.2 REGLAS PARA DISEÑO MECÁNICO.....	25
2.2.1 PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO SEGÚN ACUERDO 29-E-2000.....	25
2.3 REGLAS PARA DISEÑO ELÉCTRICO.....	28
2.3.1 DISTANCIAS ELECTRICAS	28
2.3.2 DISTANCIAS DE SEGURIDAD VERTICAL DE CONDUCTORES SOBRE EL NIVEL DEL SUELO, CARRETERA, VÍAS FÉRREAS Y SUPERFICIES CON AGUA	30
2.3.3 CONDUCTORES	35
2.4 PROTECCION ANTIFAUNA	38
2.5 EQUIPO DE AISLAMIENTO	40
2.6 ALTERNATIVAS PARA MATERIALES DE CRUCEROS	41
2.6.1 CRUCEROS DE MADERA	41
2.6.2 CRUCEROS DE FIBRA DE VIDRIO	43
CAPÍTULO III. CONFIABILIDAD DE LÍNEAS	49
3.1 INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO.....	49
3.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	51
3.3 ASPECTOS PRINCIPALES DE LA NORMA IEEE Std. 1410.....	52
3.3.1 VALORES DE CORRIENTE PICO	52
3.3.2 INCIDENCIAS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN EL SALVADOR	53
3.3.3 DESCARGAS DIRECTAS.....	55
3.3.4 DESCARGAS INDIRECTAS	56

3.3.5 PROTECCIONES POR ÁRBOLES Y ESTRUCTURAS CERCANAS	57
3.3.6 SOBRETENSIONES.....	60
3.3.7 VOLTAJE DE FLAMEO DE IMPULSO CRITICO (CFO), DE UN AISLAMIENTO COMBINADO.....	61
3.3.8 HOJA DE CALCULO IEEE STD-1410.....	64
3.4 VEGETACION EN LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	66
3.4.1 INVENTARIO DE ARBOLES.....	66
CAPITULO IV. PROPUESTAS DE MEJORA	69
4.1 LINEA INTERNA UES.....	69
4.1.1 DIAGRAMA UNIFILAR UES.....	69
4.1.2 DIAGRAMA UES VISTO DESDE GOOGLE EARTH.....	69
4.1.3 PROBLEMAS DE CONTAMINACION	71
4.1.4 DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE CONDUCTORES Y EVITAR LOS PROBLEMAS POR VIENTO.....	72
4.1.5 COORDINACION DE PROTECCIONES.....	73
4.2 ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION PARA LINEAS AEREAS	83
4.2.1 CRUCEROS DE MADERA	83
4.2.2 LINE POST.....	87
4.2.3 CABLE SEMIAISLADO	92
4.3 DETALLES ECONOMICOS	103
4.3.1 PROPUESTA DE CRUCERO DE MADERA CAMBIANDO NIVEL DE AISLAMIENTO Y REUTILIZANDO EQUIPO EXISTENTE	103
4.3.2 PROPUESTA DE CRUCERO DE MADERA MANTENIENDO NIVEL DE AISLAMIENTO Y REUTILIZANDO EQUIPO EXISTENTE.....	104
4.3.3 PROPUESTA DE CABLE SEMIAISLADO UTILIZANDO ESTRUCTURAS EXISTENTES	105
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS	109
ANEXO A. TIPOS DE AISLADORES.....	109
ANEXO B. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.....	112
ANEXO C. RESUMEN DE TRANSFORMADORES POR ACOMETIDA CON SU RESPECTIVO FUSIBLE Y CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFASICO	118
ANEXO D. VEGETACION CON PODA CRÍTICA Y PUNTOS DE RIESGO, FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	121
ANEXO E. CURVAS CARACTERISTICAS PARA FUSIBLES TIPO T.....	128
ANEXO F. ESTANDARES PARA LA CONSTRUCCION DE LINEAS AREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CON CRUCERO DE MADERA.....	130

LISTADO DE FIGURAS.

FIGURA 1. 23TS3	23
FIGURA 2. 23CH3	23
FIGURA 3. 23RH3	24
FIGURA 4. 23CD3.....	24
FIGURA 5. ZONAS DE VELOCIDAD DE VIENTO EN EL SALVADOR.....	25
FIGURA 6. FUERZAS QUE PRODUCEN CARGAS SOBRE ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	37
FIGURA 7. AISLADOR TIPO ESPIGA.....	40
FIGURA 8. AISLADOR TIPO LINE POST.....	41
FIGURA 9. VISTAS CRUCERO DE MADERA.....	42
FIGURA 10. DISTANCIA DE AGUJEROS EN CRUCERO DE 8'.....	42
FIGURA 11. CRUCERO DE FIBRA DE VIDRIO INSTALADO EN POSTE DE MADERA.....	46
FIGURA 12. TIPOS DE DESCARGAS EN TORMENTAS.....	51
FIGURA 13. MAPA ISOCERÁUNICO DE EL SALVADOR.....	54
FIGURA 14. LINEA PROTEGIDA POR ARBOLES.....	57
FIGURA 15. LINEA DESPROTEGIDA.....	58
FIGURA 16. FASES DE UN RAYO.....	60
FIGURA 17. HOJA DE CÁLCULO IEEE 1410.....	65
FIGURA 18. LIBRAMIENTO PARA PARTES VIVAS.....	66
FIGURA 19. CRITERIO DE MANTENIMIENTO DE DISTANCIAS MÍNIMAS [3].....	67
FIGURA 20. PUNTOS DE RIESGO Y PODA.....	68
FIGURA 21. DIAGRAMA UNIFILAR UES.....	69
FIGURA 22. ACOMETIDA AGRONOMÍA.....	70
FIGURA 23. ACOMETIDA HUMANIDADES.....	70
FIGURA 24. ACOMETIDA POLIDEPORTIVO.....	71
FIGURA 25. ESQUEMA FUSIBLE-FUSIBLE.....	73
FIGURA 26. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES POLIDEPORTIVO.....	75
FIGURA 27. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES HUMANIDADES.....	77
FIGURA 28. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AGRONOMÍA.....	79
FIGURA 29. 23TSM3	83
FIGURA 30. 23RHM3.....	84
FIGURA 31. 23CHM3.....	85
FIGURA 32. ESTRUCTURA VERTICAL LINE POST.....	88
FIGURA 33. ESTRUCTURA HORIZONTAL LINE POST.....	89
FIGURA 34. ESTRUCTURA TRIANGULAR LINE POST.....	90
FIGURA 35. TENDIDOS DE GRANDES VANOS.....	94
FIGURA 36. ZONAS BOSCOSAS O DENSAMENTE ARBOLADAS.....	94
FIGURA 37. ZONA DE GRAN INTERFERENCIA DE LA FAUNA.....	95
FIGURA 38. COMPACTA PASÓ SIMPLE ÁNGULO 0° A 5°.....	95
FIGURA 39. COMPACTA CON ANGULO 5°-45°.....	96
FIGURA 40. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO COMPACTA.....	97
FIGURA 41. INSTALACIÓN DE ESPACIADORES TRIANGULARES 10.5 - 24.9 KV.....	97
FIGURA 42. ESPACIADOR TRIFÁSICO.....	100
FIGURA 43. ESPACIADOR MONOFÁSICO.....	101
FIGURA 44. 23TSM3 MANTENIENDO NIVEL DE AISLAMIENTO.....	104
FIGURA A 1. ANSI 52-4.....	109
FIGURA A 2. ANSI 52-4 POLIMERICO.....	110
FIGURA A 3. AISLADOR TIPO PIN.....	111
FIGURA B 1. DIAGRAMA UNIFILAR POLIDEPORTIVO.....	112
FIGURA B 2. CARGAS EN ACOMETIDA POLIDEPORTIVO.....	113
FIGURA B 3. DIAGRAMA UNIFILAR HUMANIDADES.....	114

FIGURA B 4. CARGAS EN ACOMETIDA HUMANIDADES.....	115
FIGURA B 5. DIAGRAMA UNIFILAR AGRONOMÍA.....	116
FIGURA B 6. CARGAS EN ACOMETIDA AGRONOMÍA.....	117
FIGURA C 1. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN ACOMETIDA POLIDEPORTIVO.....	118
FIGURA C 2. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN ACOMETIDA HUMANIDADES.....	119
FIGURA C 3. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ACOMETIDA AGRONOMÍA.....	120
FIGURA D 1. ÁRBOL A1.....	121
FIGURA D 2. ÁRBOL A2.....	122
FIGURA D 3. ÁRBOL A3.....	123
FIGURA D 4. ÁRBOL A4.....	124
FIGURA D 5. ÁRBOL A5.....	125
FIGURA D 6. ÁRBOL A6.....	125
FIGURA D 7. PODA DE REDUCCIÓN DE COPA.....	126
FIGURA D 8. PODA DE ELEVACIÓN DE COPA.....	126
FIGURA D 9. PODA EN FORMA DE V.....	127
FIGURA E 1. FUSIBLES TIPO T.....	128

LISTADO DE TABLAS.

TABLA 1. FACTORES DE SOBRECARGA PARA ESTRUCTURAS, INCLUYENDO POSTES, CRUCEROS, CIMIENTOS, RETENIDAS Y ANCLAS.....	27
TABLA 2. FACTORES DE SEGURIDAD PARA SER USADOS CON LA TABLA 1.....	28
TABLA 3. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD VERTICALES SOBRE VÍAS FÉRREAS, EL SUELO O AGUA.....	30
TABLA 4. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD DE CONDUCTORES A EDIFICIOS Y OTRAS INSTALACIONES.....	31
TABLA 5. DISTANCIAS DE SEGURIDAD VERTICAL ENTRE CONDUCTORES EN SUS SOPORTES.....	32
TABLA 6. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD VERTICAL SOBRE EL SUELO PARA EQUIPO DE SERVICIO ELÉCTRICO INSTALADO EN ESTRUCTURAS.....	33
TABLA 7. CAPACIDAD MÁXIMA DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE EN CONDUCTORES DESNUDOS DE COBRE, ACSR Y ALUMINIO.....	36
TABLA 8. PRESIONES DE VIENTO MÍNIMOS PARA LAS DIFERENTES ZONAS DE CARGA MECÁNICA.....	37
TABLA 9. DISTANCIAS DE CRUCEROS Y CORTES.....	43
TABLA 10. NIVELES DE AISLAMIENTO.....	43
TABLA 11. COMPOSICIÓN DEL CRUCERO DE FIBRA DE VIDRIO.....	44
TABLA 12. DATOS CERAÚNICOS POR DEPARTAMENTO.....	54
TABLA 13. PROMEDIO CERAUNICO NACIONAL.....	54
TABLA 14. FALLA A TIERRA.....	60
TABLA 15. AISLADORES TÍPICOS A UTILIZARSE POR VOLTAJE TÍPICO DE APLICACIÓN CLASE ANSI CORRESPONDIENTE.....	62
TABLA 16. CFO AISLAMIENTO PRIMARIO (AISLADOR).....	63
TABLA 17. CFO ADICIONADO A SEGUNDOS COMPONENTES.....	63
TABLA 18. CFO ADICIONADO A TERCEROS COMPONENTES.....	63
TABLA 19. SIMULACIÓN USANDO HOJA DE CÁLCULO IEEE 1410.....	64
TABLA 20. NÚMERO DE ÁRBOLES IDENTIFICADOS EN EL RECORRIDO.....	68
TABLA 21. COMPARACIÓN ENTRE AISLADORES.....	71
TABLA 22. DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES.....	72
TABLA 23. VALORES MÁXIMOS DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.....	74
TABLA 24. DETALLES DE CORTOCIRCUITO POR ACOMETIDA.....	74
TABLA 25. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN.....	81

TABLA 26. DETALLE ECONÓMICO 23TSM3.	86
TABLA 27. DETALLE ECONÓMICO 23RHM3.....	86
TABLA 28. DETALLE ECONÓMICO 23CHM3.	87
TABLA 29. PRECIO ESTRUCTURA VERTICAL 23VLP3.	91
TABLA 30. PRECIOS ESTRUCTURA HORIZONTAL 23MLP3.....	91
TABLA 31. PRECIOS ESTRUCTURA TRIANGULAR 23TL3.	92
TABLA 32. PRECIOS ESTRUCTURA COMPACTA PASO SIMPLE.	98
TABLA 33. PRECIOS COMPACTA CON ANGULO.....	98
TABLA 34. PRECIOS TRANSFORMADOR MONOFÁSICO COMPACTA.	98
TABLA 35. PRECIO ESPACIADORES.	99
TABLA 36. DETALLES ESPACIADOR TRIFÁSICO.	100
TABLA 37. DETALLES ESPACIADOR MONOFÁSICO.	101
TABLA 38. RESUMEN ECONÓMICO.....	103
TABLA 39. PROPUESTA MANTENIENDO NIVEL DE AISLAMIENTO.	104
TABLA 40. PROPUESTA CAMBIANDO CONDUCTOR.	105
TABLA A 1. CARACTERÍSTICAS DE AISLADOR ANSI 52-4.....	109
TABLA A 2. AISLADOR DE SUSPENSIÓN POLIMÉRICO ANSI 52-4.	110
TABLA A 3. ANSI 56-1.	111
TABLA E 1. RANGOS DE FUSIBLES TIPO T.	129

LISTADO DE GRAFICOS.

GRÁFICO 1. SAIFI DE EMPRESA DISTRIBUIDORA.....	50
GRÁFICO 2. SAIDI DE EMPRESA DISTRIBUIDORA.....	50
GRÁFICO 3. PROBABILIDAD VRS INTENSIDAD DE CORRIENTE.	53
GRÁFICO 4. NÚMERO DE FLAMEOS DE TENSIONES INDUCIDAS VRS EL NIVEL DE AISLAMIENTO DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN (VOLTAJE DE FLAMEO DE IMPULSO CRITICO CFO EN KV PICO).	56
GRÁFICO 5. FACTORES DE PROTECCIÓN POR CERCANÍA DE OBJETOS DE DIFERENTES ALTURAS PARA UNA LÍNEA.	58
GRÁFICO 6. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE FUSIBLES POLIDEPORTIVO.....	76
GRÁFICO 7. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE FUSIBLES HUMANIDADES.....	78
GRÁFICO 8. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE FUSIBLES AGRONOMÍA.	80
GRÁFICO 9. DEMANDA DE ACOMETIDA POLIDEPORTIVO.	81
GRÁFICO 10. DEMANDA ACOMETIDA HUMANIDADES.	82
GRÁFICO 11. DEMANDA ACOMETIDA AGRONOMÍA.	82

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis consiste en la elaboración de una propuesta técnica y económica para mejorar el desempeño de líneas eléctricas.

El objetivo central es elaborar una propuesta para mejorar el desempeño de líneas eléctricas por medio del uso de materiales alternativos tales como cruceros de madera, cable semiaislado, aislador line post, protección anti fauna y aplicar la norma IEEE 1410 en el diseño de estas.

Esta propuesta está dirigida a la Universidad de El Salvador, debido que es una línea en la cual su mayor incidencia de falla es generada por contacto animal y vegetal y esta propuesta pretende reducir de gran manera este problema.

Los principales aspectos que se presentan en el documento son:

Levantamiento de campo de las estructuras y su georeferenciamiento por GPS, elaborando y actualizando los diagramas unifilares, que incluye la capacidad de las subestaciones de la ciudad universitaria.

Realización de una hoja de cálculo para analizar la confiabilidad de las líneas de distribución a 23 kV a las descargas atmosféricas de acuerdo a la norma IEEE Std 1410.

Se realizó un inventario de árboles, en el cual se establece la forma de ejecución de la poda y la necesidad de controlar de inmediato algunos puntos críticos.

Se realizó estudio de flujo de carga en el cual no se encontraron problemas de sobrecarga ni de regulación de voltaje. Sí se encontró que todas las subestaciones de la universidad se encuentran sobredimensionadas con un bajo factor de demanda.

Estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones, en el cual se recomienda los calibres de fusibles para las subestaciones, cortacircuitos de ramales y eliminación de otros, en el estudio de coordinación de protecciones se hace la recomendación de instalación de un dispositivo tripsaver con capacidad de re cierre.

Las causas de fallas en la universidad son el contacto animal y vegetación. Para reducir la incidencia del contacto animal se propone usar crucero de madera y la aplicación de tubo termotractil aislado.

Además, se proponen geometrías de estructura alternativa utilizando aisladores line post y configuraciones en "delta" para conseguir impedancias simétricas sin necesidad de transposiciones

Se implementó un prototipo de aplicación de crucero de madera con aislador line post ANSI 57-2 para reducir la incidencia de fallas por contacto animal

En el estudio se recomienda que la red de distribución de la universidad se convierta a una red subterránea a fin de evitar accidentes eléctricos que ponen en riesgo a estudiantes, profesores, trabajadores y visitantes.

Todos estos detalles se implementaron acatando las normas que la SIGET establece como lo son Acuerdo 29-E-2000, Estándares para la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica, Manual de costos unitarios 803-E-2012, etc.

INTRODUCCION

Mantener un sistema funcional, confiable y con entrega ininterrumpida de energía de calidad, engloba un sin número de estrategias, cálculos y pruebas de diseño; pero sobre todo un extenso trabajo de análisis a la red es un sus diferentes escenarios o posibles eventualidades que afecten el debido funcionamiento del sistema de transporte y entrega de energía desde las centrales de generación hasta el sistema de distribución .

En la mayoría de los casos las sobretensiones se producen como efecto de descargas atmosféricas, causadas por fenómenos naturales impredecibles y ocasionales como depresiones tropicales y tormentas eléctricas que pueden afectar el funcionamiento y operación del sector eléctrico. Muchas de estas descargas afectan las líneas de distribución de una manera directa o indirecta, afectando la calidad de energía por medio de: interrupciones momentáneas, interrupciones permanentes, variaciones de voltaje, daños a equipos en las redes de distribución.

Estimar el comportamiento ante las descargas tipo rayo de una línea de distribución tiene mucha incertidumbre. Algunos de los puntos básicos tales como la intensidad de descargas medida por la densidad de rayos a tierra, DRT (GFD: Ground flash density), o estimar el número de descargas a una línea puede tener errores muy significativos. Muchas veces, estimaciones preliminares o prácticas generalmente aceptadas son tan efectivas como cálculos muy detallados. Esta guía trata de presentar estimaciones más acordes de fallas causadas por descargas tipo rayo y contacto animal.

Este trabajo de graduación contiene información sobre los métodos para mejorar el comportamiento bajo descargas tipo rayo de las líneas aéreas de distribución. Mientras que algunos parámetros tales como el voltaje, el trazado y la capacidad pueden ser predeterminados, otras decisiones son tomadas a discreción del diseñador. El diseñador o proyectista puede ejercer control sobre el material y la geometría de la estructura, el apantallamiento y los sistemas de protección, la cantidad de aislamiento, el sistema de puestas a tierra y la colocación de descargador de sobretensión.

OBJETIVOS:

GENERAL:

Desarrollar una propuesta técnica y económica para mejorar el desempeño de líneas eléctricas ante fallas originadas por contacto animal, viento, contaminación, problemas con la vegetación y las descargas atmosféricas.

ESPECIFICOS:

1. Recomendaciones de mejora en la confiabilidad con una adecuada aplicación de los requerimientos del estándar de construcción de SIGET.
2. Desarrollar una propuesta para el uso de cruceros de madera u otro material a fin de incrementar el CFO de la línea y reducir las fallas por contacto animal.
3. Simular el desempeño a las descargas atmosféricas utilizando las recomendaciones de diseño de la IEEE Std 1410.
4. Investigar técnicas de protección pro fauna para la protección de ardillas, aves y otros, reduciendo a su vez la frecuencia de fallas.
5. Proponer diseños con geometrías alternativas utilizando aislamiento tipo line post. Asimismo, establecer recomendaciones para prácticas para reducir el rompimiento de conductores y puentes.
6. Recomendar prácticas de mantenimiento para obtener una baja tasa de fallas e incrementar la confiabilidad.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El estudio de las líneas eléctricas en nuestro país es muy amplio, por ello es importante conocer cada parte que las conforma y la importancia de ocupar materiales con mejores propiedades eléctricas y bajo costo en sus diseños. En la actualidad existen muchos trabajos de investigación que contemplan los aspectos mecánicos y electricos de las líneas de distribución en nuestro país. En la actualidad, generalmente se utiliza cable AWG O ACSR desnudos, es decir, sin ningún material que sirva como aislante, esto hace que las líneas sean más vulnerables a fallas por contacto de animales o ramas de árboles, es por ello que se están implementando nuevas tecnologías en conductores para un mejor desempeño y reducir las fallas, como ejemplo tenemos la línea de DELSUR en Santo Tomas con un nuevo criterio de diseño utilizando cable semiaislado en un circuito cerrado. Equipos de protección anti fauna hay muchos pero muy pocos se utilizan en la actualidad en la líneas del país, debido a que incrementa el costo económico de la líneas pero que es muy necesario para evitar interrupciones causadas por animales o ramas de árboles al hacer contacto con las líneas. Actualmente en las líneas aéreas de nuestro país se ocupan cruceros y tirantes de acero como apoyo para las líneas, en países como Guatemala y Honduras se ocupa cruceros y tirantes de madera elevando el nivel de aislamiento en los puntos donde se apoyan las líneas, es por ello que presentamos alternativas que serían muy útiles para evitar fallas por contacto fauna y de igual manera alternativas de nuevos materiales para cruceros y que también resultan económicas al reducir la frecuencia de fallas.

Se han realizado estudios previos para el mejoramiento del desempeño de la línea interna de la Universidad de El Salvador, en el año de 2008 se presentó una propuesta de diseño de una línea de distribución primaria exclusiva para la UES[1], en 2013 se presentó una propuesta de una red de distribución subterránea para el campus[2], en la cual se desarrolló un estudio que muestra la factibilidad del uso de un red subterránea recalcando las ventajas de este tipo de red con respecto a las redes aéreas todas y cada una de estas propuestas muestran las ventajas y beneficios que traería a la UES realizar este tipo de proyectos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente trabajo muestra una propuesta técnica y económica para mejorar el desempeño de las líneas eléctricas, haciendo uso del NESC como base en la seguridad de instalación de equipos, implementando el uso de componentes diferentes a los que comúnmente se usan en nuestro país como los son cruceros de madera, protección pro fauna, elaborando propuestas geométricas con el uso de line post.

Aun las empresas de distribución tienen problemas significativos de calidad de energía y continuidad del servicio, y aspectos de diseño eléctrico y mecánico que podrían ser la causa de una alta tasa de falla (200 fallas/100 km/año) esto se comprobó con la base de datos de fallas de una empresa distribuidora y dentro de las cuales se encuentran las fallas causadas por las descargas tipo rayo que no se pueden evitar y para eso con la ayuda de la IEEE 1410 y acatando las normas de diseño que esta nos muestra mejorar el desempeño de las líneas en ese aspecto teniendo en cuenta que para nuestro país el nivel isocerámico es de 125 días de tormentas al año en promedio, con este dato ya podemos hacer uso de las recomendaciones de la norma y así elaborar una propuesta de protección por descargas de tipo rayo agregando además la protección pro fauna y un adecuado mantenimiento de la línea.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El estudio de las líneas de distribución tiene gran importancia hoy en día, estos estudios nos ayudan a tener un sistema eléctrico confiable y de calidad y así proporcionar un servicio casi ininterrumpido.

Al seguir estudiando el comportamiento de estas líneas alcanzaremos cada día ir mejorando los sistemas, esto permite implementar componentes los cuales minimizan los costos de construcción de línea, que debido a su naturaleza tienen un alto nivel de aislamiento (madera, fibra de vidrio, etc.) aumentando así el CFO de una línea y disminuyendo las fallas por contacto animal, también recomendando prácticas de mantenimiento obteniendo una baja tasa de falla y aumento de confiabilidad para así poder tener una energía eléctrica de calidad. Todo lo que en esta investigación se menciona fue obtenido de manera responsable mediante libros y normas que entraran en el tema, para así tener confianza de que este trabajo será útil para cualquier lector interesado. Esto también ayudara a utilizar los componentes necesarios y obligatorios en cualquier línea de distribución, teniendo seguridad de que está basado y apegado a las normas actuales como anteriormente se mencionó.

1.4 ALCANCES

Plantear una propuesta técnica y económica con las alternativas de uso de cruceros de madera y fibra de vidrio que minimicen los costos, agreguen confiabilidad a la línea y a la vez tengan un óptimo funcionamiento.

La implementación y estudio de propuestas de ingeniería para mejorar la confiabilidad de las líneas eléctricas a través del uso de cruceros de madera o fibra de vidrio, protección por descargador de sobre tensión de línea, protectores pro fauna. Y así tratar de controlar los indicadores SAIFI y SAIDI.

1.5 LIMITACIONES

- El estudio de casos se limita únicamente a la red interna de la Universidad de El Salvador, la propuesta técnica está orientada a dicha línea y todo su entorno tales como vegetación, fauna, etc.
- Debido a que no se dispone de equipo adecuado para realizar mediciones de intensidad de rayos, los datos recopilados en esta investigación serán totalmente teóricos ya que no se desarrollan pruebas de laboratorio para el estudio de los rayos y las líneas de energía, ni equipo de registro atmosférico (sistema de localización de rayos).
- Como parte del desarrollo del trabajo de graduación se elabora una estructura tangente sencilla y uno de los problemas al que nos enfrentamos es que los cruceros de madera solo los elaboran en Guatemala y Honduras como países más cercanos.

1.6 MÉTODO INVESTIGATIVO

El trabajo de graduación tiene como base inicial una investigación bibliográfica referente al comportamiento de las descargas atmosféricas referente a normas internacionales IEEE Standards 1410 "Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines".

De la misma manera se utiliza de referencia al manual de estándares para la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica que se ha elaborado para el sector eléctrico, con el objetivo de mejorar la calidad de servicio de la energía y asegurar el cumplimiento de las normas técnicas de diseño, seguridad y operación de las instalaciones de distribución eléctrica, aprobadas por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones SIGET.

Se realiza trabajo de campo para lograr comprender la parte teórica que presentan las normas que se estudian y la que se toma como base para la realización de este

trabajo de graduación. Este trabajo de campo será hecho en la Universidad de El Salvador y se complementa con el apoyo de algunas instituciones distribuidoras de energía eléctrica.

Realizar trabajo de campo que incluye levantamientos de líneas de media tensión, referenciadas a las principales acometidas del campus universitario, revisión de estructuras, instalación del hilo neutro, anclajes, acometidas y mediciones de distintos terrenos y su modelado.

Y al final de deberá analizar la información obtenida en el trabajo de campo y contrastarla con la teoría que se explica en las normativas, con el objetivo de dejar plasmado en el manual todos los aspectos que puedan influir en los resultados obtenidos en la práctica.

Dentro de la biblioteca de normas y estándares que se dedican a la puesta a tierra de sistemas eléctricos, están las del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, en una de las cuales se basa la investigación. Sin embargo, no está demás conocer otros estándares que también describen metodologías de diseño y medición de estos sistemas, en los que la seguridad del personal y del equipo es prioridad, además del buen funcionamiento de los sistemas eléctricos ya sea en Generación, Transmisión y Distribución de la energía; y en el uso que se le da en el sector industrial, comercial, gubernamental y residencial.

Algunas de estas normas consultadas se listan a continuación:

- IEEE Standards 1410 "Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines". Mejorar El Comportamiento Bajo Descargas Tipo Rayo De Las Líneas Aéreas De Distribución Eléctrica.
- RUS BULLETIN 1728F-803 "Specifications and Drawings for 24.9/14.4 kV Line Construction". Especificaciones y construcción de líneas 24.9/14.4 kV
- Awpa "American Wood Preservers' Association Book Of Standards". Libro De Normas De La Asociación Norteamericana De Preservadores De Madera.
- 446 Series Reversible Crossarm Braces
- SIGET "Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución".
- SIGET "NORMAS TECNICAS DE DISEÑO, SEGURIDAD Y OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE DISTRIBUCION ELÉCTRICA".
- SIGET "Estándares para la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica".

1.7 DEFINICIONES

- **Flameo inverso (descarga tipo rayo):** Un flameo del aislamiento resultante de una descarga tipo rayo a una parte de la red o de la instalación eléctrica que está normalmente a un potencial tierra.
- **Nivel básico de aislamiento al impulso, NBA (BIL) (Tensión nominal de prueba de impulso):**

Capacidad de aislamiento al impulso de referencia expresada en términos del valor cresta de la tensión soportada de una onda estándar completa de tensión de impulso.

- **Voltaje de flameo de impulso crítico, VFIC (CFO) (aisladores):** El valor cresta de la onda de impulso que, bajo condiciones especificadas, causa flameo a través del medio que lo rodea en el 50% de las aplicaciones.
- **Descarga directa:** Una descarga directa tipo rayo a cualquier parte de la red o instalación eléctrica.
- **Línea de distribución:** Líneas de energía eléctrica que distribuyen energía desde una subestación de suministro principal a los usuarios.
- **Flameo (general):** Una descarga disruptiva a través del aire alrededor o sobre la superficie de un aislante sólido o líquido, entre partes de diferente potencial o polaridad, producido por la aplicación de un voltaje en el cual la trayectoria del arco llega a estar lo suficientemente ionizada para mantener un arco eléctrico.
- **Electrodo a tierra:** Un conductor o un grupo de conductores en contacto íntimo con tierra con el fin de suministrar una conexión a tierra.
- **Densidad de descargas tipo rayo a tierra, DRT (GFD) (Ng):** El número promedio de descargas tipo rayo por unidad de área por unidad de tiempo en una ubicación particular.
- **Aislador tensor:** Un elemento aislante, generalmente de forma elongada, con huecos o ranuras transversales, cuya finalidad es aislar dos secciones de una retenida o de proveer aislamiento entre la estructura y el artificio de sujeción y también de proveer protección en el caso de una falla de los cables. Los aisladores de porcelana tipo tensor o tipo retenida están diseñados para someter la porcelana a esfuerzos de compresión, mientras que los aisladores de madera equipados con los herrajes apropiados son utilizados generalmente en esfuerzos de tensión.
- **Cable tensor o de retenida:** Un cable retorcido utilizado para soportar una tensión semi-flexible entre un poste o estructura y la varilla de anclaje, o entre estructuras.
- **Descarga indirecta:** Una descarga tipo rayo que no golpea directamente ninguna parte de la red pero que induce en ella una sobretensión.
- **Tensión inducida (descargas tipo rayo):** El voltaje o la tensión inducida en una red o en una instalación eléctrica por una descarga indirecta.
- **Primera descarga tipo rayo:** Una descarga tipo rayo a tierra iniciada cuando la punta de un líder escalonado descendente choca con un líder ascendente desde tierra.
- **Subsiguiente descarga tipo rayo:** Una descarga tipo rayo que puede seguir una trayectoria ya establecida por una primera descarga.
- **Descarga tipo rayo:** La descarga completa tipo rayo compuesta normalmente de líderes desde una nube seguidos de una o más descargas de retorno.
- **Salida por descargas tipo rayo:** Una falla de energía que viene después de un flameo por descarga tipo rayo y que resulta en una falla en el sistema de

corriente, que requiere de la operación de un dispositivo de maniobra para aclarar la falla.

- **Desempeño de la línea ante las descargas atmosféricas:** El funcionamiento de la línea expresado como el número anual de flameos por descargas tipo rayo, tomando como base una milla de circuito o una milla de línea - torre. Ver protección contra descargas directas.
- **Cable de guarda en parte superior, CGPS (OHGW):** Cable o cables de línea de tierra colocados sobre las fases conductoras con el fin de interceptar descargas directas para proteger las fases conductoras de descargas directas. Ellas pueden tener puestas a tierra directa o indirectamente a través de pequeños gaps (espacios muy pequeños). Ver protección contra descargas directas.
- **Ángulo de apantallamiento:** El ángulo entre la línea vertical a través del cable de guarda o línea de tierra en la parte superior y las fases conductoras que pasan por debajo de ella. Ver protección contra descargas directas.
- **Distancia explosiva (Spark gap):** Cualquier distancia corta entre dos conductores eléctricamente aislados o remotamente conectados eléctricamente uno a otro.
- **Descargador de sobretensión o supresor de ondas tipo rayo:** Un elemento protector para limitar los picos de voltaje sobre el equipo, desviándolos a picos de corriente y retornando el equipo a su estado original. El elemento puede repetir estas funciones como se estipula.
- **SAIFI:** Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema (interrupciones / usuarios del sistema / año).
- **SAIDI:** Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema (horas/ usuarios del sistema / año).

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 ESTRUCTURAS MÁS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS PARA VOLTAJE DE 23 KV

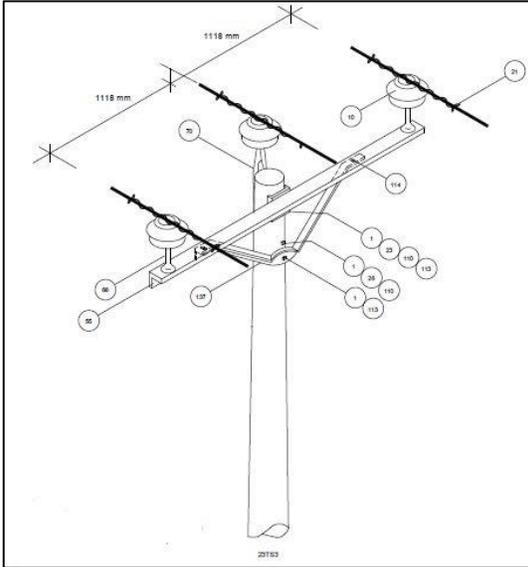


Figura 1. 23TS3

Tangente sencilla (23TS1, 23TS2, 23TS3)

Es una de las estructuras más usadas en la construcción de líneas, es de las pocas estructuras que no requiere retenida si así se desea ya que solo es para el paso de los conductores en tramos rectos de línea. Sus elementos básicos de construcción son: poste, Aisladores tipo espiga, Crucero, alambres para amarre y los herrajes.

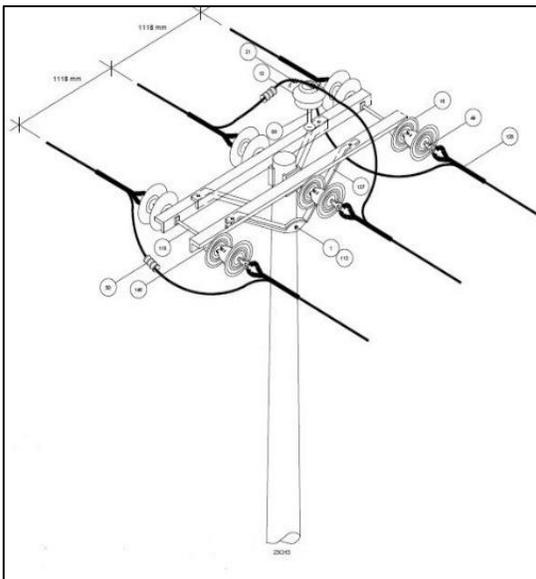


Figura 2. 23CH3

Corte Horizontal (23CH1, 23CH2, 23CH3)

Estructura utilizada para seccionamiento de la línea ya que como se observa en la figura es muy similar a la tangente doble, los componentes de esta son muy similares y es una combinación entre remate sencillo y tangente doble.

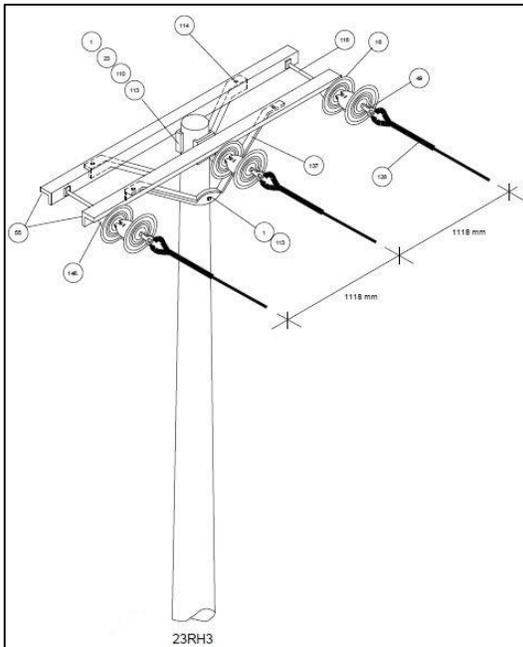


Figura 3. 23RH3

Remate Horizontal (23RH1, 23RH2, 23RH3)
 Una estructura en la cual la línea finaliza en esta es necesario el uso de retenidas ya que aquí es el punto de apoyo y la tensión que soporta esta estructura puede ser muy grande. Sus elementos básicos de construcción son: poste, Aisladores tipo suspensión (dos para cada fase), Crucero (dos), tirante en V para crucero (dos), retenidas y los herrajes.

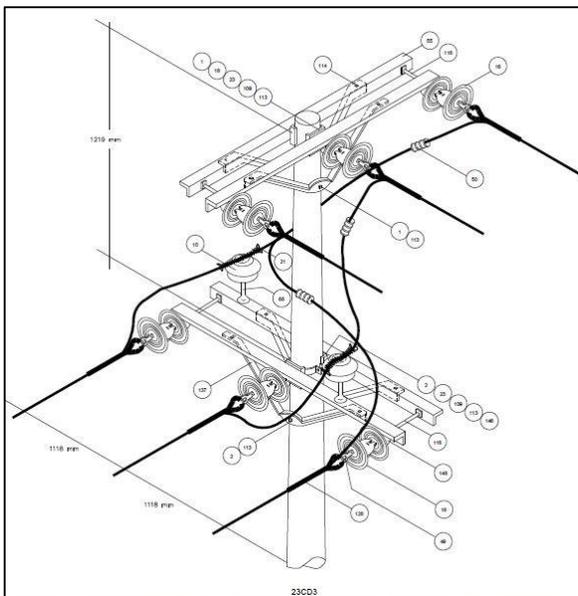


Figura 4. 23CD3

Cruce horizontal doble remate (23CD1, 23CD2, 23CD3)

En esta estructura es una derivación de la línea ya que hace un cambio de 90° en su recorrido es obligatorio el uso de retenida ya que también es un remate en sus dos estructuras principales. Sus elementos básicos de construcción son: poste, Aisladores tipo suspensión (dos por cada fase), aislador tipo espiga (dos) Crucero (cuatro), alambres para amarre, conectores de compresión y los herrajes.

2.2 REGLAS PARA DISEÑO MECÁNICO

2.2.1 PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO SEGÚN ACUERDO 29-E-2000

De acuerdo a lo establecido en el acuerdo 29-E-2000[6], existen muchos parámetros a tomar en cuenta para el diseño y construcción de una línea aérea dentro de este acuerdo se mencionan a detalle cada uno de estos en el Título II capítulo I se encuentran los parámetros de diseño de estas, a continuación un resumen de este.

2.2.1.1 Generalidades

Las líneas aéreas deberán tener suficiente resistencia mecánica para soportar las cargas propias y las debidas a las condiciones meteorológicas a que estén sometidas, según el lugar en que se ubiquen, con los factores de sobrecarga adecuados. En aquellas regiones del país donde las líneas aéreas lleguen a estar sometidas a cargas mecánicas más severas, las instalaciones deberán diseñarse tomando en cuenta tales condiciones de carga, conservando los factores de sobrecarga correspondientes.

2.2.1.2 Zonas de carga

Con el propósito de establecer las cargas mínimas que deben considerarse en el cálculo mecánico de líneas aéreas, según el lugar de su instalación, el país se ha dividido en 3 zonas de carga, en las cuales se calculará la presión ejercida por el viento como la correspondiente a una velocidad no menor de las que se indican a continuación:

Zona 1 = 80 kilómetros por hora

Zona 2 = 100 kilómetros por hora

Zona 3 = 120 kilómetros por hora

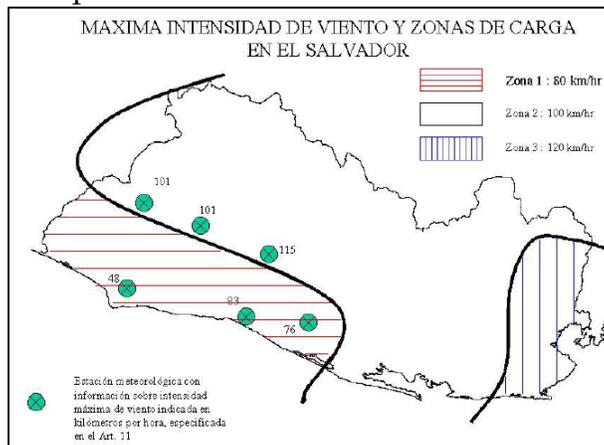


Figura 5. Zonas de velocidad de viento en El Salvador.

En cada caso deberá investigarse y aplicarse las condiciones meteorológicas dominantes, en aquellas regiones donde las líneas lleguen a estar sometidas a cargas más severas que las indicadas arriba, deberán calcularse tomando en cuenta dichas condiciones, aplicando los factores de sobrecarga correspondientes.

2.2.1.3 Zonas de temperatura

En el país existen, en general, condiciones muy homólogas de temperaturas máximas y mínimas en las distintas zonas, en las cuales se supondrá que los conductores estarán sometidos a las siguientes temperaturas mínimas y máximas:

- Mínima 10 °C
- Máxima 40 °C

2.2.1.4 Tipos de suelo

Siendo el suelo un elemento importante en el análisis y diseño de las estructuras de soporte, particularmente en la resistencia del empotramiento de los postes, como en el cálculo de las retenidas, es necesario tener en cuenta su resistencia en el proceso de diseño de un tendido eléctrico.

2.2.1.5 Clases de construcción

Clase C: Es la clase con menor resistencia mecánica, pero que cumple todos los requerimientos mínimos de acuerdo a las exigencias climáticas y el cálculo de sus componentes deberá sujetarse a lo establecido en la Tabla N° 1. Sus Factores de sobrecarga son los más bajos.

Clase B: Este tipo de construcción deberá considerarse en lugares de mayor riesgo y cumple con las condiciones más exigentes. Sus coeficientes de sobrecarga están definidos en la Tabla de factores de sobrecarga.

Clase A: En esta clase se agrupan las líneas que requieren condiciones extraordinarias de diseño, por demanda de especiales condiciones de ubicación y/o operación.

2.2.1.6 Factores de sobrecarga

Cada uno de los elementos de las estructuras: cruceros, retenidas, fundaciones y anclas, deberán ser diseñadas para soportar las cargas adecuadas, multiplicadas por los factores de sobrecarga descritos en las tablas siguientes:

	CLASE B	CLASE C
Cargas Verticales	1.50 (2)	1.50 (2)
Cargas Transversales	2.50	2.20 (3)
Viento	1.65 (1)	1.30 (4)
Tensión del conductor		
Cargas Longitudinales		
En los Cruces:		
En general	1.10	No se requiere
En Remates	1.65 (1)	1.30 (4)
En otras posiciones		
En general	1.00	No se requiere
En remates	1.65 (1)	1.30 (4)

Tabla 1. Factores de sobrecarga para estructuras, incluyendo postes, cruceros, cimientos, retenidas y anclas.

- (1) Para retenidas y anclas asociadas con estructuras que únicamente soportan conductores y cables de comunicación, este factor puede reducirse a 1.33.
- (2) Donde las cargas verticales reducen significativamente la tensión en un miembro de la estructura, un factor de sobrecarga de 1.0 debe ser usado para el diseño de dicho miembro
- (3) Este factor puede ser reducido a 1.75 para estructuras de madera y concreto reforzado cuando no son estructuras de cruce.
- (4) Para estructuras de metal y concreto pretensado, cruceros, retenidas, fundaciones y anclas, use un valor de 1.10.

FACTORES DE SEGURIDAD	CLASE B	CLASE C
Estructuras de metal y concreto pretensado	1.0	1.0
Estructuras de madera y concreto reforzado	0.65	0.85
Cable de retenida	0.9	0.9
FACTORES DE SEGURIDAD PARA ESTRUCTURAS CON ELEMENTOS		

MONTADOS A 1.80 mts. ó MAS SOBRE EL SUELO		
Estructuras de metal y concreto pretensado	1.0	1.0
Estructuras de madera y concreto reforzado	0.75	0.75
Cable de retenida	0.9	0.9
Ancla y Cimientos	1.0	1.0

Tabla 2. Factores de seguridad para ser usados con la tabla 1.

2.3 REGLAS PARA DISEÑO ELÉCTRICO

2.3.1 DISTANCIAS ELECTRICAS

Las distancias mínimas de seguridad, de las situaciones más comunes, de líneas aéreas de suministro eléctrico y de comunicaciones y tiene la intención de desarrollar una doble función bajo las condiciones de operación esperadas:

- A) Limitar la posibilidad de contacto por personas con los circuitos o equipos.
- B) Impedir que las instalaciones de un distribuidor entren en contacto con las instalaciones de otro distribuidor o con la propiedad pública o privada.

2.3.1.1 Medición de distancias y espaciamentos

Para referirse a la separación entre conductores y sus soportes, estructuras, construcciones, nivel del suelo, etc., se usan en este artículo los términos distancia y espaciamento. A menos que se diga otra cosa, todas las distancias deben medirse de superficie a superficie y todos los espaciamentos se deberán medir de centro a centro. Para propósito de medición de las distancias, los herrajes y accesorios que estén energizados debido a su conexión eléctrica a los conductores de la línea, se deben considerar como parte integral de los mismos conductores. Las bases metálicas de las mufas o pasa muros, descargador de sobre tensión y de equipos similares deben ser consideradas como parte de la estructura de soporte.

2.3.1.2 Cables de suministro.

- A) Cables de cualquier tensión que tengan cubierta o pantalla metálica continua efectivamente puesta a tierra, o bien cables diseñados para operar en un

sistema de conexión múltiple a tierra de 25 kV ó menos, que tengan una pantalla semiconductor sobre el aislamiento combinada con un adecuado sistema metálico para descarga, cuando estén soportados y cableados junto con un mensajero neutro desnudo efectivamente puesto a tierra.

- B) Cables de cualquier tensión no incluidos en el numeral anterior, que tengan una pantalla semiconductor continúa sobre el aislamiento combinada con un adecuado sistema metálico para descarga, cuando estén soportados y cableados junto con un mensajero desnudo efectivamente conectado a tierra.
- C) Cables aislados sin pantalla sobre el aislamiento, que operen a tensiones no mayores de 5 Kv entre fases o 2.9 Kv de fase a tierra.

2.3.1.3 Conductores Cubiertos (encerrados)

Los conductores cubiertos deben ser considerados como desnudos para todos los requisitos de distancias, excepto en lo que se refiere al espaciamiento entre conductores de la misma fase o de diferentes circuitos, incluyendo conductores conectados a tierra. El espaciamiento para conductores cubiertos puede ser menor que el mínimo requerido para conductores desnudos, siempre y cuando sean propiedad de la misma empresa y que su cubierta provea suficiente resistencia dieléctrica para prevenir corto circuitos en caso de contacto momentáneo entre conductores, o entre éstos y el conductor conectado a tierra.

2.3.1.4 Conductor de Neutro.

- A) Los conductores de neutro efectivamente conectados a tierra a lo largo de la línea, cuando estén asociados con circuitos hasta de 25 kV a tierra, pueden considerarse, para fines de fijar su distancia y altura, como conductores mensajeros o retenidas.
- B) Todos los otros conductores de neutro deben cumplir los requerimientos de distancia y altura que los conductores de fase de sus respectivos circuitos.

2.3.2 DISTANCIAS DE SEGURIDAD VERTICAL DE CONDUCTORES SOBRE EL NIVEL DEL SUELO, CARRETERA, VÍAS FÉRREAS Y SUPERFICIES CON AGUA

Naturaleza de la superficie bajo los conductores	Conductores de comunicación aislados, retenidas aterrizadas, conductores neutros y cables eléctricos aislados Metros	Cables suministradores aislados de más de 750 V y conductores suministradores en línea abierta de 0 a 750 V Metros	Conductores suministradores en línea abierta de 750 V a 22 kV Metros	Conductores suministradores en línea abierta de 22 a 230 kV Metros
Vías férreas	7.2	7.5	8.1	8.1 + 0.01 m por cada kV por arriba de 22 kV
Carreteras, calles, caminos y otras áreas usadas para tránsito vehicular.	4.7	5.0	5.6	5.6 + 0.01 m por cada kV por arriba de 22 kV
Vías peatonales	2.9	3.8	4.4	4.4 + 0.01 m por cada kV por arriba de 22 kV
Aguas donde no es permitida la navegación	4.0	4.6	5.2	5.2 + 0.01 m por cada kV por arriba de 22 kV
Aguas navegables, incluyendo lagos, ríos, embalses, canales, esteros, con un área de superficie sin obstrucción de:				
A) Hasta 8 Ha	5.3	5.6	6.2	6.2 / 8.7 / 10.5 / ó 12.3 metros + 0.01 m por cada kV por arriba de 22 kV
B) De 8 a 80 Ha	7.8	8.1	8.7	
C) De 80 a 800 Ha	9.6	9.9	10.5	
D) Mas de 800 Ha	11.4	11.7	12.3	

Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad verticales sobre vías férreas, el suelo o agua.

DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD DE		Conductores y cables de comunicación aislados, mensajeros, retenidas aterrizadas expuestas a tensiones de hasta 300 V, conductores de neutro que cumplen con Art.16 numeral 16.5.A, cables de suministro que cumplen con Art.16 numeral 16.3.A	Cables de suministro de 0 a 750 V, que cumplen con Art.16 numeral 16.3.B	Partes rígidas energizadas no protegidas, de 0 a 750 V, conductores de comunicación no aislados, carcazas de equipos no aterrizadas expuestas a conductores abiertos de suministro de entre 300 y 750 V	Cables de suministro de más de 750 V, que cumplen con Art. 16 numeral 16.3.B ó 16.3.C, conductores de suministro en línea abierta de 0 a 750 V	Partes rígidas energizadas no protegidas de 750 V a 22 kV, carcazas de equipos no aterrizadas, retenidas no aterrizadas expuestas a tensiones de 750 V a 22 kV	Conductores de suministro en línea abierta de 750 V a 22 kV
EDIFICIOS	Horizontal a paredes, ventanas y áreas accesibles a personas	1.4 (1)(2)	1.5 (1)(2)	1.5 (1)(2)	1.7 (1)(4)	2.0 (1)(2)	2.3 (1)(5)(6)
	Vertical, arriba o debajo de techos y áreas no accesibles a personas	0.9	1.10	3.0	3.2	3.6	3.8
	Vertical, arriba o debajo de techos y áreas accesibles a personas vehículos, pero no a vehículos pesados (3)	3.2	3.4	3.4	3.5	4.0	4.1
	Vertical, arriba de techos accesibles al tránsito de vehículos pesados	4.7	4.9	4.9	5.0	5.5	5.6
OTRAS ESTRUCTURAS	Horizontal	0.9	1.07	1.5 (1)	1.7 (1)(4)	2.0 (1)	2.3 (1)(2)(5)(6)
	Vertical, arriba o debajo de cornisas y otras superficies con acceso a personas	3.2	3.4	3.4	3.5	4.0	4.1
	Vertical, arriba o debajo de otras partes de estas instalaciones	0.9	1.07	1.7	1.8 (1)	2.3	2.45

Tabla 4. Distancias mínimas de seguridad de conductores a edificios y otras instalaciones.

CONDUCTORES Y CABLES EN NIVELES INFERIORES	CONDUCTORES Y CABLES EN NIVELES SUPERIORES			
	Cables de suministro que cumplen con el Art. 16 numeral 16.3 literales A, B y C conductores de neutro que cumplen con Art.16. numeral 16.5.A (m)	CONDUCTORES DE SUMINISTRO ABIERTOS		
		De 0 A 8.7 kV (m)	Más de 8.7 a 50 kV	
			MISMA EMPRESA (m)	DIFERENTE EMPRESA (m)
De comunicación, en general	1.00	1.00	1.00	1.00 + 0.01 por kV en exceso de 8.7 kV
Eléctricos con tensión entre conductores de:				
Hasta 750 V	0.41	0.41 (1)	0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV	1.0 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV
Más de 750 V a 8.7 kV		0.41 (1)	0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV	1.0 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV
Más de 8.7 kV a 22 kV Trabajos en línea viva			0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV	1.0 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV
Trabajos en línea muerta				0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV
Más de 22 kV sin exceder 50 kV			0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV	0.41 + 0.01 por kV sobre 8.7 kV

Tabla 5. Distancias de seguridad vertical entre conductores en sus soportes.

Naturaleza de la superficie bajo las partes energizadas	Equipo con la carcasa efectivamente aterrizada	Partes energizadas rígidas no protegidas, de 0 a 750 V y carcasas de equipos no aterrizados, conectados a circuitos de menos de 750 V	Partes energizadas rígidas no protegidas, de 750 V a 22 kV y carcasas de equipos no aterrizados, conectados a circuitos de más de 750 V, hasta 22 kV	Partes energizadas rígidas no protegidas, de más de 22 kV y carcasas de equipos no aterrizados, conectados a circuitos de más de 22 kV
	(m)	(m)	(m)	(m)
Áreas accesibles solo a peatones	3.4	3.6 (1)	4.3	4.3 m + 0.01 m por c/kV sobre 22 kV
Áreas transitadas por vehículos	4.6	4.9	5.5	5.5 m + 0.01 m por c/kV sobre 22 kV

Tabla 6. Distancias mínimas de seguridad vertical sobre el suelo para equipo de servicio eléctrico instalado en estructuras.

A continuación se muestran los requisitos mínimos que deben cumplir el diseño y la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica y sus equipos asociados, con la finalidad de obtener la máxima seguridad y protección a las personas y bienes.

La optimización de la construcción de las líneas aéreas de energía eléctrica, requiere del diseño la trayectoria de longitud mínima, sin menoscabo de la seguridad, operación, mantenimiento y accesibilidad; para lo cual, además de los factores técnicos y económicos, deberá cumplir con los requisitos siguientes:

Tramos rectos: El diseño deberá dar preferencia al trazo rectilíneo.

Señalización de líneas.

Cuando por razones de la topografía del terreno los vanos de las líneas sean muy largos o queden a alturas considerables de la superficie del suelo, o cuando se construyan líneas aéreas en lugares de tránsito aéreo de baja altura (avionetas o helicópteros), los conductores deberán tener señalizaciones adecuadas para hacerlos visibles.

Relaciones entre líneas. Cuando se considere la construcción de dos ó más líneas aéreas, utilizando los mismos apoyos, se deberá cumplir con los siguientes requerimientos.

- La línea de mayor tensión deberá quedar en la parte superior.
- Cuando se trate de líneas aéreas de suministro eléctrico y de comunicación, las primeras deberán estar en los niveles superiores y conservar su misma

posición en todo su trayecto, considerando las transposiciones necesarias de los conductores.

- La estructura deberá diseñarse con la adecuada resistencia mecánica y de tal forma, que no obstruya los trabajos de mantenimiento.

Accesibilidad a líneas aéreas. Para efectos de operación y mantenimiento, el diseño de las líneas aéreas deberá considerar que éstas sean accesibles, en cualquier época del año, al personal y equipo requerido.

Equipo eléctrico conectado a la línea.

Accesibilidad. Las conexiones, derivaciones y el equipo eléctrico conectado a las líneas aéreas, tales como: transformadores, reguladores, interruptores, cortacircuitos fusibles, seccionadores, descargador de sobre tensión, capacitores, equipos de control, etc., deberán estar dispuestos de tal forma que sean accesibles en todo momento al distribuidor o personal autorizado por él.

Indicación de posición de operación. Los interruptores, cortacircuitos, seccionadores, etc., deberán indicar claramente su posición de "abierto" o "cerrado", ya sea que se encuentren dentro de gabinetes o estén descubiertos.

Fijación de operación. Con la finalidad de evitar operaciones no deseadas, los interruptores, seccionadores, etc., deberán estar provistos de mecanismos de seguridad que permitan asegurar su posición de "abierto" o "cerrado".

Transformadores y equipos montados en las estructuras. La parte más baja de los transformadores y equipos montados en estructuras, deberá estar a una altura mínima sobre el nivel del suelo.

Aislamiento de la línea.

Cuando no sea posible cumplir las distancias mínimas de seguridad estipuladas en estas Normas, únicamente por la presencia de árboles, vegetación ó áreas protegidas, los conductores eléctricos y otras superficies energizadas asociadas a las líneas, deberán ser protegidos o aislados para la tensión de operación.

Para el diseño del aislamiento de las líneas aéreas deberá seleccionarse aisladores que estén garantizados para evitar saltos de arco eléctrico en condiciones de operación, sobre tensiones transitorias, humedad, temperatura, lluvia o acumulaciones de suciedad, sal y otros contaminantes que no son desprendidos de una manera natural.

Los aisladores podrán ser de porcelana, vidrio u otro material que tengan características mecánicas y eléctricas equivalentes o superiores que los antes mencionados. Deberán estar identificados por su fabricante ya sea con su nombre comercial, con un número de catálogo, u otro medio, de tal forma que permita determinar sus propiedades eléctricas y mecánicas a través de catálogos u otra literatura.

Los aisladores deberán tener suficiente resistencia mecánica para soportar esfuerzos mecánicos a los que están sometidos por: cargas máximas de viento, severo abuso mecánico, descargas electro-atmosféricas, arcos de energía y condiciones de contaminación desfavorable (salinidad, corrosión, gases y lluvia ácida, humo, polvo, neblina, etc.), sin exceder los siguientes porcentajes de su resistencia mecánica a la ruptura:

- A) Cantilever 40 %
- B) Compresión 50 %
- C) Tensión 50 %

2.3.3 CONDUCTORES

Los conductores deberán ser de un material o una combinación de materiales que minimicen la corrosión por causa de las condiciones ambientales.

Las líneas aéreas con voltajes superiores a 750 V se ejecutarán como regla general, con conductores desnudos. En caso de usar conductores cubiertos de una capa aislante, resistente a las acciones atmosféricas, rayos ultravioleta y aditivos antitracking, polietileno reticulado XLPE u otro de características similares.

Al seleccionar los conductores desnudos con base a su capacidad de corriente, se recomienda no sobrepasar los valores que han sido determinados con base a las propiedades físicas del material, bajo ciertas condiciones de temperatura ambiente y de elevación de temperatura del propio conductor. Los aspectos relativos a caída y regulación de voltaje deberán también tenerse en cuenta.

La tabla N° 7 muestra valores máximos de capacidad de conducción de corriente para los calibres de conductores de cobre y aluminio desnudos más usuales en líneas aéreas. Estas capacidades corresponden a 75°C de temperatura total en el conductor, operando a un régimen de carga constante.

Los conductores de baja tensión, serán aislados, con poli cloruro de vinilo (PVC) o polietileno reticulado (XLPE) protegidos contra agentes atmosféricos y la radiación ultravioleta de los rayos solares.

2.3.3.1 EMPALMES Y CONEXIONES

- A) Para el empalme de conductores desnudos se utilizarán manguitos a compresión, que presenten una resistencia mecánica a la tracción no menor al 90% de la carga de rotura del conductor, y de conductividad adecuada.
- B) Para la conexión de conductores desnudos en las líneas, se utilizarán uniones a compresión, de una conductividad adecuada.
- C) En caso de utilizar conectores o manguitos que requieran la remoción del aislamiento del conductor, el aislamiento deberá reponerse utilizando cinta, cubiertas termoencogibles, manguitos preaislados, etc.
- D) Todos los empalmes deberán quedar a más de 7.50 m de las estructuras. No se usarán empalmes en vanos de más de 200 mts o en vanos que atraviesen vías férreas u otras vías de primera importancia.

CALIBRE AWG ó MCM	COBRE (*) Amperios	ACSR Amperios	ALUMINIO Amperios	CALIBR E AWG ó MCM	COBRE (*) Amperios	ACSR Amperios	ALUMINIO Amperios
8	90	-	-	397.5.4	-	560	555
6	120	100	100	477.0	-	630	620
4	170	130	130	636.0	-	770	750
2	220	180	180	750.0	-	-	830
1/0	310	230	235	795.0	-	875	860
2/0	360	270	275	954.0	-	980	970
3/0	420	300	315	1113.0	-	1070	1070
4/0	480	350	370	1351.0	-	1210	1210
266.8	-	440	430	1510.5	-	1300	1290
336.4	-	510	500	1590.0	-	1370	1330

Tabla 7. Capacidad máxima de conducción de corriente en conductores desnudos de cobre, ACSR y aluminio.

NOTA: Los valores de esta tabla son aplicables a la operación estable de la línea, las sobrecargas que los conductores admiten serán aplicadas bajo la responsabilidad de las empresas distribuidoras, conforme las recomendaciones del fabricante, las condiciones del clima, y la duración de las condiciones consideradas.

2.3.3.2 CARGAS MECÁNICAS

Presión del viento: La presión del viento sobre superficies cilíndricas se debe calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$P = 0.00482 V^2 E_c(1)$$

Donde "P" es la presión de viento, en kilogramos por metro cuadrado del área proyectada y "V" es la velocidad del viento de diseño en kilómetros por hora. La Tabla N° 8 muestra los valores de presión de viento que resultan al aplicar esta fórmula, con los valores de velocidad de viento de diseño.

ZONA DE CARGA MECANICA	VELOCIDAD DE VIENTO DE DISEÑO	PRESION DEL VIENTO SOBRE SUPERFICIES CILINDRICAS
	Km/h	Kg/m ²
1	80	31
2	100	48
3	120	69

Tabla 8. Presiones de viento mínimos para las diferentes zonas de carga mecánica.

Cargas en las estructuras y soportes: Las cargas que actúan sobre las estructuras de las líneas aéreas y sobre el material usado para soportar los conductores y cables de guarda, están representadas en la siguiente figura:

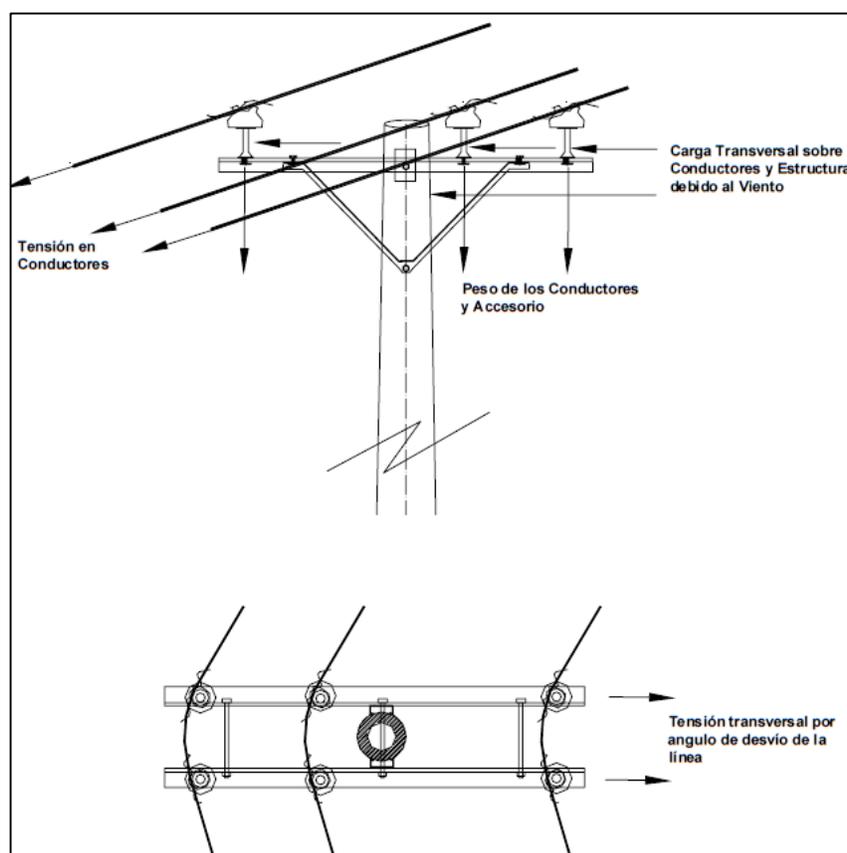


Figura 6. Fuerzas que producen cargas sobre estructuras de soporte.

2.4 PROTECCION ANTIFAUNA

Uno de los problemas más frecuentes de interrupciones en las líneas aéreas es el contacto animal o ramas de árboles cercanos a ellas. La nidificación provoca frecuentemente problemas en el servicio por derivaciones a tierra a través de la estructura del nido cuando éste termina por contactar con uno de los conductores. También los cortocircuitos pueden provocar problemas de mantenimiento con sobretensiones que hacen saltar las protecciones de la línea o incluso ocasionando fuegos. Como es sabido, existen dos tipos fundamentales de accidentes de aves en tendidos eléctricos: el cortocircuito en el poste y la colisión contra los cables. La electrocución se puede producir de dos formas; por contacto con dos conductores o, lo que es más frecuente, por contacto con un conductor y derivación a tierra a través del poste metálico, dejando en el ave las características marcas del paso de corriente. Dadas las dimensiones de los apoyos, la separación de los conductores y la longitud de los aisladores, las electrocuciones sólo son frecuentes en líneas inferiores a los 45 kV.

Este es un tema que ha venido siendo estudiado durante mucho tiempo y se han presentado propuestas para evitar estas interrupciones asegurando el constante funcionamiento de las líneas siendo soluciones viables económicamente. Presentamos algunas de las soluciones para evitar el contacto de animales o ramas con la línea y evitar fallas en el sistema basados en las normas ASTM G124 [9], ASTM D2303 [10], ASTM D412 [11], ASTM D638 [12] y IEC 60-502 [13]:

- **Aislador Botella:** Aislamiento externo para cubrir la boquilla del transformador. Aísla la parte más vulnerable en los transformadores de potencia. El aislador botella abierta permite la instalación sin desconexión.
- **Tubo Termocontráctil:** Tubo termocontráctil para aislamiento de puentes y buses. 5 - 35KV. Polímero reticulado fácil de instalar. Resistente a rayos U.V. Intemperismo y alta contaminación.
- **Cubierta de Apartarayo:** Aísla la parte metálica del apartarayo tipo subestación. Reutilizable para mantenimiento. Polímero reticulado resistente a rayos U.V., Intemperismo y alta contaminación.



- **Cubierta de Aislador Soporte:** Cubierta de polímero reticulado resistente a los rayos U.V. Intemperismo y alta contaminación. No requiere desconexión.



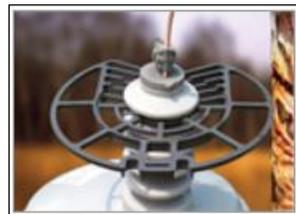
- **Cubierta de Línea Viva:** Cubierta de polímero reticulado para aislar líneas y puentes. No requiere desconexión. 5 - 35KV. Polímero reticulado fácil de instalar. Resistente a rayos U.V. Intemperismo y alta contaminación.



- **Disco Anti-Fauna tipo rejilla:** Disco anti-fauna de aplicación en vivo. Polímero resistente a intemperismo, rayos U.V. Y contaminación. Aísla roedores y aves de las áreas energizadas. Actualmente utilizados en algunos puntos de la línea en estudio.



- **Zap Disc:** Disco antifauna por descarga electrostática. Ahuyenta roedores y serpientes por medio de una descarga electrostática NO letal. Mantiene las subestaciones libres de fauna sin causar daño a los animales. Se puede instalar en vivo. 15-35KV.



- **Faldón Protector de Guano para Aisladores de Suspensión:** Protege los aisladores de suspensión de los daños causados por el guano de aves y por la formación de nidos sobre las cadenas de aisladores.



- **Disco Anti-Fauna de Policarbonato:** Disco anti-fauna de policarbonato de alto impacto. Aísla roedores y aves de las áreas energizadas. Se instala con cinchos de nylon resistente a rayos U.V.



2.5 EQUIPO DE AISLAMIENTO

Según el Estándar para la construcción de líneas de distribución de energía eléctrica, los equipos de aislamiento a utilizar en las líneas a 23 kV serán: aisladores tipo espiga 23kV ANSI 56-1 y aislador tipo suspensión 23 kV ANSI 52-4. En las líneas actuales podemos observar que se utilizan 2 tipos de aisladores de suspensión los cuales son: porcelana y poliméricos. Existe un tipo de aisladores que no considera los estándares pero que aportan muchas ventajas respecto a los aisladores tipo pin, estos son: Aisladores Line Post. A continuación se presentan algunas características de cada aislador y algunas ventajas de los aisladores Line Post. El tipo más común de aislador utilizado en la construcción de líneas de distribución es el tipo pin o espiga. El aislador de pin, mostrado en la figura 7 puede tener una o varias faldas dependiendo del voltaje de utilización, teniendo además un agujero roscado, que es donde se introduce el pin o espiga para su montaje en el crucero o poste. El conductor y el pin de soporte están separados por una capa delgada de porcelana y las perforaciones son comunes durante las tormentas eléctricas. Otro problema es la interferencia en sistemas de radio y televisión, lo cual se puede corregir utilizando un esmalte especial en la parte superior del aislador. Además, se presentan problemas de corrosión en el pin, y los subproductos generados por la corriente de fuga hacen presión interna en la porcelana, provocando agrietamientos en la misma. Los aisladores tipo «line post», que se muestran en la figura 8, ofrecen muchas ventajas para la operación de las líneas de distribución. Tal como se muestra, el aislador consiste de un cuerpo de porcelana con una base metálica cementada al mismo. Este tipo de construcción ofrece la ventaja de hacer trabajar a la porcelana a compresión, siendo su resistencia mecánica 20 veces mayor que cuando se trabaja a tensión. Además se aprovecha la expansión térmica de la porcelana cuando se trabaja a compresión.

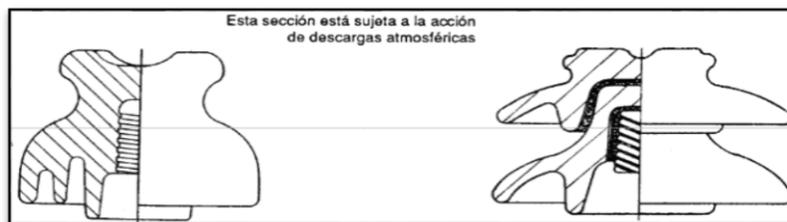


Figura 7. Aislador tipo Espiga.

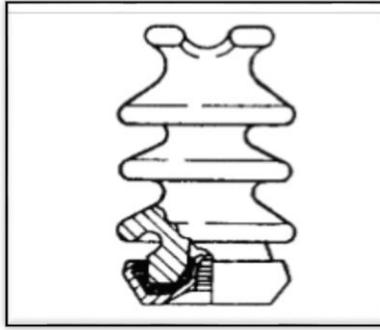


Figura 8. Aislador tipo line post.

En conclusión, algunas ventajas de los aisladores line post con respecto a los aisladores tipo pin son:

- Herrajes externos que previenen que la porcelana se fracture debido a la presión ejercida por los productos que genera la corrosión.
- Construcción robusta utilizando faldas cortas en lugar de las faldas frágiles que se utilizan en un aislador tipo pin.
- Evita problemas de interferencia en sistemas de radio y televisión.
- Mejorar resistencia de aislamiento.
- Bajo costo en comparación con el aislador tipo pin y su espiga.

2.6 ALTERNATIVAS PARA MATERIALES DE CRUCEROS

2.6.1 CRUCEROS DE MADERA

Los cruceros de madera se usan para fijar y soportar materiales y equipo en los postes; son de servicio continuo en el sistema de distribución de la Compañía.

Los cruceros deben ser aserrados y maquinados e inmunizados. Son elementos de características geométricas, mecánicas y fitosanitarias tales que les permiten adaptarse a las limitaciones impuestas por otros elementos y por el medio ambiente. Deben ser de madera de eucalipto (*tereticornis*, *globulus*, *eucaliptus* sp), pino (*ocarpa*, *tecunumani*, *caribeño*, *ocote*, *pátula*) o moncoro, inmunizados con sales.

Los árboles utilizados para cruceros de madera rolliza presentaran todas las características de madera madura. Para especies latifoliadas (eucalipto), no se

especifica la velocidad de crecimiento. Se utilizarán árboles con una edad mínima de 12 años para cruceros.

Todos los cruceros antes del proceso de inmunización deben someterse a un proceso de secado artificial. Este secado debe hacerse técnicamente, evitando la creación de zonas de decadencia (secamiento no uniforme) por ciclos incorrectos, hasta que se llegue a un porcentaje de humedad uniforme del 20% en la profundidad máxima de la albura cuando se realice la medición respectiva.

La inmunización de los cruceros debe efectuarse mediante la utilización de preservativos en forma de sales hidrosolubles CCA tipo C (Cromo Cobre Arsénico), formulación de óxidos, en pasta o concentrado líquido. No se permite la utilización de CCA tipo C con formulación de sales o en cualquier otra forma diferente a pasta o concentrado líquido. En la tabla 10 se presentan los niveles de aislamiento para cruceros y postes esto nos da la referencia de los valores que se obtienen al implementar este tipo de materiales en la construcción de líneas.

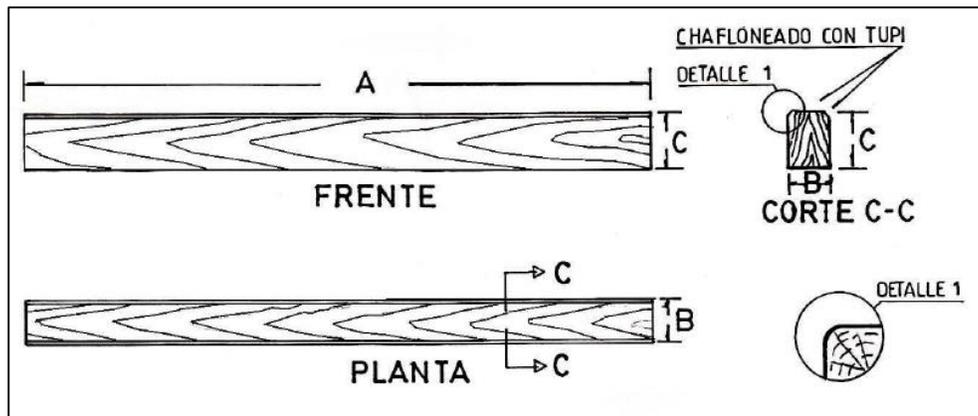


Figura 9. Vistas crucero de madera.

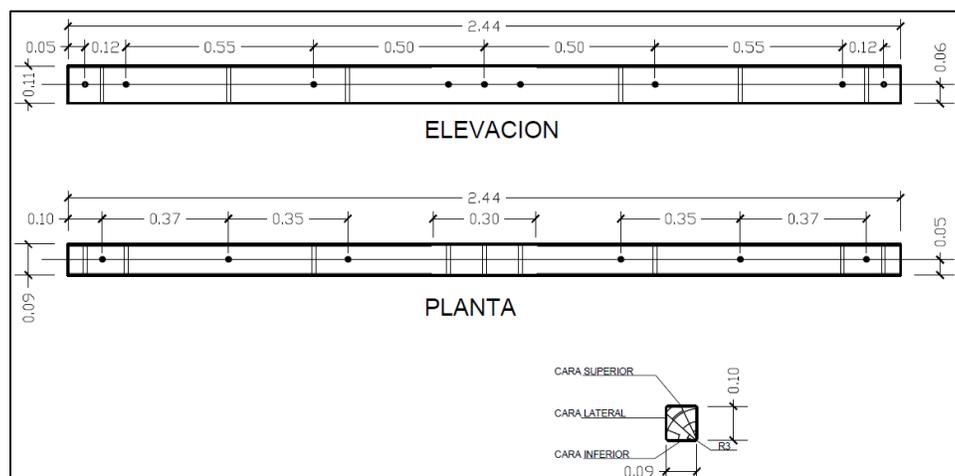


Figura 10. Distancia de agujeros en crucero de 8'.

A	B	C
5'	3 ¾"	4 ¾"
8'	3 ¾"	4 ¾"
10'	3 ¾"	4 ¾"
13'	3 ¾"	4 ¾"
16'	4 ¾"	4 ¾"

Tabla 9. Distancias de cruceros y cortes.

Aislamiento	kV/m
Aire	600
Poste de madera	330
Crucero de madera	360
Poste integral de fibra de vidrio	500

Tabla 10. Niveles de aislamiento.

2.6.1.1 NORMAS PARA LA CONSTRUCCION DE CRUCEROS DE MADERA

- ANSI 05.2 Normas estándares para madera laminada estructural para estructuras de servicio público.
- ANSI 05.3 Normas estándares para cruceros y refuerzos de madera solida especificaciones y dimensiones.
- RUS (REA) Bulletin 1728H-701 Especificaciones REA para cruceros de madera (solida y laminada) maderas de transmisión y llaves de postes.
- RUS (REA) Bulletin 1728F-800 Especificaciones REA para postes de madera, Stubs y entronque de anclaje.
- ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

2.6.2 CRUCEROS DE FIBRA DE VIDRIO

Los cruceros o brazos plásticos reforzados en fibra de vidrio son utilizados como estructuras de apoyo de conductores y aisladores en los postes de las redes de distribución aérea.

El compuesto o material del crucero debe ser homogéneo, conformado por el conjunto sintético de dos (2) o más materiales. Se trata de un elemento de refuerzo (fibra de vidrio) y un elemento fijador (resina) para obtener las características específicas y las propiedades deseadas. La resina y la fibra de vidrio deben ser compatibles desde el punto de vista químico. La resina deberá ser termoestable y podrá ser un poliéster tipo isoftálica o Ester vinílica, acrílico modificado, epóxica, fenólica o uretano.

Los hilos de fibra de vidrio deberán cumplir con la clasificación ASTM tipo E de material homogéneo a base de silicio aluminio, propio para la fabricación de uso eléctrico.

La fibra de vidrio debe ser de grado eléctrico E, según lo establecido en la ASTM D578, a continuación se presentan los porcentajes de componentes químicos en la elaboración de los cruceros de fibra de vidrio.

Composición química	% por peso.
B ₂ O ₃	5 a 10
CaO	16 a 25
Al ₂ O ₃	12 a 16
SiO ₂	52 a 56
MgO	0 a 5
Na ₂ O y K ₂ O	0 a 2
TiO ₂	0 a 8
Fe ₂ O ₃	0.05 a 0.4
Fluorina	0 a 1.0

Tabla 11. Composición del crucero de fibra de vidrio.

También se aceptará la composición E CR libre de boro, que es una modificación del grado E para ser resistente a la corrosión y ácidos húmedos.

Cuando exista otro tipo de fibra diferente a la de vidrio esta debe ser lo suficiente ensayada y aprobada por más de tres años. El crucero podrá ser fabricado por dos métodos:

Proceso de Pultrusión: Donde los hilos de fibra de vidrio son halados a una tensión constante y trefilados a través de un baño de resina, siendo los hilos de fibra completamente saturados de resina.

Laminación por Enrollamiento: Donde la porosidad debe ser controlada. Los cruceros deben ser fabricados con eje rectilíneo, sin enmendaduras.

La parte interna del crucero o brazo será hueca y deberá tener un relleno de poliuretano u otro compuesto para evitar el ingreso de humedad, agua, animales e insectos. Este relleno debe aumentar ligeramente el peso del crucero.

El material del crucero debe ser totalmente reciclable de acuerdo con lo especificado en las siguientes normas:

- ISO Guide 64 (1997) Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards.
- IEC 6109 Environmental aspects Inclusion in electrotechnical product standards.

- ASTM D 5033 Standard Guide for Development of ASTM Standards Relating to Recycling and Use of Recycled Plastics.
- ASTM D5834/95 Standard Guide for Source Reduction, Reuse, Recycling, and Disposal of Solid and Corrugated Fiberboard (Cardboard).

Dimensiones.

El crucero será de sección transversal rectangular de 100 mm * 115 mm. Las longitudes de los cruceros serán de 1000, 1500, 2400 y 3600 mm. Para el alumbrado público se utilizará un brazo de sección circular con un diámetro de 1 ½" (38 mm) y 2" (51 mm).

Aspectos mecánicos y térmicos.

El crucero o brazo compuesto deberá ser adecuado para soportar la carga de tensión ejercida por los conductores ACSR, ACSR/AW, cable cubierto, cable aéreo aislado o AAAC y los cables cubiertos del sistema de distribución de energía tanto en sistemas mecánicamente balanceados como no balanceados.

Los requisitos mecánicos y térmicos de los cruceros serán de acuerdo con las condiciones reales de montaje (según el tipo de perno porta aislador) y las características de los materiales y producto; según las diferentes normas ASTM.

Deberá ser resistente a los rayos solares, a la humedad y a la lluvia. La superficie debe ser lisa y auto limpiante con el fin de evitar la acumulación de la suciedad. Debe ser resistente a la llama que se puede producir como consecuencia de las descargas atmosféricas.

El peso deberá ser como máximo la tercera parte de la correspondiente en crucero de madera o la mitad de la correspondiente en material metálico. El relleno debe ser uniforme y compacto de tal manera que cuando se perfore el crucero en el montaje toda la parte superficial interna del hueco debe quedar lisa y uniforme.

El crucero no debe sufrir talladuras de las arandelas de presión, tuercas y tornillos que se utilicen en la fijación de los diferentes elementos. Los requisitos mecánicos serán de acuerdo con lo establecido en la regla 252 "Loads on line supports" del NESC ANSI/IEEE C2.

Deberá resistir una carga vertical mínima hacia abajo de 340 kgf con una deflexión máxima de 63 mm simulando las condiciones de trabajo.

Deberá resistir a una temperatura de 50°C, una carga vertical mínima en un extremo hacia abajo con 340 kgf y no debe presentar deflexión de más de 70 mm, de acuerdo con el montaje en el terreno.

No debe existir rotura a carga máxima, donde la carga máxima es superior a 1021 kgf.

Eléctricas.

El material debe ser eléctricamente no conductivo. No deberá permitir corrientes de fuga a voltajes de 13.2 kV y 23 kV.

El método de ensayo se hará según la norma ASTM D149 ó 257. Se harán pruebas de diseño para determinar las características eléctricas del crucero.

Los ensayos serán de tensión en corriente alterna tanto en condiciones secas como en húmedas y de impulso en condiciones secas. Los ensayos se realizarán a montajes similares a los que se utilizan en el terreno con y sin aisladores tipo suspensión y/o tipo pin para 13.2 kV y 23 kV y con conductores desnudos o tubos metálicos. Las normas para estos ensayos serán de acuerdo con lo indicado en la norma IEEE4 y la norma ANSI C29.1.

Los ensayos en corriente alterna son para determinar el comportamiento de los aisladores en cruceros no conductivos. El BIL de los cruceros debe ser mínimo de 300 kV. Para la pruebas en AC seco o húmedo se aplicará el voltaje según el nivel de tensión de los aisladores para 13.2 kV ó 23 kV.



Figura 11. Crucero de fibra de vidrio instalado en poste de madera.

2.6.2.1 NORMAS PARA LA CONSTRUCCION DE CRUCEROS DE FIBRA DE VIDRIO

- ASTM D256 Standard test method for determining the izod pendulum impact resistance of plastics.
- ASTM D790 Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.
- ASTM D 638 Standard test method for tensile properties plastics.
- ASTM D 2444 Standard test method for determining of the impact resistance of thermoplastic pipe and fittings by means of a tup (falling weight).
- ASTM D149 Test method for dielectric break down voltage and dielectric strength of solid electrical insulating materials at commercial power frequencies.
- ASTM D648 Standard test method for deflection temperature of plastic under flexure load in the edgewise position.
- UL94. Test for flammability of plastic materials for parts in device and appliances
- ASTM F711 Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) rod and tube used in live line tools.
- ANSI 05.3 Solid Sawn - Wood crossarm and braces Specifications and dimensions
- ASTM G154 Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials.
- IEEE 4 IEEE Standard techniques for highvoltage testing.
- ASTM D 6272 Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four Point Bending¹
- ASTM 2583 Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor¹.

Los estudios han indicado que un metro de madera o de fibra de vidrio agregan aproximadamente 330 – 500 kV a la resistencia al impulso del aislamiento total. Para longitudes superiores, la capacidad de aislamiento tipo rayo del crucero de madera o de fibra de vidrio y la combinación con el aislador están determinadas principalmente por el crucero de madera o de fibra de vidrio. El aislamiento de voltaje alterno se obtiene para el aislador solo y el crucero de madera o de fibra de vidrio se considera como aislamiento adicional para voltaje de descarga tipo rayo, por lo anterior mencionado podemos decir que los niveles de aislamiento de estos cruces es muy alto lo cual agregan un nivel de confiabilidad mayor a las estructuras en caso de sufrir descargas atmosféricas sería lo más adecuado incluir este tipo de accesorios en la construcción de líneas en nuestro país las empresas y diseñadores deberían incluirlos dentro de sus diseños y así darle una nueva perspectiva de seguridad a las líneas a nivel nacional, el precio de uno de estos cruces es aproximadamente 3 veces el precio de un crucero de acero convencional por lo cual su valor andaría en un aproximado de \$194.75.

CAPÍTULO III. CONFIABILIDAD DE LÍNEAS

3.1 INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO

La confiabilidad de un sistema está ligada a su aptitud para mantener la continuidad de servicio en caso de falla de alguno de los componentes que lo conforman. Depende directamente de la fiabilidad de los equipos instalados en él y del tiempo de reparación de los mismos en caso de falla. Un sistema confiable debe garantizar la seguridad de las personas y de los procesos críticos ante cualquier eventualidad. Para medir la calidad de servicio entregado por las distribuidoras se comparan ciertos indicadores los cuales pueden ser globales o individuales de los cuales se detallan SAIFI Y SAIDI:

- a) **SAIFI**: Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema (interrupciones / usuarios del sistema / año).

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^N Usu_i}{Usu_T}$$

Donde:

N : Número de interrupciones ocurridas en el periodo de estudio.

i : Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N .

Usu_i : Número de usuarios afectados por la interrupción "i".

Usu_T : Número Total de Usuarios de la Empresa Distribuidora.

- b) **SAIDI**: Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema (horas/ usuarios del sistema / año).

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^N (Dur_i Usu_i)}{Usu_T}$$

N : Número de interrupciones ocurridas en el periodo de estudio.

i : Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N .

Dur_i : Duración de la interrupción "i".

Usu_i : Número de usuarios afectados por la interrupción "i".

Usu_T : Número Total de Usuarios de la Empresa Distribuidora.

A continuación se muestra el resumen del año 2015 de una empresa de Distribución del país. SIGET, en su documento Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución establece los límites de cada indicador el cual debe ser: SAIFI=8; SAIDI=15, para el sector Urbano y SAIFI=16; SAIDI=30 para el sector Rural.

Podemos observar que para el año 2015 esta compañía Distribuidora anda dentro de lo permitido.

ÍNDICE DE FRECUENCIA DE INTERRUPCIÓN PROMEDIO DEL SISTEMA(SAIFI)

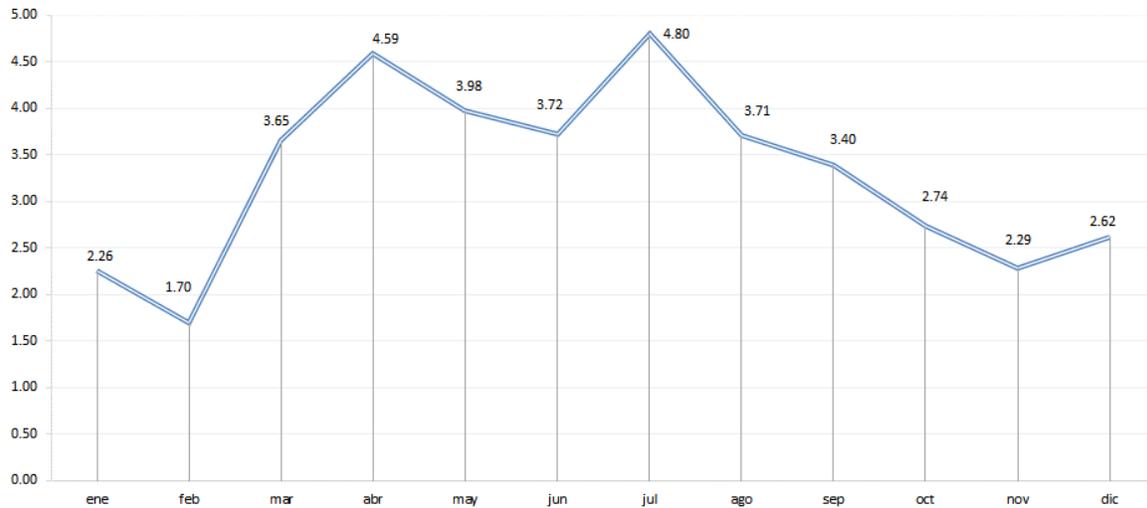


Gráfico 1. SAIFI de empresa Distribuidora.

ÍNDICE DE DURACIÓN DE INTERRUPCIÓN PROMEDIO DEL SISTEMA (SAIDI)



Gráfico 2. SAIDI de empresa Distribuidora.

Dentro de la Universidad de El Salvador, la causa más frecuente de fallas es por contacto animal y vegetación. No se cuenta con un registro de ellas con el cual se pueda determinar con exactitud el valor de los parámetros anteriormente descritos.

3.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La descarga atmosférica es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Las cargas en las nubes crean campos fuertes, de manera que cuando se exceden los campos de niveles críticos de 30 KV/cm se inicia la ionización del aire y da lugar a la descarga o arco eléctrico.

La distribución de cargas, hace posible que se presenten descargas, ya sea: de nube a nube o de nube a tierra.

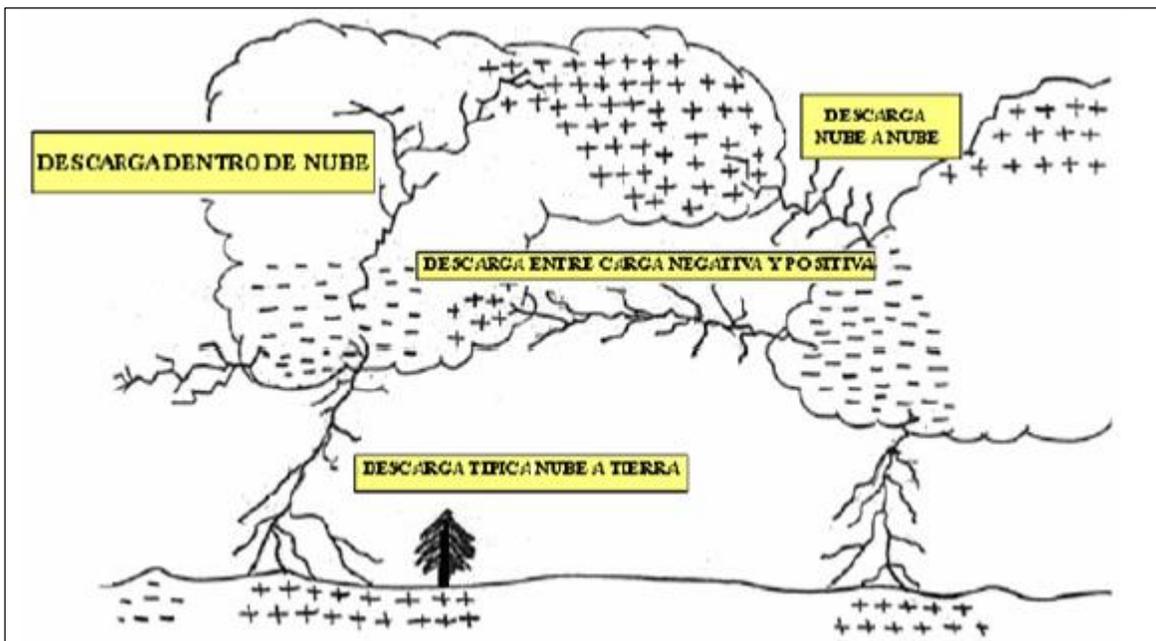


Figura 12. Tipos de descargas en tormentas.

La primera etapa de una descarga eléctrica a tierra es una pre-descarga de ionización, por lo general, luminiscente que se propaga de la nube al suelo. La velocidad media de propagación de esta pre-descarga tiene una magnitud de tiempo entre dos ondas sucesivas del orden de $0.15 \text{ m}/\mu\text{s}$ y la negativa que baja de la nube.

El encuentro entre la carga positiva proveniente del suelo se estima entre: 15 y 20 metros del nivel del suelo, produciéndose así el rayo.

3.3 ASPECTOS PRINCIPALES DE LA NORMA IEEE Std. 1410

De acuerdo a la norma IEEE Std. 1410, para conocer la densidad de descarga a tierra, se puede estimar a partir el nivel cerámico usando la siguiente ecuación:

$$Ng = 0.04 Td^{1.25} \text{ (descargas/km}^2\text{/año) Ec(2)}$$

Donde:

Td = Número de días de tormentas por año (nivel cerámico).

Ng = Es el número de rayos a tierra por Km² al año. Es un parámetro complementario al nivel cerámico que permite cuantificar la incidencia de rayos en la zona.

El promedio estimado de la densidad de descargas puede obtenerse directamente de los datos de detección de rayos de la red o de contadores de descargas. Si se dispone de datos por suficientes años, se tiene la ventaja de poder identificar variaciones regionales.

Para este documento se tomó como referencia los datos del mapa isocerámico elaborado en la Universidad de El Salvador, el cual fue realizado con una recolección de datos de 2 años en 32 puntos de observación en todo el país. Estos datos fueron registrados en el año 1995.

Para fines de especificaciones de equipos, en nuestro país tradicionalmente en la industria eléctrica salvadoreña se utiliza el valor de 125 días-trueno/año, lo que significa una densidad de descarga a tierra de 16.7 descargas/km²/año, de acuerdo a la ecuación (2).

3.3.1 VALORES DE CORRIENTE PICO

A fin de manejar la distribución probabilística de los valores pico de corriente en una forma simple, se adopta la siguiente expresión:

$$P(I_0 \geq i_0)\% = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{31}\right)^{2.6}} \text{ Ec(3)}$$

La ecuación (3) muestra la probabilidad de la corriente pico del rayo (I_0), sea igual o mayor que un valor dado de i_0 [kA].

Para poder tener una idea más clara del comportamiento de la probabilidad versus la intensidad de corriente, hay que ver la siguiente gráfica, la tendencia de la intensidad de corriente es inversamente proporcional a la probabilidad que una descarga tenga esa intensidad.

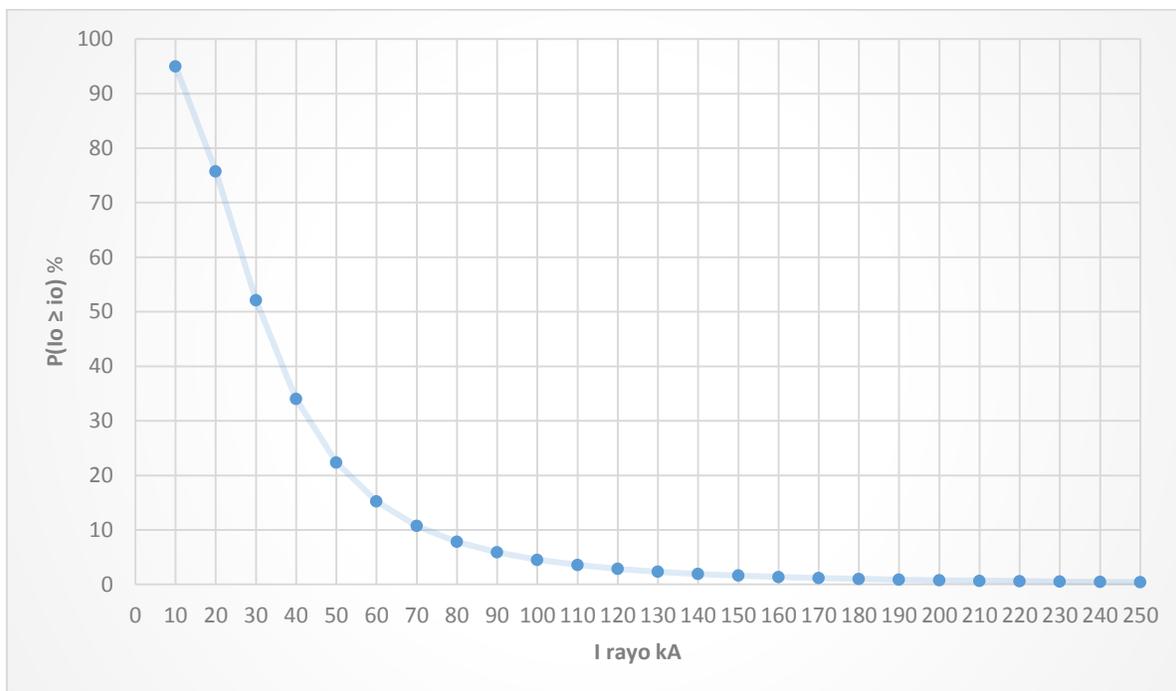


Gráfico 3. Probabilidad vs Intensidad de corriente.

3.3.2 INCIDENCIAS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN EL SALVADOR

El nivel cerámico se mide por medio de la observación particular en la que simplemente se determinaba si en un día se había escuchado alguna descarga atmosférica en cada región. La densidad de rayos a tierra, es medida mediante los localizadores terrestres de rayos y representa con mayor exactitud la actividad de rayos en cada zona particular.

Los datos de la tabla fueron obtenidos del mapa isocerámico elaborado por la Universidad de El Salvador.

Departamento	Nivel cerámico (Td)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
SANTA ANA	133	74	96.25
AHUACHAPAN	84	74	77.67
SONSONATE	133	74	91.8
LA LIBERTAD	104	71	85.25
CHALATENANGO	133	64	90.62
SAN SALVADOR	75	75	71
CUSCATLAN	71	64	68.67
CABANAS	90	64	75
LA PAZ	75	64	71
SAN VICENTE	75	64	70.25
USULUTAN	109	71	88.6

SAN MIGUEL	116	71	900.5
MORAZAN	120	71	90.5
LA UNION	109	71	86.86

Tabla 12. Datos ceraúnicos por departamento.

NACIONAL	TD	Ng
Máximo	133	18.07
Mínimo	67	7.67
Promedio	86	10.47

Tabla 13. Promedio ceraunico nacional.

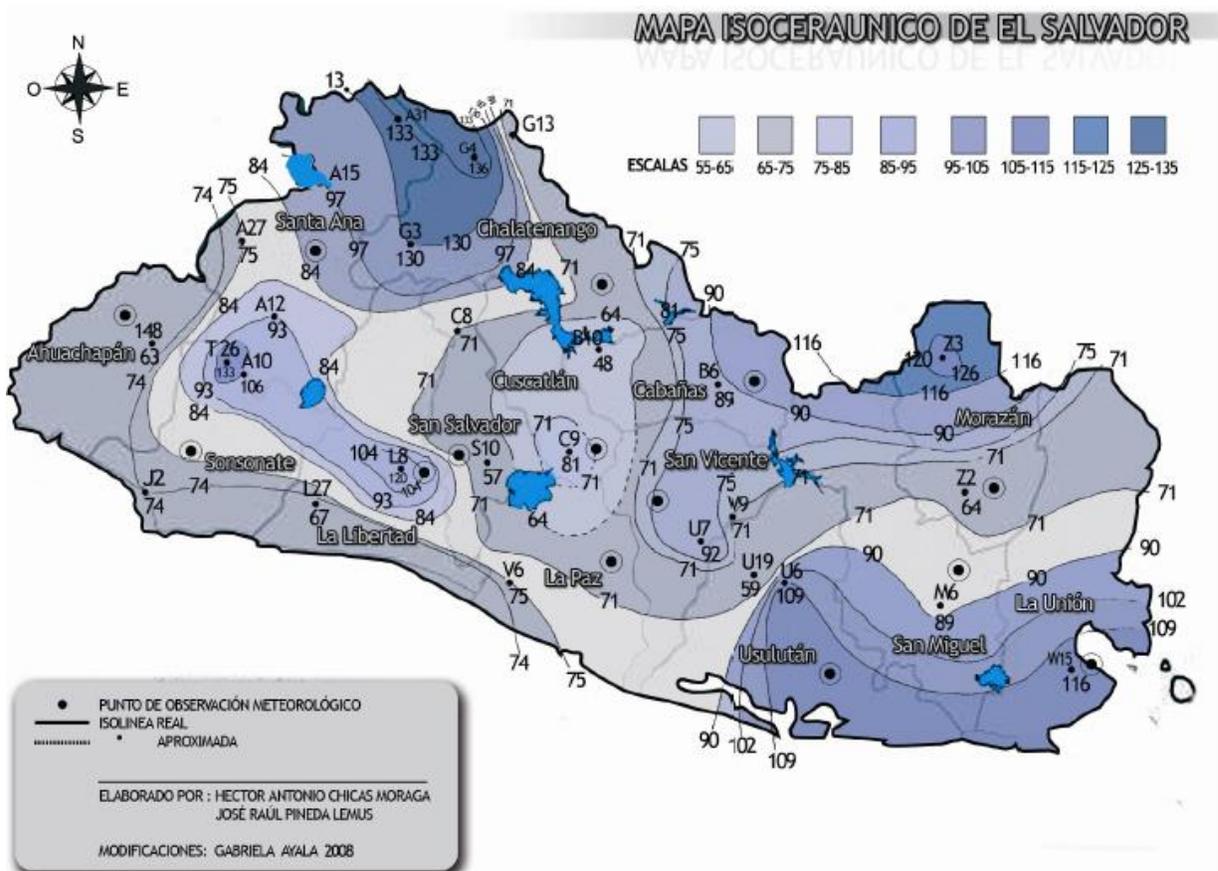


Figura 13. Mapa isoceraúnico de El Salvador.

3.3.3 DESCARGAS DIRECTAS

Se denomina descarga directa a la que se produce en caso de tormenta entre nube y nube o entre nube y tierra está asociado a que impacta directamente sobre la línea generando sobre tensiones, por las elevadas intensidades y por su pequeñísima duración.

Las descargas directas sobre líneas de distribución de energía generan contorneos de aislamientos en la mayoría de los casos. Por ejemplo, un rayo tan pequeño como de 10 KA podría producir una sobretensión de cerca de 2000 KV, la cual está excesivamente distante de los niveles de sobretensión de líneas que operan hasta 69 KV. Sin embargo, la experiencia y las observaciones muestran que muchas de las salidas relacionadas con las descargas tipo rayo de las líneas de bajo aislamiento son ocasionadas por rayos que chocan con tierra en las proximidades de la línea.

En el caso de que exista una estructura en campo abierto (sin árboles o edificios cercanos) la ecuación (4) que determina la cantidad de rayos por cada 100 Km, puede utilizarse la siguiente expresión dada por Eriksson.

$$N = N_g \left(\frac{28h^{0.6} + b}{10} \right) \text{ Ec(4)}$$

Donde:

h = Altura del poste (m).

b = Ancho de la estructura (m).

Ng = Densidad de descargas (rayos/km²/año).

N = descargas /100 km/año.

Ejemplo 1: Calcular N con las siguientes alturas de poste de 10.2 m. y 11.50 m. considerando un Ng de 8.82 descargas/100 km / año y un crucero metálico de 2.38 m para ambos casos.

$$N = 8.82 \left(\frac{28 * 10.2^{0.6} + 2.38}{10} \right) = 101.6 \text{ descargas/100km/año}$$

$$N = 8.82 \left(\frac{28 * 11.50^{0.6} + 2.38}{10} \right) = 109.12 \text{ descargas/100km/año}$$

De la ecuación (4) cuando la altura del poste aumenta un 20% la tasa de los rayos sobre la línea de distribución aumenta un 12%.

3.3.4 DESCARGAS INDIRECTAS

Muchas de las tensiones inducidas por rayos en líneas de distribución que terminan cerca de la línea son inferiores a 300 KV. Los rayos pueden ser recolectados por objetos muy altos, de tal modo que la altura y la distancia de la línea de distribución a puntos de resguardo tales como árboles y edificios tendrá influencia en el comportamiento de la línea ante las descargas tipo rayo. De acuerdo a Rusck, la máxima tensión que puede ser inducida en una línea de energía en el punto más cercano al rayo puede estimarse por:

$$V_{max} = 38.8 \left(\frac{I_o * h_a}{y} \right) \text{ Ec(5)}$$

Donde:

I_o = Corriente pico de la descarga.

h_a = altura promedio de la línea sobre el nivel de tierra.

y = distancia más corta entre la línea y la descarga tipo rayo.

La ecuación (5) es utilizada para un conductor simple, infinitamente largo sobre una tierra perfectamente conductora. Un cable neutro a tierra o un cable de guarda reducirán la tensión a través del aislamiento por un factor que depende de las puestas a tierra y de la proximidad del cable de tierra a las fases conductoras. Para el caso de un sistema aterrizado ya sea por cable de guarda o neutro aterrizado (según la conexión de transformador), la frecuencia del contorneo tiende a reducir comparado con los sistemas no aterrizados o con una sola puesta a tierra. Los valores están normalizados para una densidad de descargas de 1 falla/km²/año y una altura de la línea de distribución de 10 metros.

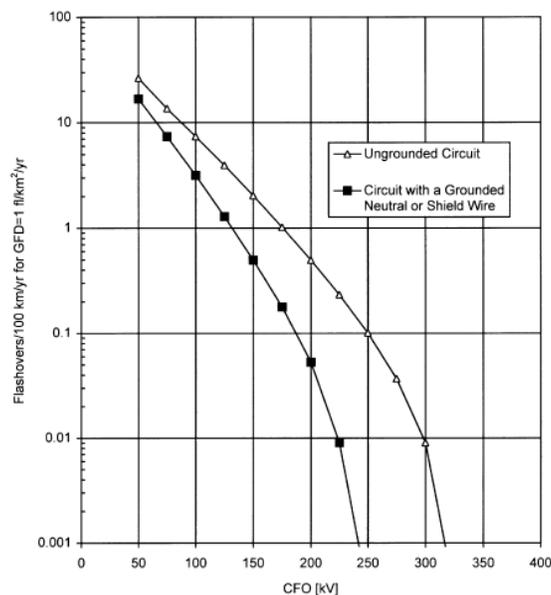


Gráfico 4. Número de flameos de tensiones inducidas vs el nivel de aislamiento de la línea de distribución (voltaje de flameo de impulso crítico CFO en kV pico).

El número de contorneos inducidos depende de la presencia de objetos cercanos que puede incrementar los fláneos por voltajes inducidos, debido a que ocurren muchas descargas en las áreas cercanas (árboles, edificios, torres o suelo).

En las líneas que se encuentran protegidas por objetos en la cercanías de estas, la mayor preocupación son los contorneos generados por las tensiones inducidas, las cuales son inferiores a 300 KV según mediciones en campo, pero si el voltaje (CFO) supera los 300 KV en las líneas de distribución la incidencia de contorneos generados por tensiones inducidas (ver gráfico 1) reducirá considerablemente.

Otro factor a considerar es que la mayoría de las líneas de distribución tienen transformadores de distribución protegidos con descargador de sobretension, los cuales proveen algún grado de reducción de los contorneos por tensiones inducidas. Sin embargo, esta reducción puede llegar a ser pequeño en centros rurales y suburbanos.

3.3.5 PROTECCIONES POR ÁRBOLES Y ESTRUCTURAS CERCANAS

Como ya se había mencionado anteriormente el medio que rodea una línea de distribución (en este caso llámese árboles, edificios, etc.) juegan un papel importante en cuanto a la protección de éstas, logrando que estos objetos alrededor, reciban la descarga evitando una descarga directa a la línea.



Figura 14. Línea protegida por árboles.

Existe un factor de protección (S_f), el cual permite calcular el número de descargas que aproximadamente alcanza a la línea de sub-transmisión y distribución.

$$N_s = N(1 - S_f) \text{ Ec(6)}$$

Un factor de protección cero significa que la línea de sub-transmisión y distribución está en campo abierto y que no dispone de objetos en la cercanías y un factor de 1 significa que la línea de sub-transmisión y distribución está completamente protegida contra descargas directas tipo rayo por objetos cercanos.

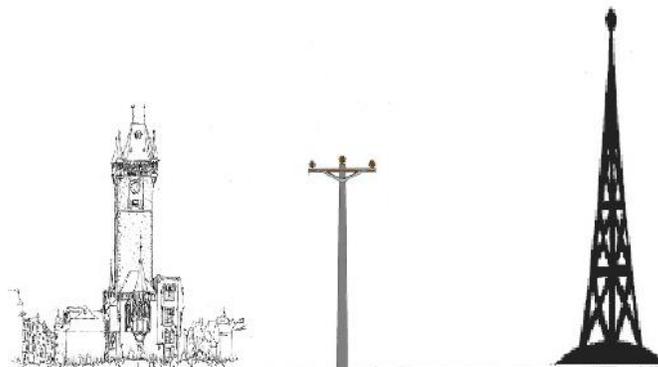


Figura 15. Línea desprotegida.

En la gráfica, se observa la forma de cómo poder obtener un valor aproximado del factor de protección con objetos de diferentes alturas, para el desempeño de una línea de distribución, exclusivamente de 10 metros de altura. Se asume que los objetos están en una línea uniforme y paralela a la línea de distribución. Se podría representar como una hilera de árboles o edificios paralelos a la línea de distribución.

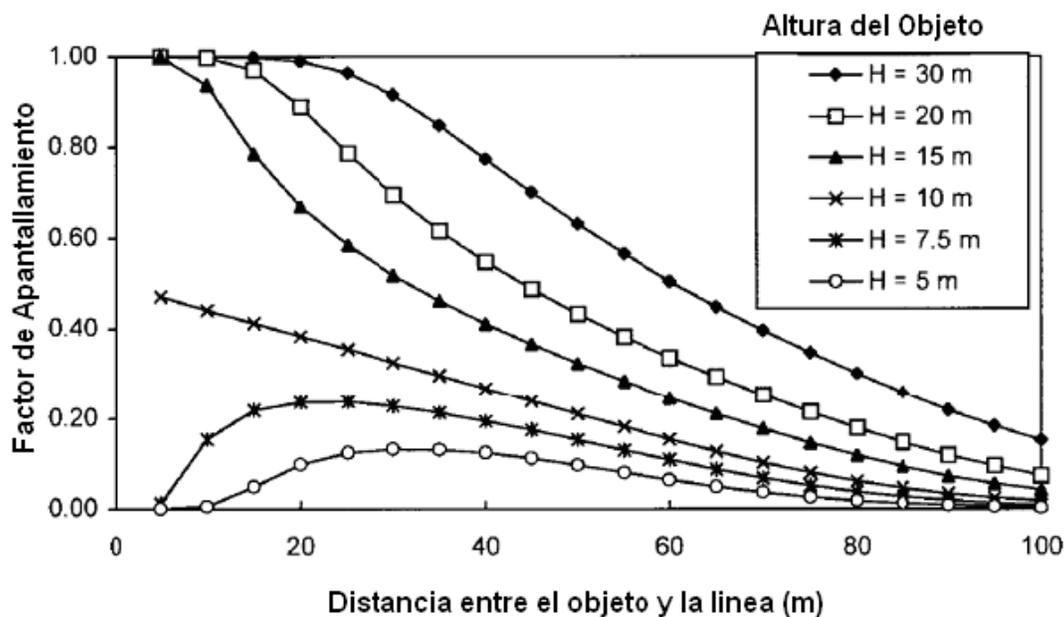


Gráfico 5. Factores de protección por cercanía de objetos de diferentes alturas para una línea.

Todas las descargas directas causaran flameo sin tener en cuenta el nivel de aislamiento, exceptuando las líneas que estén protegidas por descargador de sobre tensión y cables de guarda.

Por lo tanto, para estimar el número de contorneos debido a descargas atmosféricas directas, se utiliza la ecuación (4) para las líneas de distribución en campo abierto, y las ecuaciones (6) y (7) para las líneas que se encuentran parcialmente protegidas.

$$N_S = N(1 - (Sf_{izquierdo} + Sf_{derecho})) \text{ Ec(7)}$$

Ejemplo:

Tenemos una estructura de 10 m de alto, ancho de 2.34 m. con las siguientes condiciones:

- a) Una fila de árboles de 5.0 m de altura, 20 m a la izquierda
- b) Sin árboles ni otros objetos a la derecha.

Si consideramos el valor de Td = 50 días - tormenta / año.

Tenemos:

Calcular las descargas para estas condiciones.

$$N_g = 0.04 * Td^{1.25}$$

$$N_g = 0.04 * 50^{1.25}$$

$$N_g = 5.31 \text{ descargas/ km}^2/\text{año}$$

$$N = N_g \left(\frac{28h^{0.6} + b}{10} \right)$$

$$N = 5.31 \left(\frac{28 * 10^{0.6} + 2.34}{10} \right)$$

$$N = 60.43 \text{ descargas/100km/año}$$

$$N_S = N(1 - (Sf_{izquierdo} + Sf_{derecho}))$$

$$N_S = 60.43(1 - (0 + 0.1))$$

$$N_S = 54.387 \text{ descargas/ 100km /año}$$

El resultado nos demuestra que una línea con poco o nula protección por árboles u otro tipo de objetos está expuesta a las descargas directas.

3.3.6 SOBRETENSIONES

Se define como sobretensión a todo valor pico de voltaje mayor que el que se tiene en condiciones normales de operación en un equipo.

En nuestro país los sistemas de distribución están puestos a tierra según la tabla siguiente.

Voltaje (kV)	Referencia	Factor de falla a tierra
46	No aterrizado	1.73
34.5	Sólidamente aterrizado en la subestación	≈1.25
23	Sólidamente aterrizado	≈ 1.10
13.2	Sólidamente aterrizado	≈ 1.10
4.16	Sólidamente aterrizado	1.10

Tabla 14. Falla a tierra.

Las sobretensiones atmosféricas están caracterizadas por un frente de onda de algunos μs a pocas decenas de μs . Estas son causadas por descargas directas sobre los conductores de fase, por contorneos inversos o son inducidas a causa de descargas a tierra próximas a las líneas. En la gráfica 1.4 se puede observar un ejemplo típico de una sobretensión atmosférica.

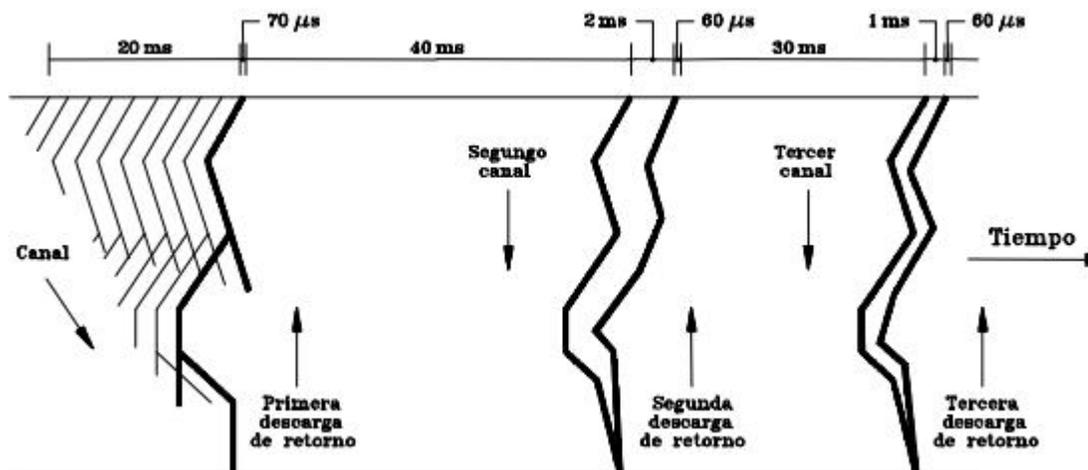


Figura 16. Fases de un Rayo.

Durante una descarga atmosférica a tierra el tiempo total de propagación es del orden de 70 μs la primera descarga de retorno produce un pico de corriente de 30 kA, todos estos valores son aproximados ya que podrían variar de acuerdo a la intensidad de la descarga.

Las descargas sobre conductores que producen contorneo directo o sobre estructuras o cables de guarda que producen contorneos inversos están asociadas a altos niveles de sobretensiones.

Los principales daños causados por las descargas atmosféricas en líneas de distribución afectan equipos como: Aisladores, transformadores de distribución, cortacircuitos y fusibles, interruptores de aceite, conductores de líneas.

Cuando un rayo es descargado en una línea de energía o en la proximidad de la línea, se produce una corriente de carga en dicho conductor lo cual genera una tensión que crece con el tiempo y tiene las características de una onda de choque (onda errante), posteriormente se desplazan con gran velocidad a lo largo de los conductores. Generalmente estas ondas tienen forma periódica con crecimiento rápido hasta el valor de pico, que después decrece lentamente. Debido a la resistencia propia del conductor, este produce un efecto de amortiguamiento la cual hace descender la onda errante gradualmente.

Es importante mencionar que cuando se produce una sobretensión sobre una línea de energía esta generará ondas errantes que viajarán en sentido opuestos, si en el transcurso se genera un cambio de impedancia característica se producirá una nueva onda ya sea mayor o menor variando de amplitud, que dependerá de la impedancia del otro conductor.

3.3.7 VOLTAJE DE FLAMEO DE IMPULSO CRITICO (CFO), DE UN AISLAMIENTO COMBINADO

Se ha determinado que en las líneas aéreas de distribución su aislamiento es más vulnerable en la estructura del poste que el aislamiento entre líneas.

Es por eso la necesidad de diseñar estructuras combinando elementos que puedan aumentar el voltaje de flameo de impulso crítico (CFO) como: la madera, fibra de vidrio, cerámica, entre otros.

Determinación del CFO de estructuras con aislamiento en serie

La sección 6.2 de la norma IEEE Std. 1410, indica que un metro de madera o fibra de vidrio agrega aproximadamente 330 - 500 kV, a la resistencia de impulso del aislamiento total. Para longitudes superiores, la capacidad de aislamiento del crucero de madera o fibra de vidrio y la combinación con el aislador están determinadas principalmente por el crucero de madera o de fibra de vidrio únicamente. El aislamiento de voltaje alterno se obtiene solo para el aislador y el crucero de madera o fibra de vidrio se considera como un aislamiento adicional para el voltaje de descarga.

Las trayectorias de una descarga a tierra en una estructura que tenga crucero de madera o fibra de vidrio reduce o elimina la trayectoria posible de contorno a través de ésta y se vuelve necesario conocer el CFO de uno o más elementos distintos a los cruceros de madera o fibra de vidrio, tal es el caso de los aisladores en serie los cuales no se hace por suma algebraica de los CFO individuales, pues intervienen una serie de factores, cada combinación de dos o más elementos tienen sus propios factores a considerar y se requiere un análisis individual.

Para dicho análisis de una estructura de distribución podemos utilizar el método del CFO-aditivo de la siguiente manera:

- a) Se realiza un estudio individual por cada componente que aporta CFO obteniendo de estos una suma total no algebraica.
- b) Conociendo el CFO que aporta cada elemento individualmente se obtiene una combinación.

Para determinar lo anterior, se deben de apoyar de tablas donde se especifiquen los CFO individuales y la combinación de estos, es decir, cuando un elemento es considerado como base y los demás adicionados, para esto el aislador es considerado como básico o primario.

VOLTAJE NOMINAL ENTRE FASES kV	CLASE ANSI	TENSION DE FLAMEO EN SECO Kv	TIPO DE AISLADOR	NUMERO DE AISLADORES A UTILIZAR
4.16	52-1	60	Suspensión	1
4.16	55-1	35	Espiga	
13.2	52-1	60	Suspensión	2
13.2	55-4	70	Espiga	
24.9	52-4	80	Suspensión	2
24.9	56-1	95	Espiga	
24.9	57-1	80	Poste	
34.5	52-4	80	Suspensión	3
34.5	56-3	125	Espiga	
34.5	57-2	110	Poste	
46	52-4	80	Suspensión	4
46	56-4	140	Espiga	
46	57-3	125	Poste	

Tabla 15. Aisladores típicos a utilizarse por voltaje típico de aplicación clase ANSI correspondiente.

El CFO total para dos componentes es:

$$CFO_T = CFO_{aislador} + CFO_{adic*2^{o}componente} \quad Ec(8)$$

Donde:

$$CFO_{aislador} = CFO \text{ del componente primario}$$

$CFO_{adic*2^\circ componente} = CFO \text{ del componente secundario}$

El VFIC total calculado para tres o más componentes es:

$$CFO_T = CFO_{aislador} + CFO_{adic*2^\circ componente} + CFO_{adic*3^\circ componente} + CFO_{adic*n \text{ comp}}$$

Donde:

$CFO_{adic*3^\circ componente} = CFO \text{ adicionado por el tercer componente}$

$CFO_{adic*n \text{ comp}} = CFO \text{ adicionado por el enesimo componente}$

Los valores de CFO individual y el adicionado de los componentes más utilizados en distribución están dados en las tablas (16,17 Y 18)

Aisladores		kV
Tipo espiga	ANSI 55-4	105
	ANSI 55-5	120
	ANSI 55-6	140
Porcelana tipo suspensión	1. 10.2 cm(4")	75
	2. 10.2 cm(4")	165
	3. 10.2 cm(4")	250
Aislamiento		kV/m
Aire		600
Poste madera		330
Crucero madera		360
Poste integral de fibra de vidrio		500

Tabla 16. CFO Aislamiento primario (aislador).

Segundo componente	Con componente de	kV/m
Crucero de madera	Aislador tipo pin vertical	250
Crucero de madera	Aislador de suspensión vertical	160
Crucero de madera	Aislador de suspensión horizontal	295
Poste de madera	Aislador tipo pin vertical	235
Poste de madera	Aislador tipo suspensión	90
Crucero de fibra de vidrio	Aislador	250
Poste integral de fibra de vidrio	Aislador	315

Tabla 17. CFO adicionado a segundos componentes.

	kV/m
Poste de madera	65
Poste integral de fibra de vidrio	200

Tabla 18. CFO adicionado a terceros componentes.

Para tablas 16, 17 y 18

- 1- Todos los valores son para CFO en húmedo.
- 2- Los valores corresponden a los mínimos de polaridad positiva o negativa.
- 3- Los aisladores se muestran como ejemplo solamente. Para valores más exactos refiérase a los datos del fabricante.

Los valores dados en las tablas anteriores, se refieren a condiciones húmedas las cuales son recomendadas para estimar el valor de CFO. Para valores de CFO bajo condiciones secas suministradas por el fabricante o tomadas de pruebas de impulso de un laboratorio, multiplique el CFO por 0.8 para obtener un valor estimado del CFO en condiciones húmedas. El CFO en condición húmeda está típicamente entre 0.7 y 0.9 del CFO en condiciones secas.

Para elementos que no están dentro de las tablas podemos considerar.

$$CFO_{adic*2^{o}componente} = 0.45 CFO_{aislador} \quad Ec(9)$$

$$CFO_{adic*3^{o}componente} = 0.20 CFO_{aislador} \quad Ec(10)$$

El método del CFO - aditivo extendido y las tablas tienen un $\pm 20\%$ de error; para datos más exactos se deberán efectuar pruebas de laboratorio de las estructuras en estudio bajo condiciones húmedas o secas o según sea el clima a instalar la estructura.

3.3.8 HOJA DE CALCULO IEEE STD-1410

Para poder determinar el desempeño de una línea de distribución de energía se hizo uso de una herramienta de cálculo con la cual se determinara el desempeño, evaluar las variaciones de las redes modificando criterios como el uso del cable de guarda, cruceros de madera etc. A continuación se presentan datos obtenidos con esta hoja de cálculo con diferentes tipos de aisladores:

CUADRO COMPARATIVO IEEE 1410					
COMPONENTES				RESULTADOS (flameos/100km/año)	
1er. COMP	2do. COM	3er. COM	CFO acumulado	Circuito SIN neutro	Circuito CON neutro
ANSI 56-1	-	-	150 kV	66.87	16.72
ANSI 56-1	Crucero de madera	-	300 kV	0.22	0
ANSI 57-3	-	-	210 kV	13.37	0.67
ANSI 57-3	Crucero de madera	-	360 kV	0	0

Tabla 19. Simulación usando hoja de cálculo IEEE 1410.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
 TRABAJO DE GRADUACION

'PROPUESTA TECNICA Y ECONOMICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DE LINEAS ELECTRICAS'

CKTO:	1			
Voltaje de Línea:	23	KV		
Longitud de línea:	5	Kms		
Distancia de vano:	40	m.		
Departamento:	San Salvador			
Municipio:	San Salvador			
Nivel Cerámico:	125	días-trueno/año		
Altura del poste:	10.2	m.		
Ancho de la Estructura:	2.4	m.		
Factor de Apantallamiento (Sf):	0.7			
1er. Comp. (CFO):	ANSI 57-3	210	kV	
2o. Comp. (CFO):	Crucero de madera	250	kV/m	
3er. Comp. (CFO):	Ninguno	0	kV/m	
Espaciamento de pararrayos:	8			
Resistencia a tierra:	50	Ohms		
TOTAL CFO ACUMULADO:	360	KV		

DESCARGA DIRECTA:	
Ng =	16.72 Rayos/Km ² año
N =	192.60 Rayos/100 km/ año
N por vano =	0.08 Rayos/0.040 km/ año
PARA UN FACTOR DE APANTALLAMIENTO Sf= 0.7	
Ns =	57.78 Rayos/100 km/ año
Ns por vano =	0.023 Rayos/0.04 km/ año

CIRCUITO SIN NEUTRO:		0.09	Flameos/100 Km/ año
CIRCUITO CON NEUTRO:		0.05	Flameos/100 Km/ año
ESPACIAMIENTO: Sin Neutro=		0.09	Flameos/100 Km/ año

TABLA RESUMEN.		
DESCARGAS DIRECTAS:	18.74	Rayos/ 100 Km/ año
TOTAL DE FALLAS: DIRECTAS + INDIRECTAS		
SIN CABLE GUARDA:	57.87	Fallas/ 100 Km/ año
CON CABLE GUARDA:	18.79	Fallas/ 100 Km/ año

Figura 17. Hoja de Cálculo IEEE 1410.

3.4 VEGETACION EN LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

3.4.1 INVENTARIO DE ARBOLES

Se realizó una prueba piloto para determinar el tipo de vegetación dentro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura esta consiste en realizar un recorrido de línea tomando datos sobre la vegetación que afecta la red eléctrica identificando los puntos de poda normal y poda crítica.

Tomamos como base la sección 12 Instalación y Mantenimiento de Equipos artículo 124 del NESC [14] para determinar algunos de los criterios en relación al mantenimiento y poda de la línea.

- Si las ramas del árbol están dentro de un radio de 177 mm (para 25 kV según tabla 124-1 NESC) se considera como una poda crítica pero de lo contrario una poda normal.

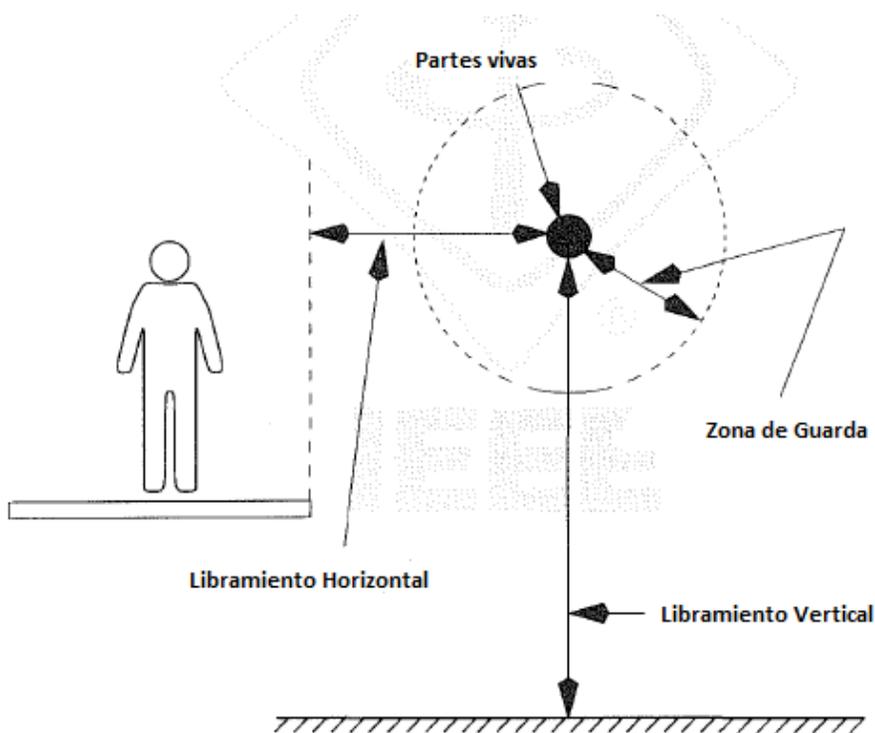


Figura 18. Libramiento para partes vivas.

- Despejar 3 metros, si las ramas se aproximan por ambos lados y/o por la parte superior e inferior de cable primario. En aquellos casos en que la línea se bifásica o trifásica se tomara la distancia a partir de las líneas externas.
- Despejar 3 metros, si las ramas se aproximan por la parte superior o por los lados de la línea secundaria; y mantener 1.25 metros si se aproxima por la parte inferior del cable.

- En el caso en que no haya cable secundario, se deberá despejar 1.25 metros por debajo del cable neutro y 3 metro a ambos lados de este.

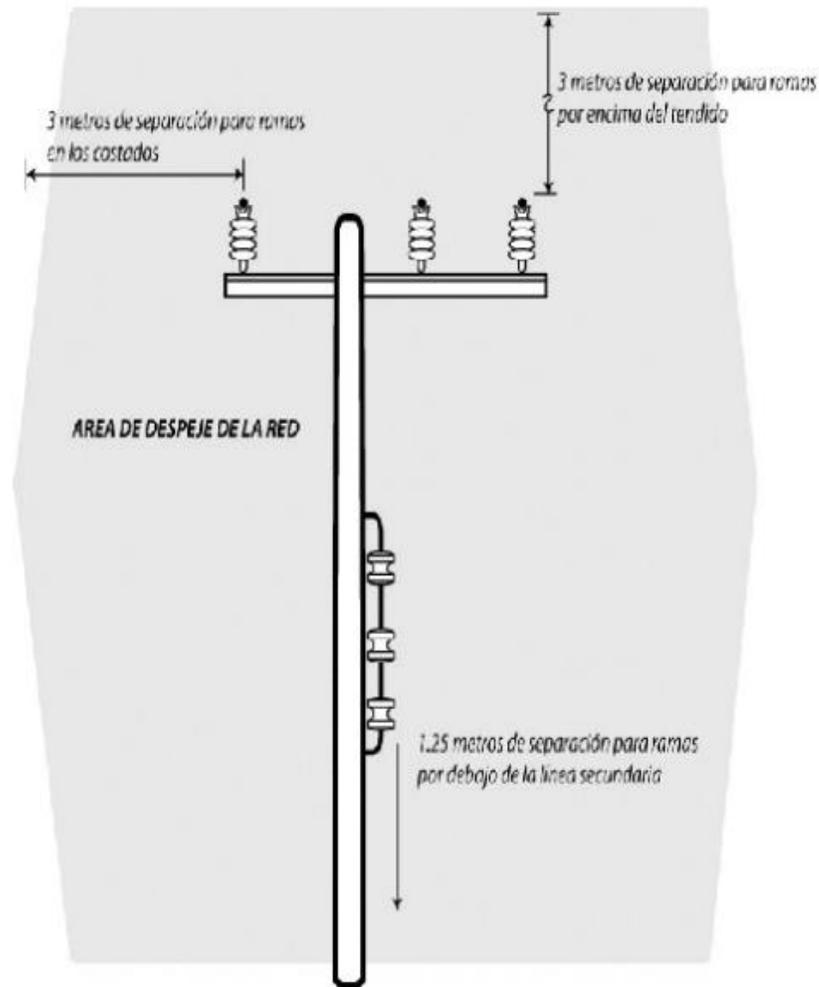


Figura 19. Criterio de mantenimiento de distancias mínimas [3].

Por el conocimiento básico de los árboles en algunos casos no se presenta su nombre común, se contabilizaron 21 árboles que afectan directamente la línea y transformadores se contabilizó una poda lineal de 89 metros, dos puntos de riesgo ubicado en los arboles A1 y A12, 5 puntos con poda crítica, como ya se tenía caracterizada la red se hizo uso de estos detalles para poder mostrar de una manera más clara los puntos inspeccionados, el inventario fue realizado el día lunes 03 de Octubre de 2016, se muestra también el plano a detalle de este recorrido. En el ANEXO D se muestran imágenes de puntos afectados en la facultad de Ingeniería y Arquitectura.



Figura 20. Puntos de riesgo y poda.

Árbol	Coordenadas		Tipo de Poda	Comentario
	Latitud	Longitud		
A1	13.720703	-89.203233	Punto de riesgo	Árbol con posibilidades de caer
A2	13.720339	-89.202428	Poda critica	Árbol a altura de neutro
A3	13.720514	-89.202267	Poda critica	Árbol y arbustos en contacto con SE
A4	13.720603	-89.202158	Poda critica	Árbol creciendo bajo la línea
A5	13.720631	-89.201569	Poda normal	Árbol a 1m de SE
A6	13.720908	-89.201417	Poda normal	Árbol con ramas sobre la línea
A7	13.721006	-89.201344	Poda normal	Árbol creciendo a 2m de poste
A8	13.721461	-89.201272	Poda critica	Árbol creciendo bajo la línea.
A9	13.721583	-89.201278	Poda critica	Árbol en contacto con transformador
A10	13.721447	-89.201133	Poda normal	1m sobre la línea
A11	13.721419	-89.200867	Poda normal	Árbol creciendo a 1m de poste
A12	13.721439	-89.200728	Punto de riesgo	Árbol con posibilidades de caer
A13	13.721442	-89.200556	Poda normal	Árbol cerca de transformador
A14	13.721331	-89.199933	Poda normal	Árbol creciendo bajo línea.
A15	13.720094	-89.200081	Poda normal	Árbol creciendo bajo la línea 1m
A16	13.719556	-89.200311	Poda normal	Ramas 1m sobre la línea
A17	13.719344	-89.200656	Poda normal	Ramas a 1 m sobre la línea
A18	13.719606	-89.200717	Poda normal	Árbol a 1.5m de transformador
A19	13.719508	-89.200731	Poda normal	Ramas a 2m de línea
A20	13.719589	-89.201028	Poda normal	Árbol a 1m de poste
A21	13.719403	-89.201183	Poda normal	Árbol a 1.5m de poste

Tabla 20. Número de árboles identificados en el recorrido.

CAPITULO IV. PROPUESTAS DE MEJORA

4.1 LINEA INTERNA UES

La Universidad de El Salvador cuenta con tres acometidas principales que están ubicadas en las entradas de la Facultad de Humanidades, Polideportivo y Agronomía todas con un voltaje primario de 23kV, la longitud total de la línea es de 4.349 km dividido de la siguiente manera: Humanidades 1.151 km, Polideportivo 1.57 km y Agronomía 1.682 km. La potencia total instalada dentro de la Universidad es de 10.621 MVA, distribuido de la manera siguiente Humanidades 2.48 MVA, Polideportivo 2.897 MVA y Agronomía 5.244 MVA, se presentan los correspondientes diagramas unifilares de cada acometida.

4.1.1 DIAGRAMA UNIFILAR UES

Para la elaboración del diagrama unifilar se hizo uso de AutoCAD (ver Anexo B) agregando las coordenadas correspondientes para poder montar el diagrama en Google Earth y tener una imagen más clara de la línea interna de la Universidad.

4.1.2 DIAGRAMA UES VISTO DESDE GOOGLE EARTH

Con la elaboración del diagrama en AutoCAD y el levantamiento GPS que realizamos dentro del Campus, se facilitó el montar dicho diagrama en Google Earth, a continuación se muestra dicho diagrama haciendo uso de esta herramienta.



Figura 21. Diagrama unifilar UES.

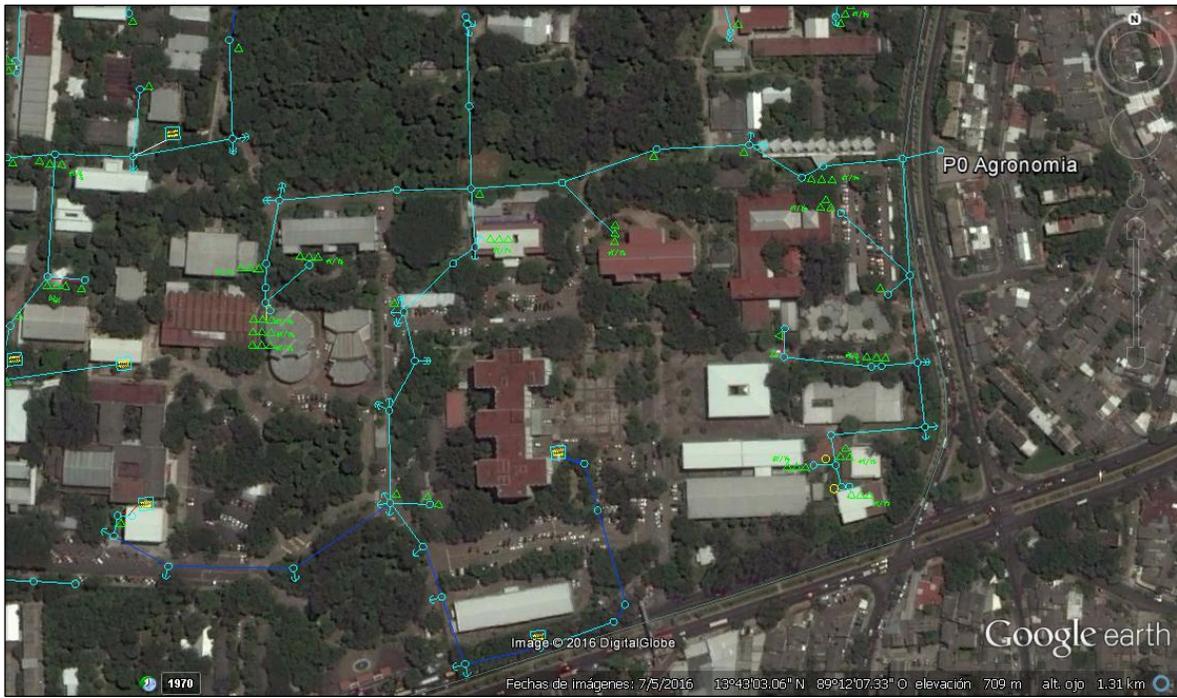


Figura 22. Acometida Agronomía.

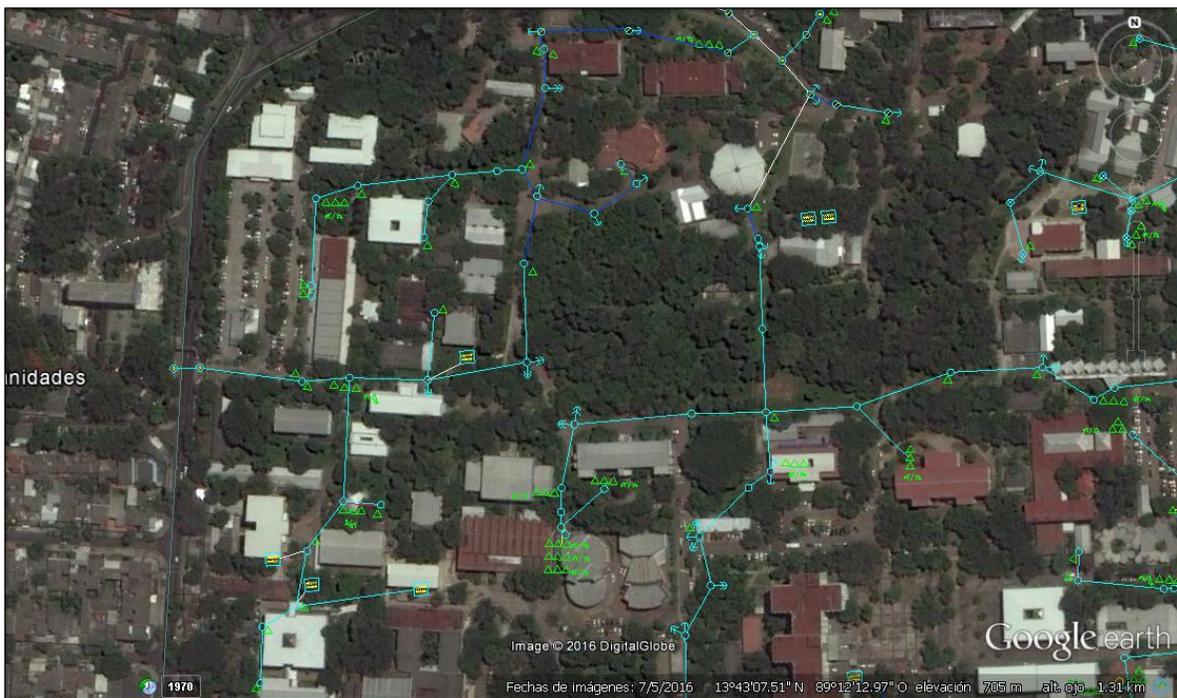


Figura 23. Acometida Humanidades.



Figura 24. Acometida Polideportivo.

4.1.3 PROBLEMAS DE CONTAMINACION

Dentro y en los contornos de la Universidad de El Salvador no hay ningún punto grave de contaminación por lo tanto se puede asumir un nivel medio, en cuanto la red eléctrica interna lo que puede afectar su funcionamiento es el polvo en los aisladores para lo cual se plantea el cambio de aisladores ANSI 56-1 por un aislador tipo line post de porcelana ANSI 57-3, en un aislador tipo line post, las distancias de fuga y de arco se obtienen tomando en cuenta la altura del aislador más la longitud de las faldas que son pequeñas y robustas, mientras que en un aislador tipo pin las faldas son más largas y frágiles existe una diferencia de más de 200% en esta distancia de fuga. Además, el perfil relativamente bajo de los aisladores line post favorece la limpieza de los mismos, por medio del viento y la lluvia, dificultando la acumulación de contaminantes. La distancia de arco es casi la misma que la del espesor del dieléctrico en un aislador tipo line post, lo que no sucede en un aislador tipo pin, haciéndolo más vulnerable a la acción de las descargas atmosféricas, por lo tanto el uso de este tipo de aisladores ayudara a evitar los pequeños rastros de contaminación que puedan generarse.

TIPO DE AISLADOR	DISTANCIA DE FUGA (mm)	DISTANCIA DE ARCO (mm)	FLAMEO CRITICO AL IMPULSO POSITIVO
ANSI 56-1	330	178	150
ANSI 57-3	750	311	214

Tabla 21. Comparación entre aisladores.

4.1.4 DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE CONDUCTORES Y EVITAR LOS PROBLEMAS POR VIENTO

Los conductores y cables en soportes fijos (con aisladores rígidos) deben tener una distancia horizontal en sus soportes no menor que el mayor de los valores obtenidos según los subincisos 1) y 2) siguientes. Estas distancias no aplican si son cables aislados o bien si son conductores cubiertos de un mismo circuito.

- 1) Distancia Horizontal mínima: La distancia horizontal entre conductores y cables, ya sean del mismo o de diferente circuito, no debe ser menor que la especificada en la Tabla que a continuación se presenta.
- 2) Distancia de acuerdo a la flecha: La distancia horizontal entre soportes de conductores y cables, ya sean del mismo o de diferente circuito, no debe ser menor que el valor dado por las fórmulas 1 y 2. En caso de que el valor obtenido de la Tabla siguiente sea mayor, debe usarse ese valor, excepto para conductores y cables del mismo circuito con tensión mayor de 50 kV

Fórmula 1. Para conductores y cables de área transversal menor de 33.6mm^2 (No. 2 AWG)

$$S = 7.6 * (kV) + 20.4\sqrt{f - 610} \text{ Ec(11)}$$

Fórmula 2. Para conductores y cables de área transversal mayor o igual a 33.6mm^2 (No. 2 AWG)

$$S = 7.6 * (kV) + 8 * \sqrt{2.12 * f} \text{ Ec(12)}$$

En donde:

S = distancia en mm

KV = Tensión entre los dos conductores y cables para los que se calcula la distancia

f = Flecha aparente en mm, del conductor de mayor flecha en el vano.

A continuación se presenta una tabla resumen de los valores obtenidos por medio de la utilización de las formulas anteriormente mostrada con lo cual podemos comprobar que las distancias utilizadas entre conductores dentro del campus Universitario son adecuadas, por lo tanto evitamos así los problemas causados por viento.

Tensión nominal entre fases KV	S en m (Fórmula 1)					S en m (Fórmula 2)				
	Para flecha "f" en m de:					Para flecha "f" en m de:				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
23	0.58	0.78	0.94	1.06	1.17	0.54	0.63	0.70	0.76	0.81

Tabla 22. Distancia entre conductores.

4.1.5 COORDINACION DE PROTECCIONES

Para un correcto funcionamiento del sistema de protecciones en las líneas de distribución es necesario que exista coordinación entre todos los elementos del sistema, eso incluye no solo a los dispositivos que brindan la protección sino también los equipos pasivos, como lo son los transformadores y los bancos de capacitores.

Existen tres reglas básicas para una correcta coordinación:

1. Darle a todas las fallas la posibilidad de ser temporales.
2. Interrumpir la transmisión de energía únicamente ante fallas permanentes.
3. Remover del servicio la menor porción posible de la línea.

Teniendo claro los tres puntos anteriores la coordinación entre elementos se realiza mediante el uso de las curvas tiempo corriente que representan a cada dispositivo, además existen criterios propios dependiendo de los equipos.

En el caso del sistema interno de la Universidad de El Salvador, se utilizar la combinación Fusible de expulsión- Fusible de expulsión, para ello nos basaremos en el siguiente esquema de "COOPER POWER SYSTEMS" que nos ayudara a entender la coordinación entre protecciones.

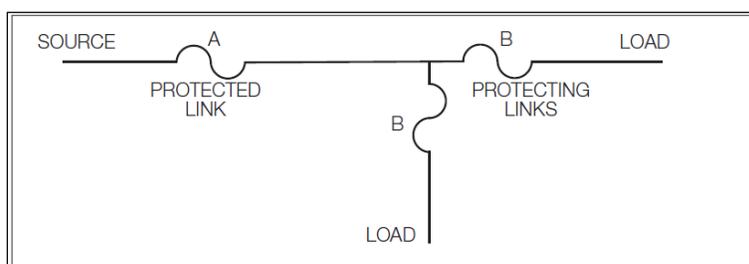


Figura 25. Esquema fusible-fusible.

El Fusible A: *Protected Link*, será el fusible ubicado del lado de la fuente o aguas arriba de la carga.

El Fusible B: *Protecting Links*, será el fusible ubicado al lado de la carga o aguas abajo de la fuente.

Para que los fusibles A y B coordinen correctamente debemos de seguir la siguiente tabla regida por la corriente de cortocircuito presente en la red.

EEI-NEMA Type T Fuse Links

Protecting Fuse Link Rating - Amperes	Protected Link Rating - Amperes													
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
Maximum Fault Current at Which B will Protect A - Amperes														
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12T					680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15T						730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20T							990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25T								1400	1500	4100	5000	6100	9700	15200
30T									1500	3100	5000	6100	9700	15200
40T										1700	3800	6100	9700	15200
50T											1750	4400	9700	15200
65T												2200	9700	15200
80T													7200	15200
100T													4000	13800
140T														7500

This table shows maximum values of fault current at which EEI-NEMA Type T fuse links will coordinate with each other. The table is based on maximum-clearing time curves FL3T for protecting links and 75 percent of minimum-melting time curves FL3T for protected links.

Tabla 23. Valores máximos de corriente de cortocircuito.

“Esta tabla muestra los valores máximos de corriente de cortocircuito con los que los fusible Tipo T coordinan entre ellos. La tabla se basa en las curvas de tiempo máximo de compensación para la protección de enlaces y el 75 por ciento de las curvas de tiempo mínimo de fusión para la protección de enlaces”.

La tabla se interpreta de la siguiente manera: los valores horizontales corresponden a los Fusibles A y los valores verticales corresponden a los Fusibles B, por ejemplo, un fusible Tipo T de 30Amp en el lado de la carga (Fusible B) coordinada con un fusible de 80Amp en el lado de fuente (Fusible A) a un valor máximo de corriente de cortocircuito de 5000Amp.

La Universidad de El Salvador cuenta con 3 acometidas las cuales se detallan a continuación:

ACOMETIDA		CORRIENTE DE FALLA		MVA _{sc}		CAPACIDAD INSTALADA MVA
NOMBRE	CODIGO	3 FASES (kA)	1 FASE (kA)	3 FASES	1 FASE	
POLIDEPOTIVO	C6460	5.433	3.215	216.435	128.076	2.9
HUMANIDADES	C6475	5.162	3.277	205.639	130.546	2.48
AGRONOMIA	C2395	5.168	3.153	205.878	125.607	5.24

Tabla 24. Detalles de cortocircuito por acometida.

Para el análisis de coordinación de protecciones nos hemos apoyado en un software de simulación, este software es la más completa y ampliamente utilizada herramienta para el diseño, simulación, operación, control, optimización y automatización de la generación, transmisión, distribución y sistemas de energía industrial.

En nuestro caso tenemos que elaborar el diagrama correspondiente a cada acometida de la Universidad de El Salvador, una vez tengamos el diagrama unifilar de la red se deben de ingresar los datos de la fuente que se muestran en la tabla anterior por cada acometida, a continuación se presentan los resultados obtenidos. Se recomienda la instalación de TRIPSAVER en el punto de entrega de cada acometida.

4.1.5.1 ACOMETIDA POLIDEPORTIVO

La acometida del Polideportivo (C6460) tiene una corriente de falla trifásica de 5.433kA y monofásica de 3.215kA. Basado en el diagrama unifilar de la acometida Polideportivo (ver ANEXO B) se realizó el levantamiento de la acometida con la ayuda de un software y se realizó el análisis de coordinación obteniendo lo siguientes resultados.

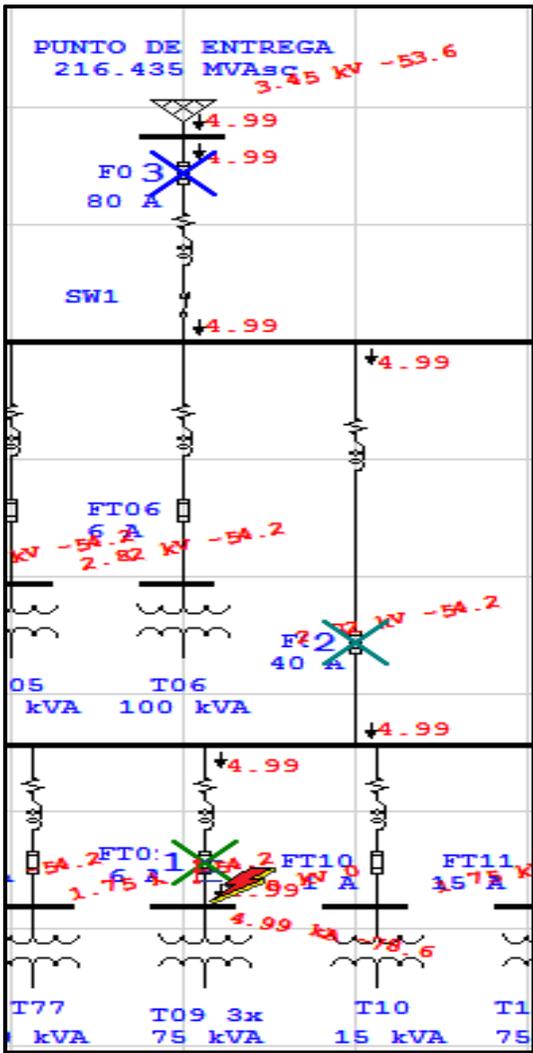


Figura 26. Coordinación de protecciones Polideportivo.

Para comprobar la coordinación de las protecciones se simula una falla en el transformador T2 (100 kVA) con una corriente de falla de 4.99 kA. Podemos observar el orden en que se las protecciones se abren a causa de esta falla; primero abriría el fusible FT09 (Kearney 27 kV, 6 A, Tipo T), segundo el fusible de línea F03 (Chance 40 A, Tipo T) y por último el fusible general F01 (Chance 80 A, Tipo T). Si nos vamos a la tabla de COOPER podemos observar que el fusible 40T coordinada con el fusible 80T para una corriente de 3800 A efectivamente. A continuación se muestra las curvas para estos 3 fusibles de ejemplo:

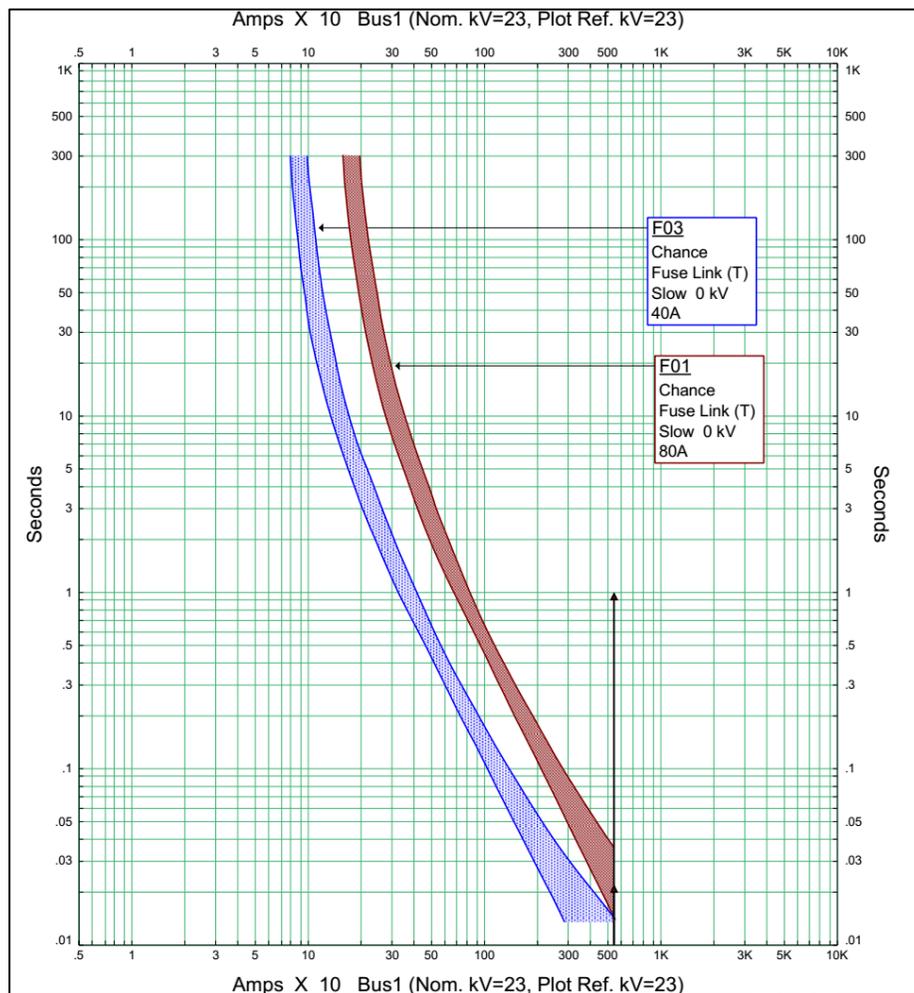


Gráfico 6. Tiempo de funcionamiento de fusibles Polideportivo.

Podemos observar que las curvas coordinan correctamente y siguiendo la regla de la proporción de tiempo de dos fusibles no debe superar la relación de 75 % se obtiene:

$$\% = \Delta t * 100\% Ec(13)$$

$$\% = 0.498 * 100\%$$

$$\% = 49.8\%$$

Por tanto no excede de 75%.

De igual se realiza el análisis para todos los fusibles de la acometida obteniendo como resultado que se alcanza una coordinación según los valores simulados en el software.

4.1.5.2 ACOMETIDA HUMANIDADES

La acometida del Humanidades (C6475) tiene una corriente de falla trifásica de 5.162kA y monofásica de 3.277kA. Basado en el diagrama unifilar de la acometida Polideportivo (ver ANEXO B) se realizó el levantamiento de la acometida con la ayuda de un software y se realizó el análisis de coordinación lanzando lo siguientes resultados.

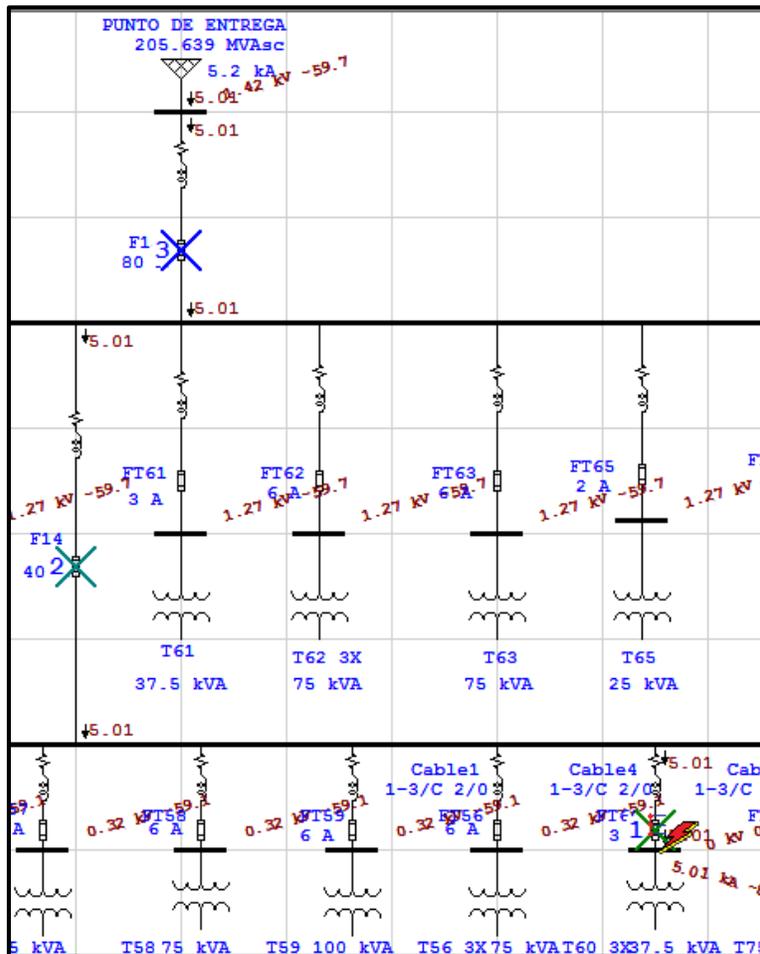


Figura 27. Coordinación de protecciones Humanidades.

Para comprobar la coordinación de las protecciones se simula una falla en el transformador T12 (150 kVA) con una corriente de falla de 4.98 kA. Podemos observar el orden en que se las protecciones se abren a causa de esta falla; primero abriría el fusible FT75 (Kearney 27 kV, 3 A, Tipo T), segundo el fusible de línea F13 (Chance 40 A, Tipo T) y por último el fusible general 2 (Chance 80 A, Tipo T). Si nos vamos a la tabla de COOPER podemos observar que el fusible 40T coordinada con el fusible 80T para una corriente de 3800 A efectivamente. A continuación se muestra las curvas para estos 3 fusibles de ejemplo:

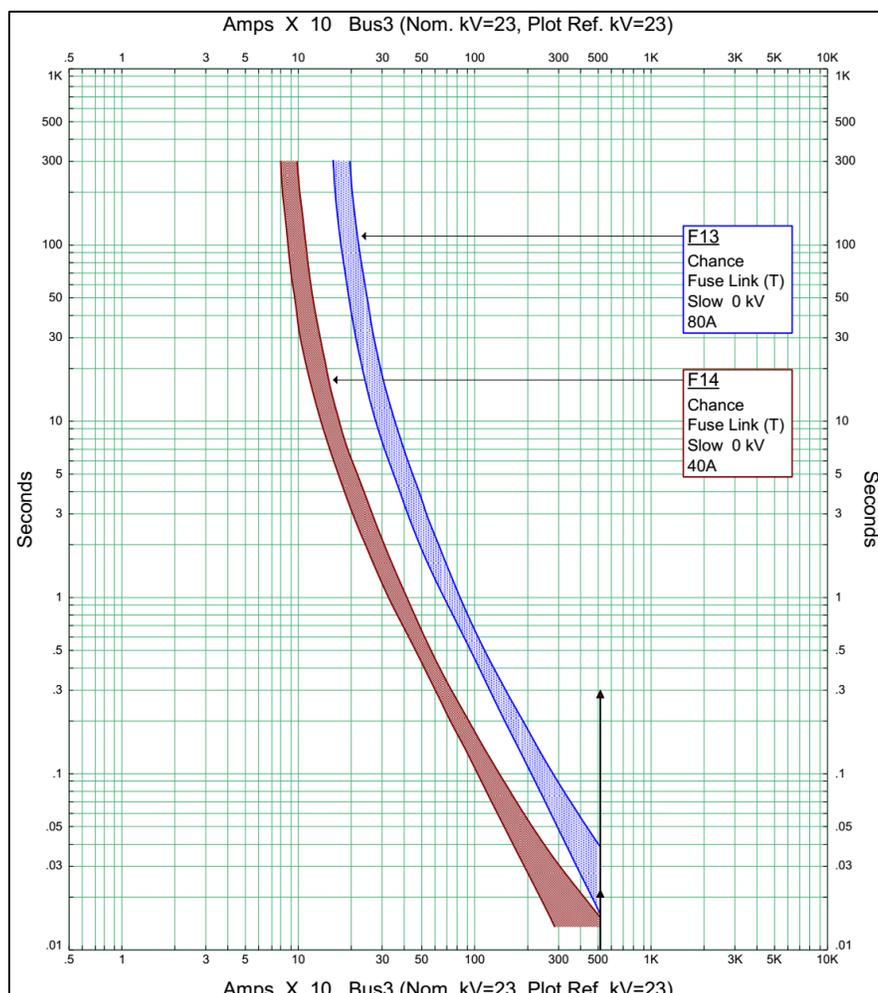


Gráfico 7. Tiempo de funcionamiento de fusibles Humanidades

Podemos observar que las curvas coordinan correctamente y siguiendo la regla de la proporción de tiempo de dos fusibles no debe superar la relación de 75 % se obtiene:

$$\begin{aligned} \% &= \Delta t * 100\% \\ \% &= 0.498 * 100\% \\ \% &= 49.8\% \end{aligned}$$

Por tanto no excede de 75%.

De igual se realiza el análisis para todos los fusibles de la acometida obteniendo como resultado que se alcanza una coordinación según los valores simulados con el software.

4.1.5.3 ACOMETIDA AGRONOMIA

La acometida del Agronomía (C2395) tiene una corriente de falla trifásica de 5.168kA y monofásica de 3.153kA. Basado en el diagrama unifilar de la acometida Polideportivo (ver ANEXO B) se realizó el levantamiento de la acometida con la ayuda de un software y se realizó el análisis de coordinación lanzando lo siguientes resultados.

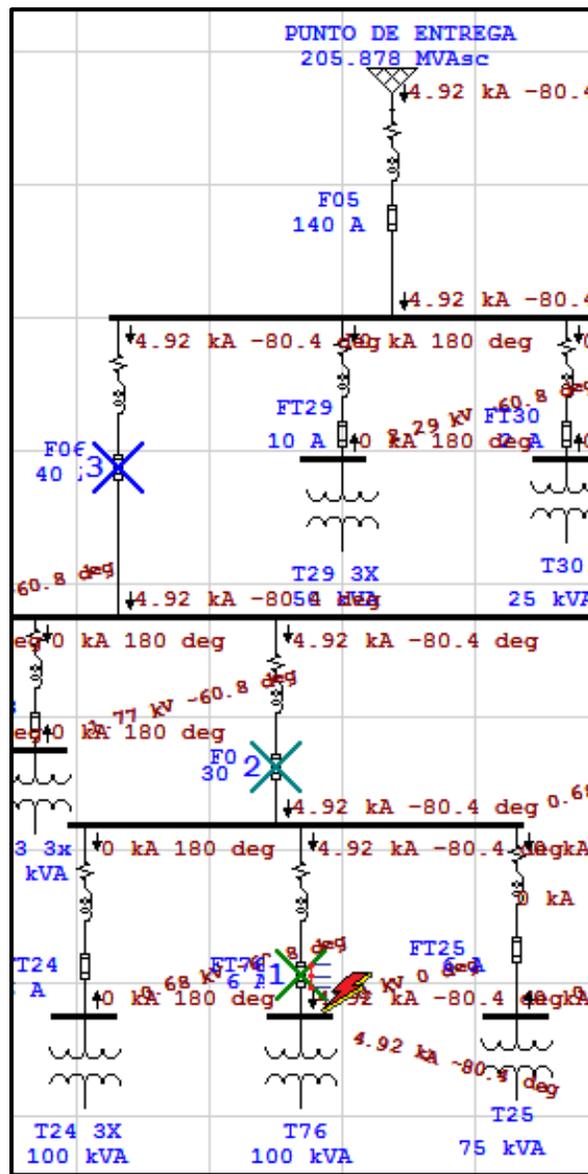


Figura 28. Coordinación de protecciones Agronomía.

Para comprobar la coordinación de las protecciones se simula una falla en el transformador T6 (100 kVA) con una corriente de falla de 4.92 kA. Podemos observar el orden en que se las protecciones se abren a causa de esta falla; primero abriría el fusible FT76 (Kearney 27 kV, 6 A, Tipo T), segundo el fusible de línea F09 (Chance 30 A, Tipo T) y por último el fusible de línea F06 (Chance 40 A, Tipo T). A continuación se muestra las curvas para estos 3 fusibles de ejemplo:

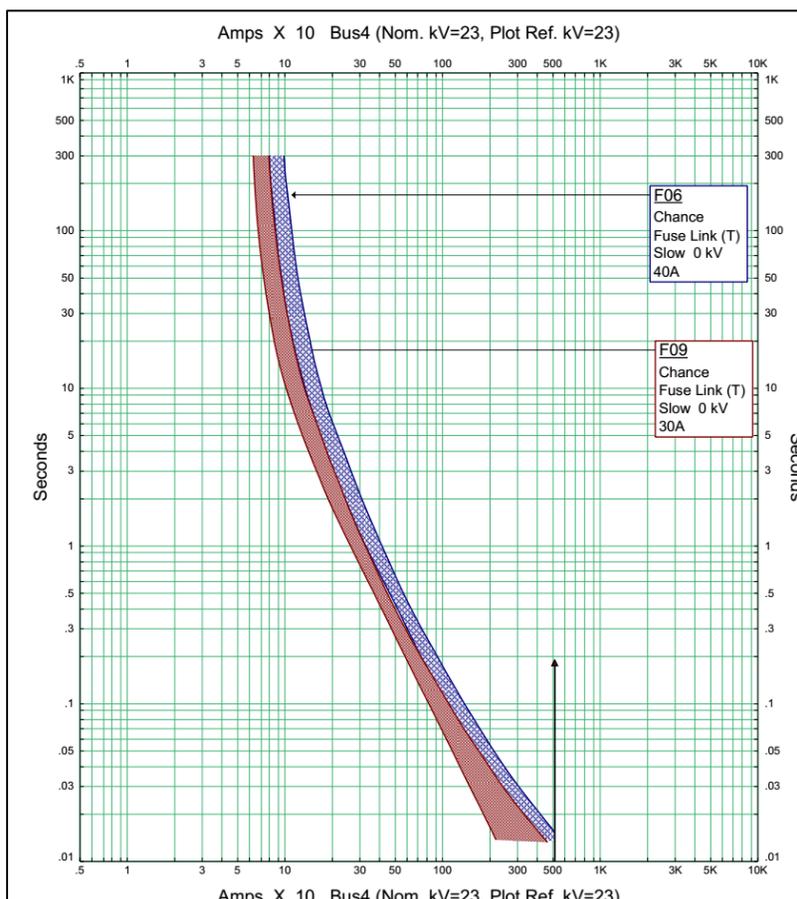


Gráfico 8. Tiempo de funcionamiento de fusibles Agronomía.

Podemos observar que las curvas coordinan correctamente y siguiendo la regla de la proporción de tiempo de dos fusibles no debe superar la relación de 75 % se obtiene:

$$\begin{aligned} \% &= \Delta t * 100\% \\ \% &= 0.173 * 100\% \\ \% &= 17.3\% \end{aligned}$$

Por tanto no excede de 75%.

De igual se realiza el análisis para todos los fusibles de la acometida obteniendo como resultado que se alcanza una coordinación según los valores simulados en el software.

4.1.5.4 DEMANDA ENERGETICA

Dentro del campus de la Universidad se cuenta con 26 medidores en el secundario y uno en el primario (Primario FIA), los cuales se encuentran distribuidos en diferentes puntos de la red estos datos podemos verificarlos en el siguiente sitio <http://ues.miconsumodeenergia.com/> donde se muestra en tiempo real el consumo de las subestaciones monitoreadas. Para tener una idea del porcentaje de utilización de la capacidad instalada se muestran a continuación las mediciones de 01/09/2016 hasta 30/09/2016 por acometida, teniendo en cuenta que no está monitoreado el 100% de las subestaciones:

ACOMETIDA		CAPACIDAD INSTALADA	CAPACIDAD MEDIDA	UTILIZACION
NOMBRE	CODIGO	MVA	MVA	%
POLIDEPORTIVO	C4660	2.9	0.32	11.3
HUMANIDADES	C6475	2.5	0.40	16
AGRONOMIA	C2395	5.2	0.47	9

Tabla 25. Porcentaje de utilización.

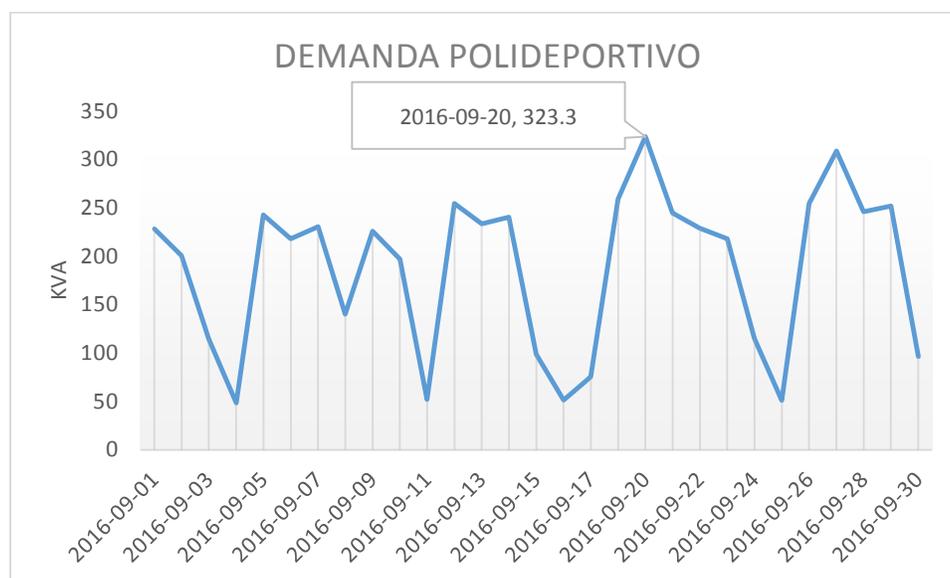


Gráfico 9. Demanda de acometida Polideportivo.



Gráfico 10. Demanda acometida Humanidades.

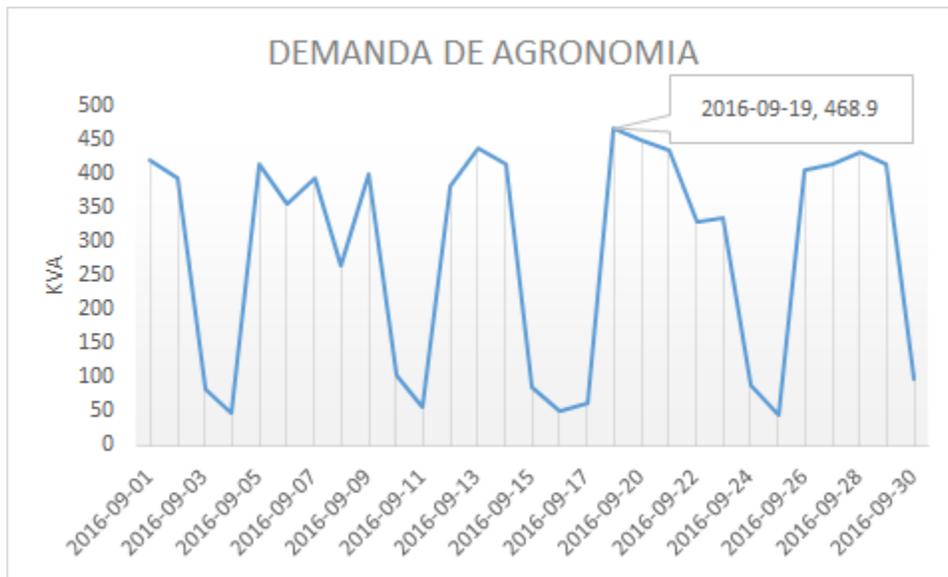


Gráfico 11. Demanda acometida Agronomía.

4.2 ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION PARA LINEAS AEREAS

4.2.1 CRUCEROS DE MADERA

El uso de cruceros de madera incrementa el aislamiento en la línea como principal ventaja, dando una mayor confiabilidad a la línea, también dentro de esta propuesta adiciona el uso de tubo termotractil para evitar el contacto animal en la línea, a continuación se presentan tres estructuras básicas (23TSM3, 23RH3 y 23CH3) del estándar aprobado por SIGET implementando el uso de crucero de madera. Las demás estructuras se presentan en ANEXO F. Se debe de tomar en cuenta los esfuerzos mecánicos para el crucero de madera: Para servir como crucero una especie de madera deberá tener buena estabilidad dimensional, resistencia mecánica adecuada; no menor a la del pino Elliotti, para crucero de línea se deberá cumplir: la tensión de flexión y tracción a rotura $\geq 700 \text{ kg/cm}^2$, tangencial a rotura $\geq 55 \text{ kg/cm}^2$; compresión paralela a las fibras a rotura $> 460 \text{ kg/cm}^2$.

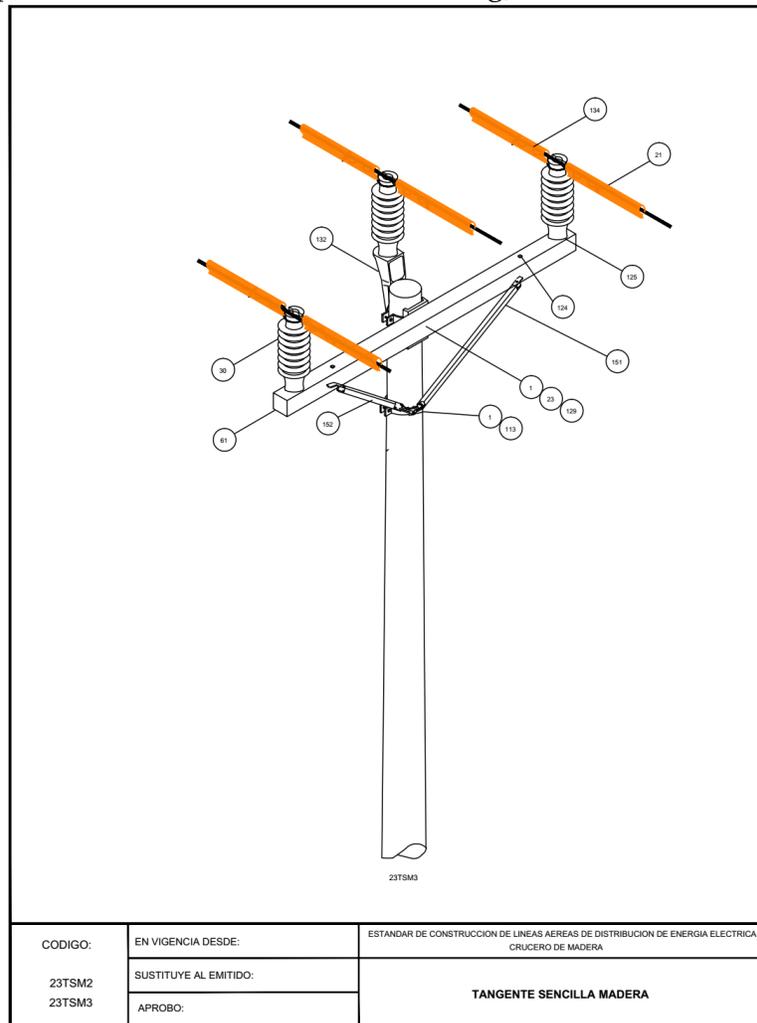
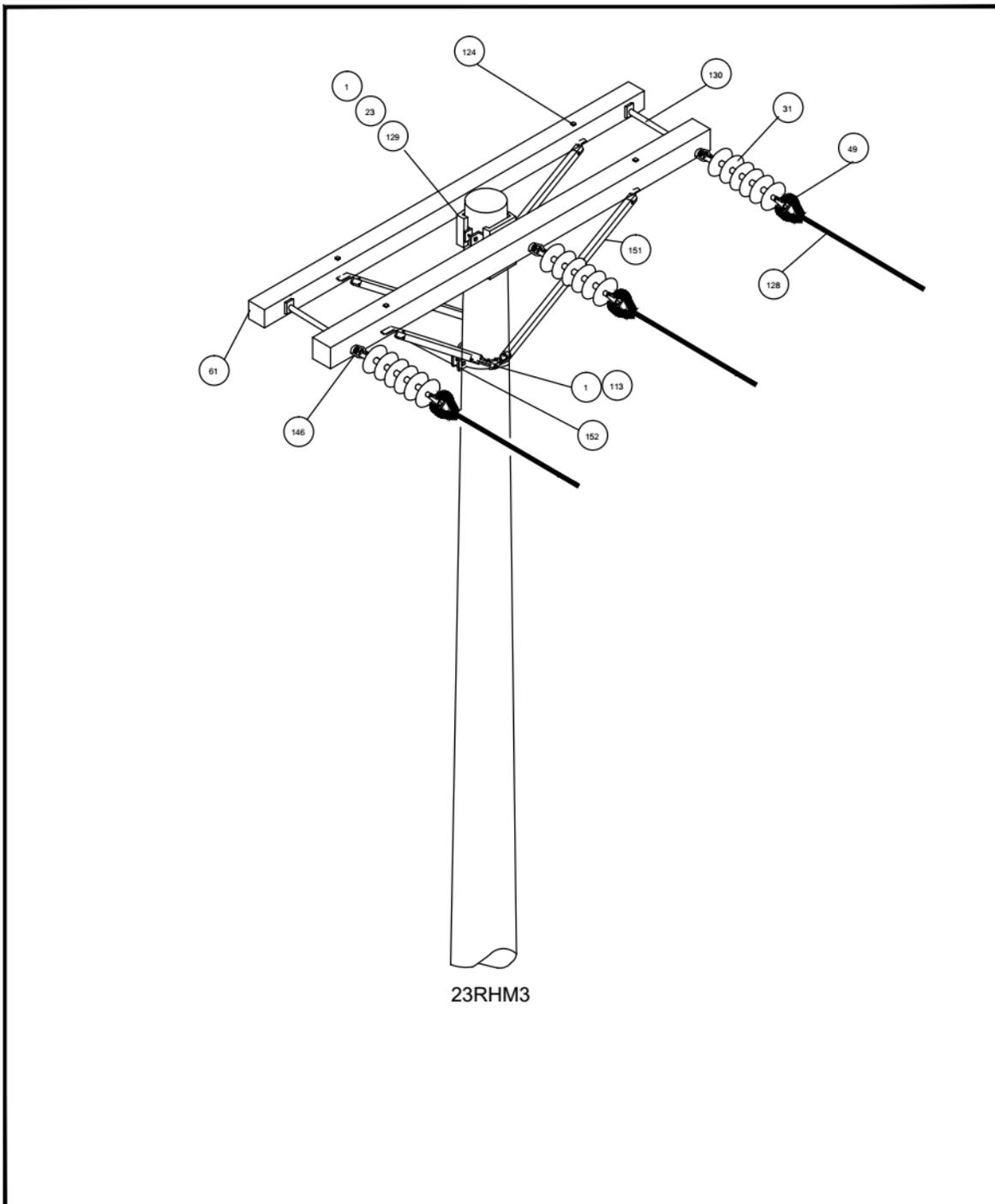


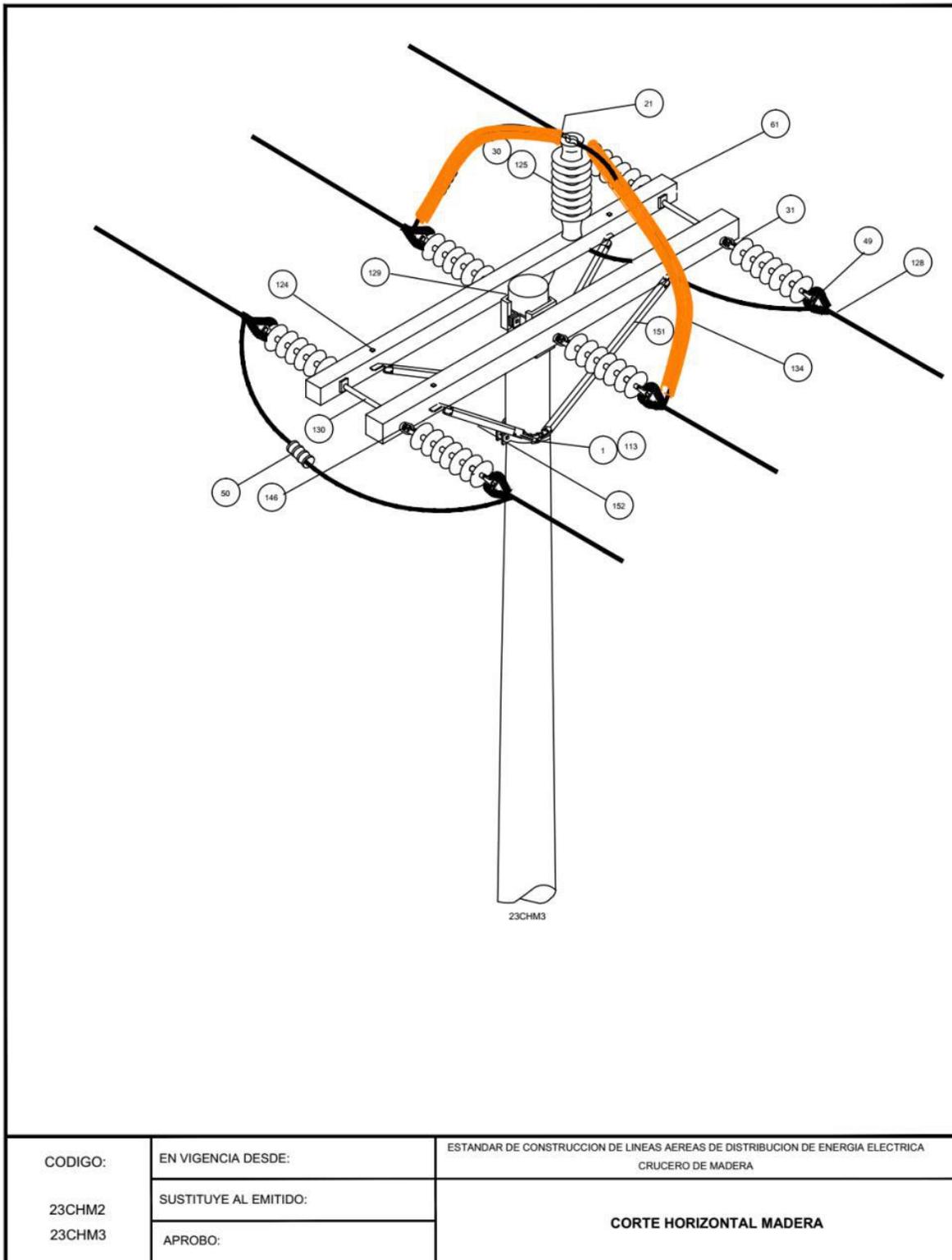
Figura 29. 23TSM3



23RHM3

CODIGO: 23RHM2 23RHM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	REMATE HORIZONTAL MADERA
	APROBO:	

Figura 30. 23RHM3



CODIGO: 23CHM2 23CHM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	CORTE HORIZONTAL MADERA

Figura 31. 23CHM3

4.2.1.1 DETALLE ECONOMICO POR CADA ESTRUCTURA

DESCRIPCION DE MATERIALES				
ESTRUCTURA:	TANGENTE SENCILLA MADERA 23TSM3			
No	DESCRIPCION	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.275 mm)	2	\$ 6.00	\$ 12.00
134	Tubo termotractil (m)	9	\$ 14.76	\$ 132.84
30	Aislador line post ANSI 57-3 46 KV	3	\$ 31.42	\$ 94.26
39	Blindaje Preformado	6	\$ 0.55	\$ 3.30
23	Almohadilla para crucero	1	\$ 3.67	\$ 3.67
61	Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4" (2438.5mmx120.75mmx9.25mm)	1	\$ 23.75	\$ 23.75
125	Perno para aislador tipo poste 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)	2	\$ 15.00	\$ 30.00
129	Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)	1	\$ 1.57	\$ 1.57
113	Perno máquina 5/8 x 2" (15.875 x 51mm)	1	\$ 1.30	\$ 1.30
124	Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)	2	\$ 1.57	\$ 3.14
151	Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)	1	\$ 9.52	\$ 9.52
152	Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)	1	\$ 9.52	\$ 9.52
132	Soporte punta de poste	1	\$ 14.50	\$ 14.50
			TOTAL	\$ 339.37

Tabla 26. Detalle económico 23TSM3.

DESCRIPCION DE MATERIALES				
ESTRUCTURA	REMATE HORIZONTAL MADERA 23RHM3			
N°	DESCRIPCION	Cantidad	Precio unitario	Total
61	Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"	2	\$ 23.75	\$ 47.50
134	Tubo Termotractil	9	\$ 14.76	\$ 132.84
1	Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)	2	\$ 6.00	\$ 12.00
31	Aislador de suspensión ANSI 52-4 46 Kv	3	\$ 66.60	\$ 199.80
23	Almohadilla para crucero	2	\$ 3.67	\$ 7.34
49	Clevis de remate S/R	3	\$ 7.65	\$ 22.95
113	Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)	1	\$ 1.30	\$ 1.30
124	Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)	4	\$ 1.57	\$ 6.28
130	Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)	2	\$ 6.00	\$ 12.00
128	Remate preformado S/R	3	\$ 0.45	\$ 1.35
146	Tuerca argolla 5/8" (15.9 mm)	3	\$ 4.46	\$ 13.38
151	Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)	2	\$ 9.52	\$ 19.04
152	Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)	2	\$ 9.57	\$ 19.14
129	Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)	2	\$ 1.57	\$ 3.14
			TOTAL	\$ 498.06

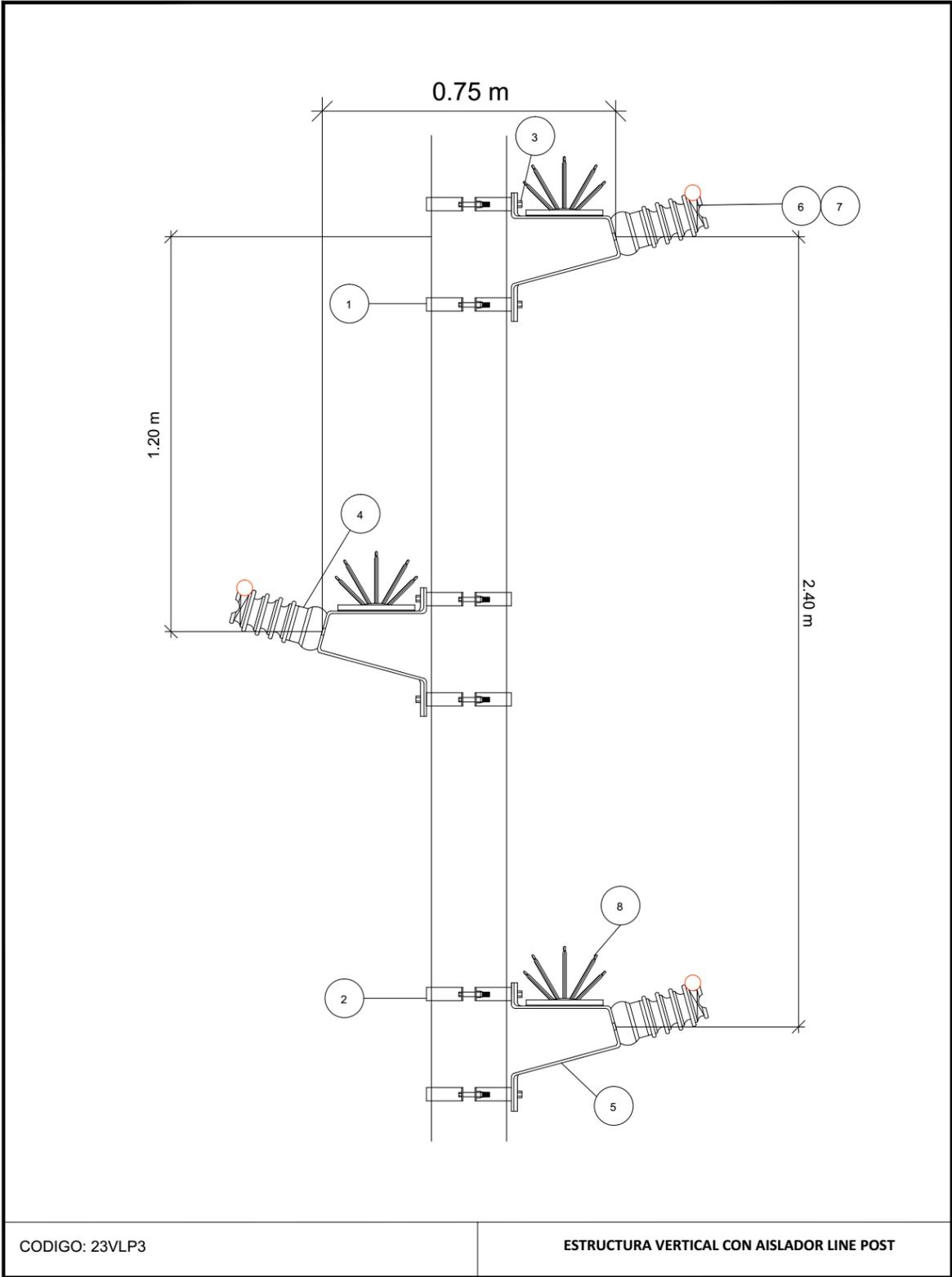
Tabla 27. Detalle económico 23RHM3.

DESCRIPCION DE MATERIALES				
ESTRUCTURA:	CORTE HORIZONTAL MADERA 23CHM3			
N°	DESCRIPCION	Cantidad	Precio unitario	Total
61	Crucero de madera 8' x4 3/4" x 3 3/4"	2	\$ 23.75	\$ 47.50
134	Tubo Termotractil(m)	9	\$ 14.76	\$ 132.84
1	Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)	2	\$ 6.00	\$ 12.00
30	Aislador line post a ANSI 57-3 46kV	1	\$ 31.42	\$ 31.42
31	Aislador de suspensión ANSI 52-4 46 kV	6	\$ 66.60	\$ 399.60
21	Alambre para amarre S/R (m)	2	\$ 0.41	\$ 0.82
23	Almohadilla para crucero	2	\$ 3.67	\$ 7.34
49	Clevis de remate S/R	6	\$ 7.65	\$ 45.90
50	Conector de compresión S/R	3	\$ 1.40	\$ 4.20
113	Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)	1	\$ 1.30	\$ 1.30
124	Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)	4	\$ 1.57	\$ 6.28
128	Remate preformado S/R	6	\$ 0.45	\$ 2.70
151	Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)	2	\$ 9.52	\$ 19.04
152	Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)	2	\$ 9.52	\$ 19.04
146	Tuerca argolla 5/8" (1143 mm)	6	\$ 4.46	\$ 26.76
125	Perno para aislador tipo columna 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)	1	\$ 15.00	\$ 15.00
130	Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)	2	\$ 6.00	\$ 12.00
129	Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)	2	\$ 1.57	\$ 3.14
			TOTAL	\$ 786.88

Tabla 28. Detalle económico 23CHM3.

4.2.2 LINE POST

Los aisladores line post poseen muchas ventajas como ya se mencionó anteriormente dentro de las propuestas para el mejoramiento de la línea interna de la Universidad se contempla también el uso de este tipo de estructuras a continuación se muestran los detalles de materiales y precio por estructura, cabe mencionar que esta es una de las propuestas que mejoraría grandemente el problema de fallas internas por contacto animal ya que también se hará uso de protección anti fauna.



CODIGO: 23VLP3

ESTRUCTURA VERTICAL CON AISLADOR LINE POST

Figura 32. Estructura vertical line post.

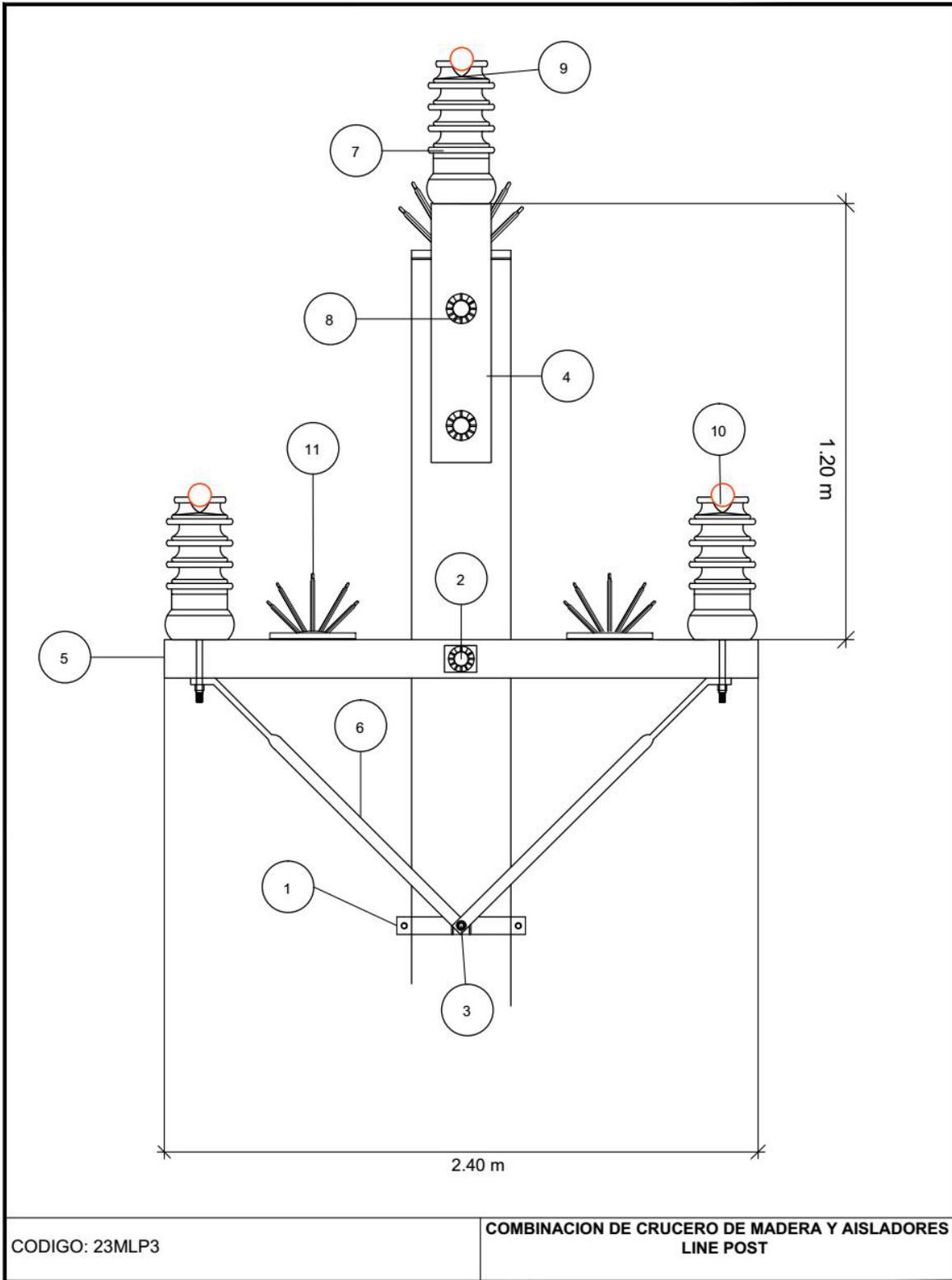


Figura 33. Estructura Horizontal line post.

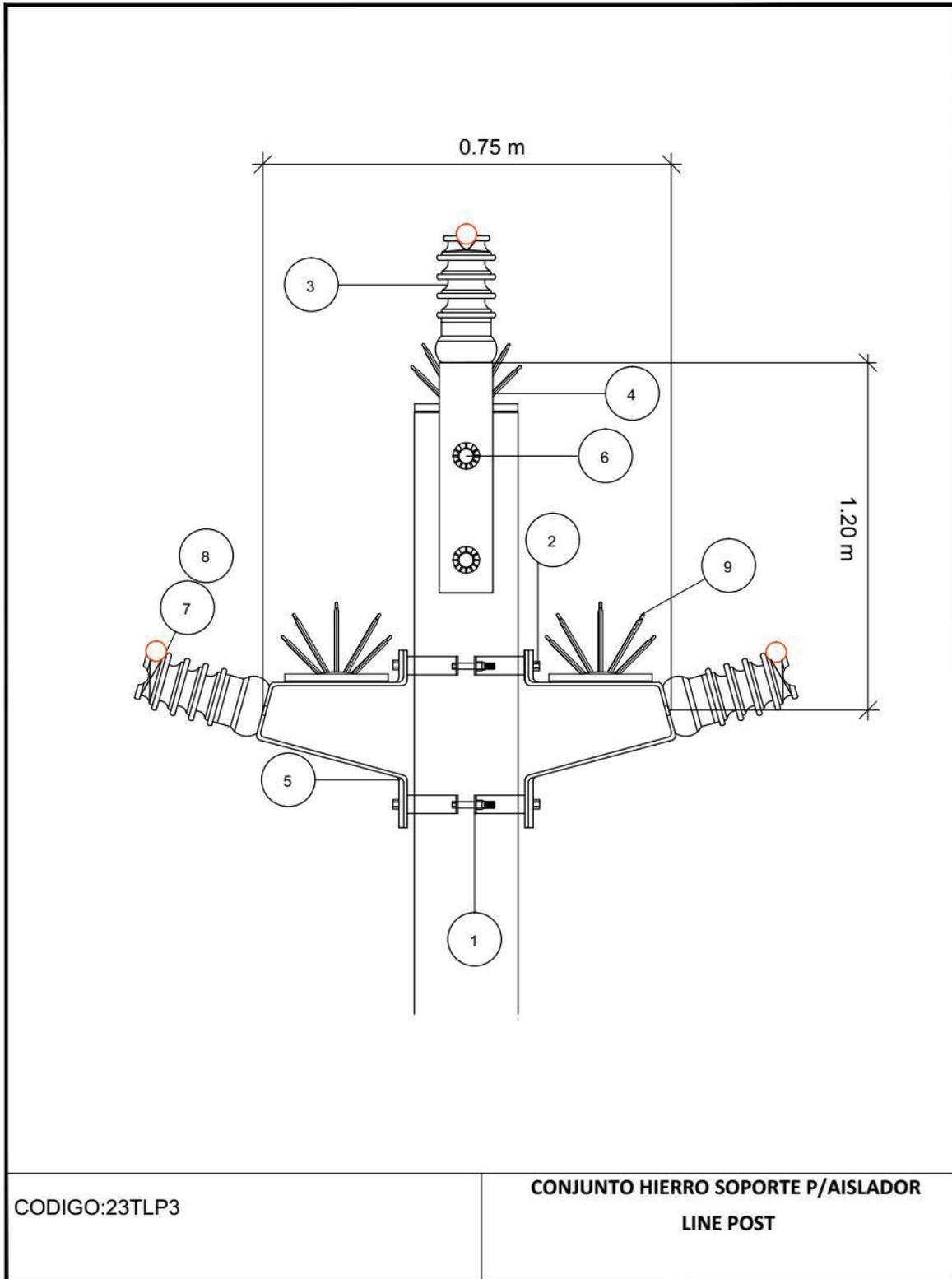


Figura 34. Estructura triangular line post.

4.2.2.1 DETALLE ECONOMICO DE LAS ESTRUCTURAS

ESTRUCTURA VERTICAL CON AISLADOR LINE POST.				
Materiales			COSTO UNITARIOS	COSTO TOTAL
Ref	Cantidad	Designación	USD\$	USD\$
1	4	Abrazadera 6" a 6 5/8" (152 a 168 mm)	\$ 7.60	\$ 30.40
2	2	Abrazadera de 7" a 7 5/8" (178 a 194 mm)	\$ 7.90	\$ 15.80
3	6	Perno galvanizado de 5/8" x 2".	\$ 1.30	\$ 7.80
4	3	Aisladores tipo line post a 46 kV ANSI 57-3.	\$ 31.42	\$ 94.26
5	3	Soporte de aisladores.	\$ 8.00	\$ 24.00
6	3	Amarrador preformado tangente	\$ 0.45	\$ 1.35
7	3	Tubo termotractil.	\$ 14.76	\$ 44.28
8	3	Ahuyentador de aves	\$ 17.50	\$ 52.50
			TOTAL	\$ 173.61

Tabla 29. Precio estructura vertical 23VLP3.

ESTRUCTURA HORIZONTAL CON AISLADOR LINE POST				
Materiales			COSTO UNITARIOS	COSTO TOTAL
Ref	Cantidad	Designación	USD\$	USD\$
1	1	Abrazadera de 7-9"	\$ 4.30	\$ 4.30
2	1	Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)	\$ 2.40	\$ 2.40
3	1	Perno maquina de 5/8" x 2".	\$ 1.30	\$ 1.30
4	1	Soporte vertical de aislador	\$ 8.00	\$ 8.00
5	1	Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4" (2438.5mmx120.75mmx9.25mm)	\$ 23.75	\$ 23.75
6	1	Tirante en V	\$ 16.55	\$ 16.55
7	3	Aisladores tipo line post a 46 kV ANSI 57-3.	\$ 31.42	\$ 94.26
8	2	Perno maquina de 5/8" x 12".	\$ 10.00	\$ 20.00
9	3	Amarrador preformado tangente	\$ 0.45	\$ 1.35
10	3	Tubo termotractil.	\$ 14.76	\$ 44.28
11	2	Ahuyentador de aves	\$ 17.50	\$ 35.00
			TOTAL	\$ 171.91

Tabla 30. Precios estructura horizontal 23MLP3.

ESTRUCTURA TRIANGULAR CON AISLADOR LINE POST.				
Materiales			COSTO UNITARIOS	COSTO TOTAL
Ref	Cantidad	Designación	USD\$	USD\$
1	2	Abrazadera 6" a 6 5/8" (152 a 168 mm).	\$ 7.90	\$ 15.80
2	4	Perno galvanizado de 5/8" x 2".	\$ 1.60	\$ 6.40
3	3	Aisladores tipo line post a 46 kV ANSI 57-3.	\$ 31.42	\$ 94.26
4	1	Soporte vertical de aislador.	\$ 8.00	\$ 8.00
5	2	Soporte de aisladores.	\$ 8.00	\$ 16.00
6	2	Perno maquina de 5/8" x 12".	\$ 10.00	\$ 20.00
7	3	Amarrador preformado tangente.	\$ 0.45	\$ 1.35
8	3	Tubo termotractil.	\$ 14.76	\$ 44.28
9	2	Ahuyentador de aves	\$ 17.50	\$ 35.00
			TOTAL	\$ 161.81

Tabla 31. Precios estructura triangular 23TL3.

4.2.3 CABLE SEMIAISLADO

4.2.3.1 DESCRIPCION GENERAL

Cable de un conductor de cobre, aluminio, (AAC) o aluminio con alma de acero (ACSR), con pantalla semiconductor extruida sobre el conductor y aislamiento-cubierta de polietileno de cadena cruzada (XLPE) en color negro.

PRINCIPALES APLICACIONES

Los cables semiaislados se usan en sistemas de distribución aérea de energía eléctrica en mediana tensión, a través de zonas arboladas.

CARACTERISTICAS

Tensión máxima de operación: de 15 000, 25 000 y 35 000 V.

- Temperatura máxima de operación: 90°C.
- Los conductores de cobre se fabrican en temple duro.
- Los conductores de aluminio se fabrican con aleación 1 350 en temple duro (H19).
- Los conductores de ACSR se fabrican con aluminio aleación 1 350 en temple duro (H19) y alma de acero.
- Aislamiento-cubierta color negro que lo hace resistente a la luz solar.
- Estos cables al no contar con pantalla de aislamiento se consideran como no aislados por lo que, deberán someterse a los cuidados y precauciones de cables sin aislamiento.

VENTAJAS

- Su aislamiento-cubierta de polietileno de cadena cruzada (XLPE) le ayuda a resistir la abrasión con ramas de árboles.
- Resistente a la luz solar.

El actual crecimiento de la demanda de energía eléctrica y las distancias a las cuales se tiene que transmitir requieren el manejo de niveles de tensión elevados para lograr una calidad de energía óptima. Por esta razón, los cables de potencia para Media y Alta Tensión han tenido una evolución tecnológica, convirtiéndolos en productos de instalación práctica a nivel residencial, industrial y comercial, adquiriendo así gran importancia en la distribución de energía eléctrica.

Para alcanzar una mayor calidad de servicio, las distribuidoras de energía eléctrica deben analizar alternativas para aumentar la confiabilidad en el suministro a sus clientes. Por lo tanto es necesario desarrollar nuevas tecnologías en la construcción de redes aéreas de distribución, considerando aspectos técnicos y económicos. La respuesta a estas exigencias está dada por las instalaciones de REDES COMPACTAS las cuales se encuentran ampliamente difundidas en varios países tales como ARGENTINA, URUGUAY, BRASIL, BOLIVIA, PARAGUAY, CHILE, PERU, COLOMBIA, PANAMA Y COSTA RICA. Con relación a las redes convencionales que conocemos, las REDES COMPACTAS.

4.2.3.2 CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LAS REDES COMPACTAS

Con relación a las redes convencionales que conocemos, las redes compactas presentan importante ventajas que debemos conocer:

Reducción de costos operativos: Menor intervención en la red con reducción de costos de mantenimiento correctivo y preventivo.

Potencia Transmitida: Este tipo de instalación permite el montaje de ternas múltiples manteniendo las alturas de los soportes convencionales. La instalación de alimentadores de hasta cuatro ternas por postación disminuye la inversión inicial y posibilita una mayor potencia transmitida.

Confiabilidad / reducción de la duración media de interrupciones por corte de servicio (dmik) y de la frecuencia media de interrupciones (fmik): Mejoran la calidad del servicio técnico debido a la drástica reducción de interrupciones accidentales y cortes programados.

Medio ambiente: Representan un menor impacto ambiental al reducir considerablemente los espacios de montaje y franjas de seguridad. Se reducen las podas de los arboles tanto en frecuencia como en volumen. Permiten la conservación de las aves. Son mayor estética y armonizan con el medio ambiente.

Seguridad: Reduce los riesgos de accidente del personal operativo.

Reconversión: Este sistema permite aprovechar las estructuras existentes pudiendo solucionar los problemas de las instalaciones peligrosas y repotenciar los alimentadores.

LAS REDES AEREAS COMPACTAS resultan técnicas y económicamente viables, entre otras en las siguientes situaciones:



Figura 35. Tendidos de grandes vanos.



Figura 36. Zonas boscosas o densamente arboladas.



Figura 37. Zona de gran interferencia de la fauna.

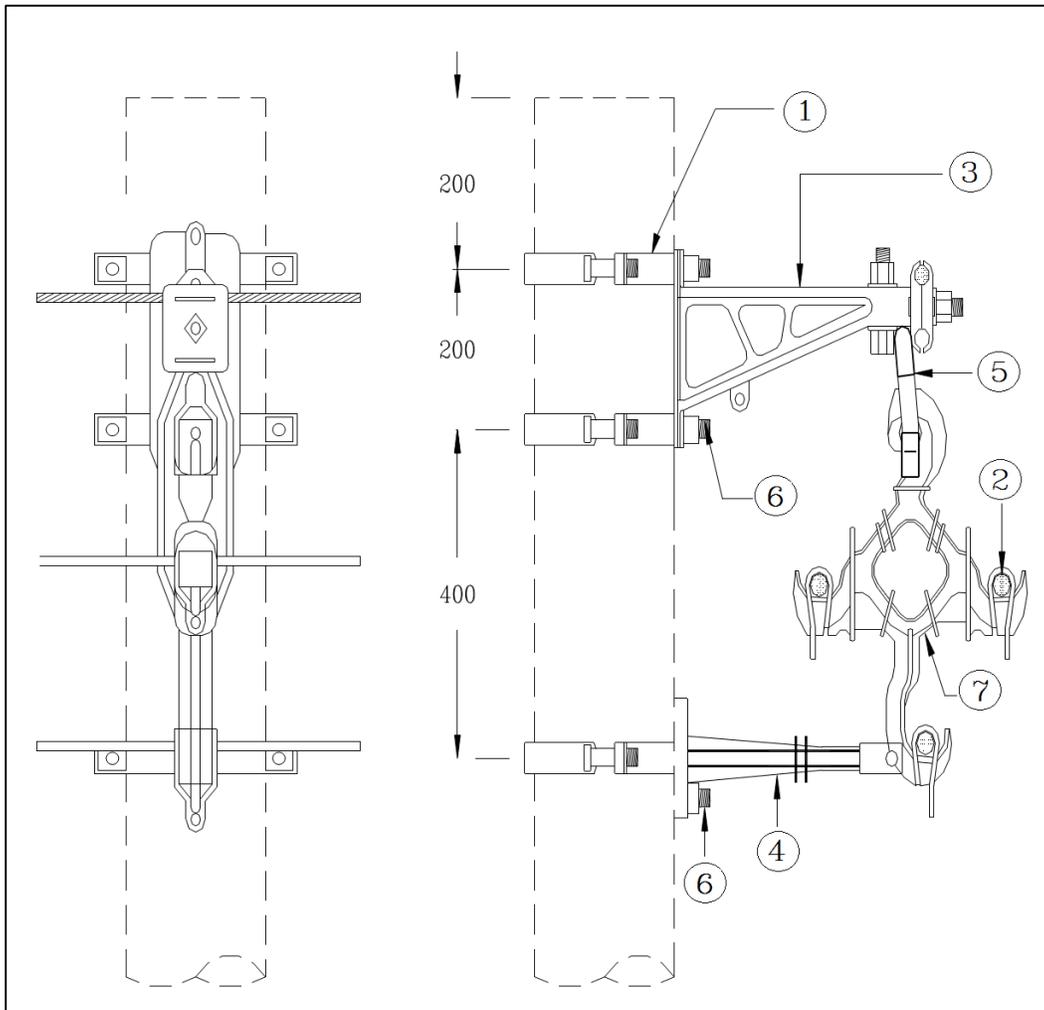


Figura 38. Compacta pasó simple ángulo 0° a 5° .

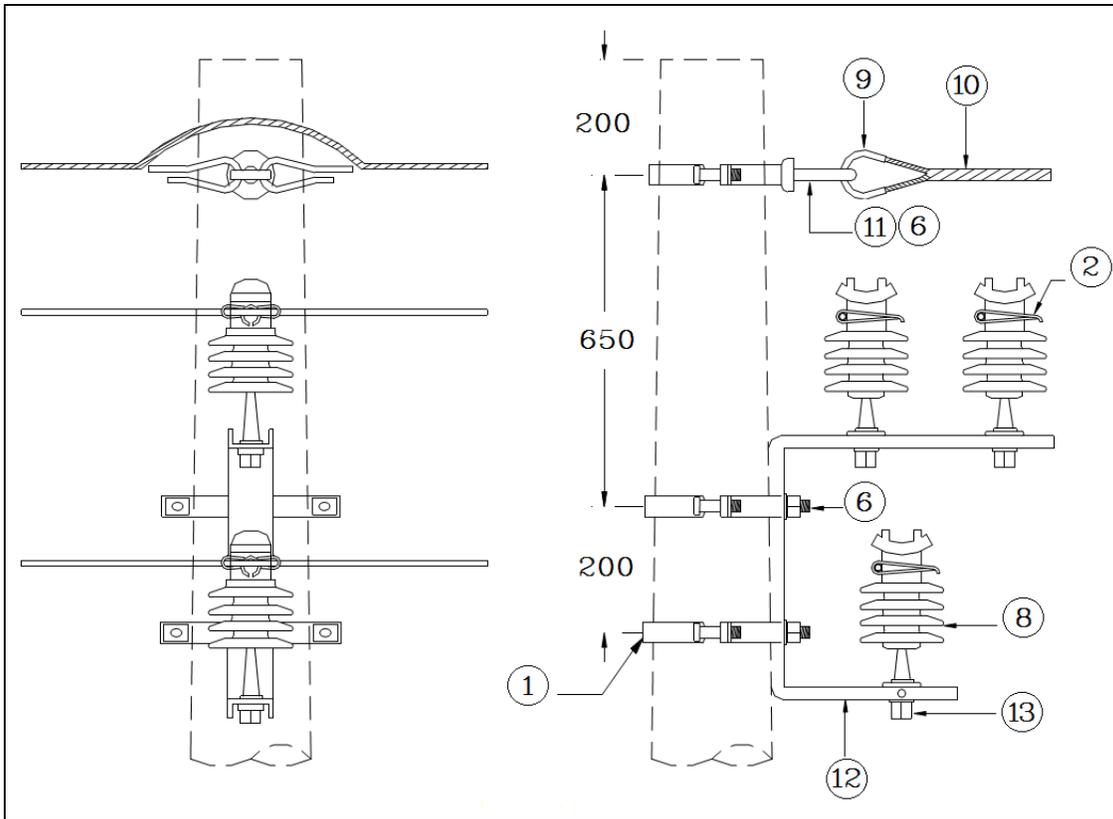


Figura 39. Compacta con Angulo 5° - 45° .

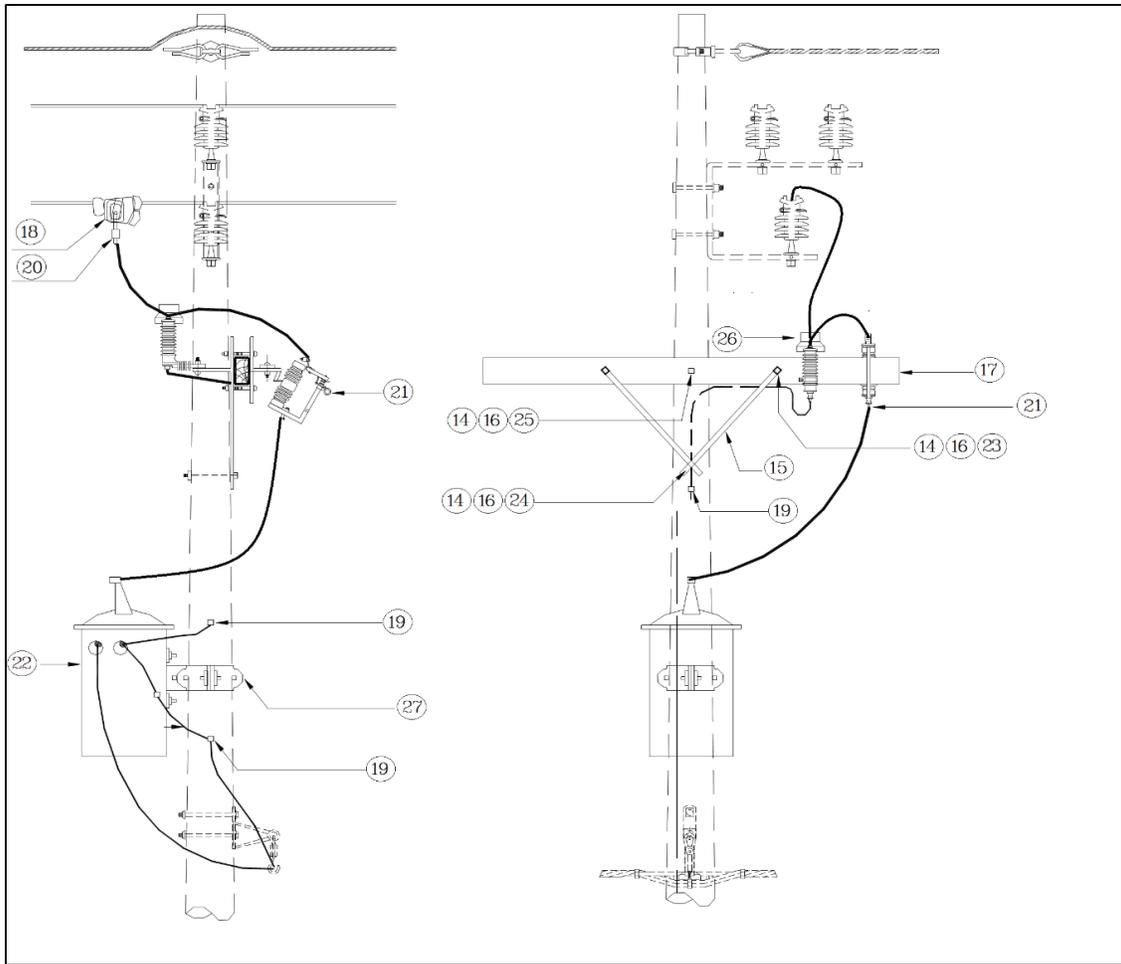


Figura 40. Transformador monofásico compacta.

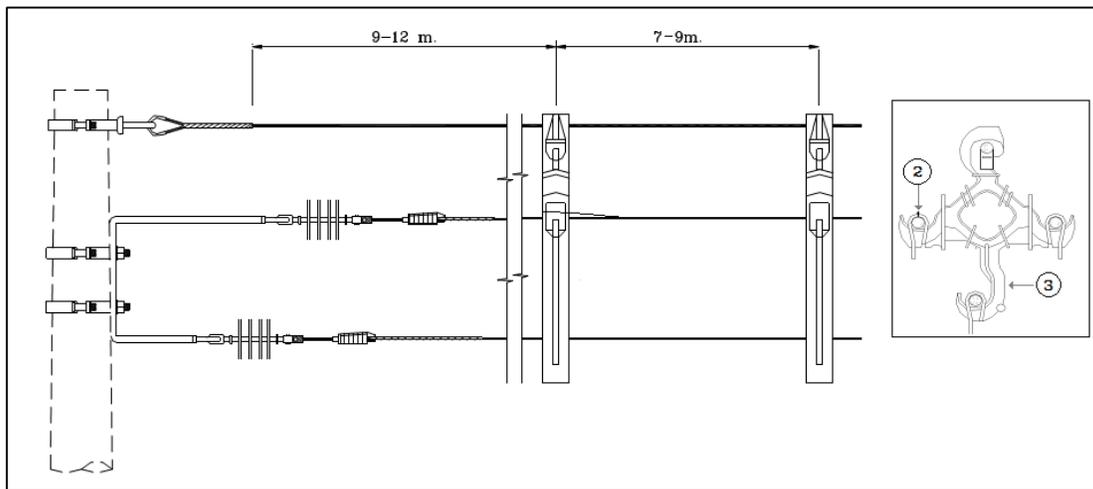


Figura 41. Instalación de espaciadores triangulares 10.5 - 24.9 kV.

4.2.3.3 DETALLE ECONOMICO DE LAS ESTRUCTURAS

COD	MATERIAL	CANT.	PRECIO	TOTAL
1	ABRAZADERA DOBLE P/POSTE 7"	3	\$6.00	\$18.00
2	ANILLO PLASTICO DE AMARRE	3	\$1.54	\$4.62
3	BRAZO TIPO L 351 MM	1	\$71.50	\$71.50
4	BRAZO ANTIBALANCEO	1	\$7.48	\$7.48
5	ESTRIBO PARA ESPACIADOR TRIANGULAR	1	\$4.50	\$4.50
6	PERNO TIPO COCHE 5/8" x 3"	3	\$2.00	\$6.00
7	ESPACIADOR TRIANGULAR 25 kV	1	\$8.97	\$8.97
			TOTAL	\$121.07

Tabla 32. Precios estructura compacta paso simple.

COD	MATERIAL	CANT.	PRECIO	TOTAL
1	ABRAZADERA DOBLE P/POSTE 7"	3	\$6.00	\$18.00
2	ANILLO PLASTICO DE AMARRE	3	\$1.54	\$4.62
6	PERNO TIPO COCHE 5/8" x 3"	3	\$2.00	\$6.00
8	AISLADOR CAMPANA POLIMERICO	3	\$16.00	\$48.00
9	CORBATIN 5/8"	2	\$4.25	\$8.50
10	MALLA FIN DE LINEA 5/16"	2	\$0.45	\$0.90
11	TUERCA ARGOLLA 5/8"	1	\$4.46	\$4.46
12	SOPORTE METALICO TIPO C	1	\$32.50	\$32.50
13	ESPIGA PARA AISLADOR	3	\$12.00	\$36.00
			TOTAL	\$158.98

Tabla 33. Precios compacta con Angulo

COD	MATERIAL	CANT.	PRECIO	TOTAL
14	ARANDELA CUAD. 2 1/4" x 3/16" x 11/6"	5	\$2.00	\$10.00
15	TIRANTE DE MADERA 30"	2	\$15.00	\$30.00
16	CONTRATUERCA SEGURIDAD 5/8"	4	\$3.00	\$12.00
17	CRUCERO DE MADERA 3 3/4" x 4 3/4" x 5'	1	\$20.00	\$20.00
18	CONECTOR COMP. ESTRIBO	1	\$25.49	\$25.49
19	CONECTOR COMPRESIÓN	2	\$12.00	\$24.00
20	GRAMPA DE LÍNEA VIVA	1	\$11.81	\$11.81
21	SECCIONADOR FUSIBLE 27 KV 100 A	1	\$98.21	\$98.21
22	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 15KVA	1	\$890.95	\$890.95
23	PERNO DE MAQUINA 5/8" x 6"	2	\$3.00	\$6.00
24	PERNO DE MAQUINA 5/8" x 12"	1	\$3.50	\$3.50
25	PERNO DE MAQUINA 5/8" x 14"	1	\$5.00	\$5.00
26	DESCARGADOR DE SOBRE TENSION DE 18 KV 5 KAMP	1	\$25.00	\$25.00
27	ABRAZADERA GALV. P/TRANSFORMADOR	1	\$6.00	\$6.00
			TOTAL	\$1,167.96

Tabla 34. Precios transformador monofásico compacta.

COD	MATERIAL	CANT.	PRECIO	TOTAL
2	ANILLO PLASTICO DE AMARRE	3	\$0.30	\$0.90
7	ESPACIADOR TRIANGULAR 25 kV	1	\$8.97	\$8.97
			TOTAL	\$9.87

Tabla 35. Precio espaciadores.

ESPACIADOR PARA CABLE SEMIAISLADO

El espaciador es un elemento de material polimérico cuya función es separar y sostener los cables Semiaislado del sistema de red aérea primaria compacta, manteniendo el nivel de aislamiento eléctrico de la misma. El espaciador es instalado con un amarre utilizado para la fijación de los conductores de fase y neutro al espaciador.

CARACTERISTICAS TECNICAS

MATERIAL

El espaciador debe ser de polietileno de alta densidad con aditivos resistentes al tracking (camino conductor), a la radiación ultravioleta, erosión y al agrietamiento. Deberá tener una excelente característica de auto limpieza en servicio y permitir el trabajo en línea viva.

La materia prima del espaciador deberá ser polietileno (HDPE) tipo III, clase B o C tal como con lo establece la norma ASTM D1248, de tal manera que se garantice la compatibilidad dieléctrica con la chaqueta del cable cubierto.

El material debe cumplir con las siguientes características mínimas:

-Requisitos físicos sin envejecer:

- Resistencia a la tensión mínima: 17.2Mpa.
- Elongación a la rotura mínima: 300%.

- Requisitos físicos envejecidos al horno 100° C +/- 48h:

- Resistencia a la tensión mínima % del valor no envejecido: 75
- Elongación a la rotura mínima % del valor no envejecido: 75

-Requisitos físicos a la radiación UV 3000 horas.

- Resistencia a la tensión mínima % del valor no envejecido: 50
- Elongación a la rotura mínima % del valor no envejecido: 50

- Agrietamiento ambiental 48h: no agrieta.

- Resistencia al tracking sin fallas a 200 h como mínimo.

-Resistencia dieléctrica: 550volt/mil

-Constante dieléctrica: 2.3 a 2.5

El espaciador deberá tener una vida útil de 25 años.

GEOMETRÍA Y DIMENSIONALES

Los espaciadores podrán ser construidos con la forma y las dimensiones, de tal manera que se garanticen las distancias de fuga y los valores eléctricos mínimos especificados. Los espaciadores según la geometría serán de dos tipos el tipo rombo y vertical tal como se indican en las figuras siguientes.

Las separaciones entre fase y neutro mensajero y entre fase - fase, en los espaciadores, deberá tener en cuenta la distancia de fuga y la separación entre el cable cubierto. Los espaciadores deberán alojar, separar y sostener los siguientes tipos de cables cubiertos:

Cable 15 kV: El espaciador es para cables de 1/0 AWG hasta 266.8kcmil el cual está conformado por el conductor central, una capa semiconductora, luego una capa de polietileno virgen y por último una capa resistente a la abrasión. El rango de diámetro está comprendido entre 17 y 24mm aproximadamente.

Cable 44 kV: El espaciador es para cables de 1/0 AWG hasta 266.8kcmil el cual está conformado por el conductor central, una capa semiconductora, luego una capa de polietileno virgen y por último una capa resistente a la abrasión. El diámetro del cable está comprendido entre 30 y 36mm aproximadamente.

El espaciador soportará y separará los tres (3) conductores cubiertos a intervalos de 9 metros, para el caso de circuitos a 13.2 kV y a intervalos de 7 metros para el caso de circuitos a 44 kV.

- Espaciador para cable Semiaislado.

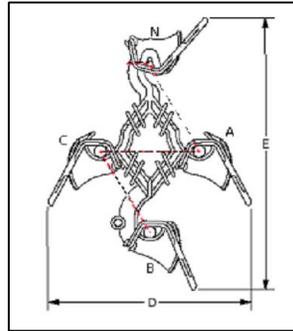


Figura 42. Espaciador trifásico.

ESPACIADOR	DIMENSIONES		SEPARACION DE CONDUCTORES				DISTANCIA MINIMA DE FUGA	DIAMETRO MAXIMO MENSAJERO	CORTO CIRCUITO (kA)	PESO (lbs)
	D	E	AN	BN	AC	BC				
13.2kV	273	413	190	317	203	190	267	19	10	1.2
44kV	406	572	273	463	292	282	450	19	7	1.8

Tabla 36. Detalles espaciador trifásico.

- Espaciador vertical trifásico y monofásico.

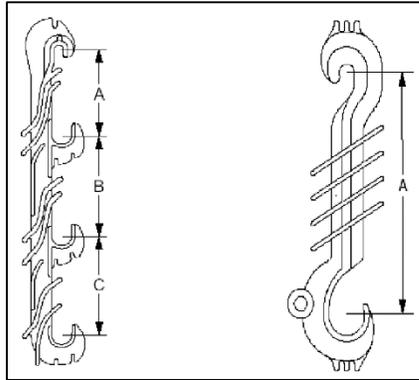


Figura 43. Espaciador monofásico.

TIPO DE ESPACIADOR	DIMENSIONES TOTALES		DIMENSIONES ENTRE FASES			DISTANCIA ENTRE FUGA	DIAMETRO MAXIMO MENSAJERO
	ALTO	ANCHO	A	B	C		
TRIFASICO	660.5	114.5	165	190.5	190.5	19.05	38
MONOFASICO	370.8	101.6	266.7	-	-	19.05	38

Tabla 37. Detalles espaciador monofásico.

ELECTRICAS

El espaciador debe ser diseñado con una longitud tal que su distancia de fuga permita minimizar la corriente de descarga que puede ser causada por la contaminación ambiental y la humedad del medio ambiente. La corriente de fuga no debe ser de más de 350 microamperios.

El esfuerzo de tensión debe ser distribuido entre el conjunto espaciador - cable. La distancia de fuga debe estar diseñada para resistir el flameo y la distancia entre fases debe minimizar la caída del voltaje. El espaciador deberá cumplir con las indicaciones eléctricas de aisladores establecidas en las reglas 273 y 278(A) de la norma ANSI/IEEE C2 (NESC).

Debe presentar bajo nivel de radio interferencia de acuerdo con los valores establecidos para los aisladores. El espaciador debe ser libre de huecos, poros y material contaminante que posibilite desarrollar descargas parciales internas o arborescencias eléctricas que produzcan fallas catastróficas durante el funcionamiento y operación del espaciador y del sistema de red compacta en cable cubierto.

Los espaciadores deberán ser resistentes a los esfuerzos provocados por un cortocircuito. Para los espaciadores de 15 kV serán de una capacidad mínima de 10kA y de 7kA para los espaciadores de 44 kV.

Las aletas colocadas en el cuerpo del espaciador deben ser tales que se garantice la distancia de fuga, dispuestas en un ángulo que permita un camino ininterrumpido para el drenaje del agua y las partículas contaminantes adheridas a éste.

MECANICAS

El espaciador debe ser rígido y no permitir movimientos relativos entre los cables a lo largo del vano que pueda ocasionar desprendimiento del cable del espaciador y/o caer al piso. Debe prevenir contacto físico entre los cables. Debe ser resistente a las cargas mecánicas durante la instalación y operación, tales como una falla o deformación permanente inaceptable. Debe evitar los daños a los cables bajo las condiciones de servicio especificadas, ser adecuado para la seguridad, de fácil instalación y que el conjunto espaciador amarre no se afloje ni se caiga al suelo durante el servicio.

El espaciador consiste de un sólo cuerpo y sus amarres. El lugar de alojamiento del cable deber ser arqueado, con buen radio de curvatura y ancho para la correcta retención y alojamiento del cable. El espaciador debe cumplir con las características mecánicas establecidas en las reglas 277 y 278(B) de la norma ANSI/IEEE C2 (NESC).

La resistencia a la tracción y su elongación deberá estar diseñada para garantizar adecuadamente el sostenimiento de los cables que soporta.

4.3 DETALLES ECONOMICOS

La Universidad de El Salvador en su línea interna cuenta con las estructuras aprobadas por SIGET, se elaboró un inventario de estructuras para así tener la cantidad de estructuras a reemplazar y el coste económico que esto implica haciendo uso de cruceros de madera, protección anti fauna y aisladores de porcelana line post. A continuación mostramos el coste por estructura a reemplazar y la inversión que se debe hacer para la implementación de cruceros de madera, protección anti fauna y aisladores line post, también presentamos dos propuestas adicionales las cuales consisten en mantener el nivel de aislamiento haciendo cambio de cruceros y herrajes y la otra propuesta es simplemente el cambio de conductor y usar cable semiaislado usando las estructuras ya existentes en el campus.

4.3.1 PROPUESTA DE CRUCERO DE MADERA CAMBIANDO NIVEL DE AISLAMIENTO Y REUTILIZANDO EQUIPO EXISTENTE

ESTRUCTURAS			
ESTRUCTURA	CANTIDAD	PRECIO POR ESTRUCTURA	PRECIO TOTAL
23CH3	31	\$ 786.88	\$ 24,393.28
23DC3	10	\$ 1,164.11	\$ 11,641.10
23RH3	25	\$ 498.06	\$ 12,451.50
23AS3	11	\$ 915.20	\$ 10,067.20
23TD3	7	\$ 580.63	\$ 4,064.41
23DH3	8	\$ 596.64	\$ 4,773.12
23CC3	7	\$ 584.18	\$ 4,089.26
23TS3	22	\$ 339.37	\$ 7,466.14
23CD3	10	\$ 917.16	\$ 9,171.60
23VD3	2	\$ 519.90	\$ 1,039.80
23VS3	3	\$ 327.94	\$ 983.82
23PF3	2	\$ 481.26	\$ 962.52
TOTAL	138		\$ 91,103.75

Tabla 38. Resumen económico.

4.3.2 PROPUESTA DE CRUCERO DE MADERA MANTENIENDO NIVEL DE AISLAMIENTO Y REUTILIZANDO EQUIPO EXISTENTE

ESTRUCTURAS			
ESTRUCTURA	CANTIDAD	PRECIO POR ESTRUCTURA	PRECIO TOTAL
23CH3	31	\$ 252.66	\$ 7,832.46
23DC3	10	\$ 283.14	\$ 2,831.40
23RH3	25	\$ 239.94	\$ 5,998.50
23AS3	11	\$ 296.88	\$ 3,265.68
23TD3	7	\$ 293.27	\$ 2,052.89
23DH3	8	\$ 266.78	\$ 2,134.24
23CC3	7	\$ 250.06	\$ 1,750.42
23TS3	22	\$ 208.94	\$ 4,596.68
23CD3	10	\$ 324.98	\$ 3,249.80
23VD3	2	\$ 294.04	\$ 588.08
23VS3	3	\$ 207.71	\$ 623.13
23PF3	2	\$ 208.16	\$ 416.32
TOTAL	138		\$ 35,339.60

Tabla 39. Propuesta manteniendo nivel de aislamiento.

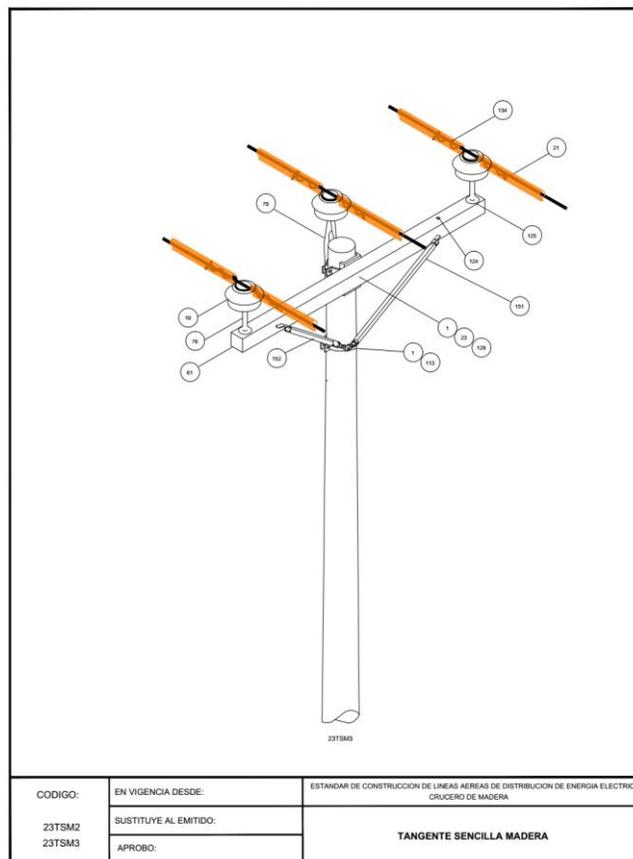


Figura 44. 23TSM3 manteniendo nivel de aislamiento.

4.3.3 PROPUESTA DE CABLE SEMIAISLADO UTILIZANDO ESTRUCTURAS EXISTENTES

CANTIDAD DE FASES	DISTANCIA (m)	PRECIO/m	TOTAL
3	3425.7	\$ 11.85	\$ 40,594.55
2	152.3	\$ 11.85	\$ 1,804.76
1	518.1	\$ 11.85	\$ 6,139.49
TOTAL	4096.1		\$ 48,538.79

Tabla 40. Propuesta cambiando conductor

CONCLUSIONES

- La causa más frecuente de fallas en el campus es por contacto animal y falta de mantenimiento en cuanto a la poda.
- El uso de cruceros de madera y protección anti fauna reducirá considerablemente las fallas ocasionadas por contacto animal.
- Con el recorrido realizado conocemos a detalle los elementos que componen la red y la ubicación de sus componentes.
- Con la utilización de un software se realizó la coordinación de protecciones, concluyendo que con los niveles de corriente de cortocircuito actuales, claramente no hay coordinación entre las protecciones.
- Con los datos de consumo obtenidos a través de los medidores instalados en algunas de las subestaciones dentro del campus conocemos que el porcentaje de utilización es de 36.1% de 10.62 MVA.
- El personal de mantenimiento de la Universidad no cuenta con un registro de fallas por lo tanto no se pueden conocer los indicadores de calidad de servicio.
- Dentro del campus Universitario no se presentan problema de contaminación en el ambiente que puedan afectar el aislamiento de la línea y se cumplen los espaciamientos entre líneas a 23 kV según acuerdo de SIGET.
- Dentro de las propuestas presentadas en este trabajo de graduación la más viable económicamente para la Universidad de El Salvador es la propuesta de crucero de madera manteniendo nivel de aislamiento y reutilizando equipo existente, la propuesta de crucero de madera cambiando nivel de aislamiento y reutilizando equipo existente tiene un costo más elevado pero con un mayor beneficio en confiabilidad de la línea interna de la Universidad.

RECOMENDACIONES

- Instalar Reconectores de apertura visible (TRIPSAVER) en las entradas de las acometidas, estos son interruptores de fallas monofásicas en vacío, controlados electrónicamente y con alimentación propia. Con esto se logra eliminar la interrupción momentánea del servicio.
- Inspecciones mensuales de las líneas primeras y así evitar fallos por contacto de árboles cercanos a ellas. Para ello se deberán tomar las medidas de seguridad necesarias y brindar al personal el equipo necesario para su protección.
- En el Anexo D se muestran las recomendaciones de poda, reducción de copa, elevación de copa, poda en forma de L y poda en forma de V, las cuales se deben practicar en la Universidad.
- Elaborar un plan de contingencia para prevenir, predecir y reaccionar a la hora de presentarse una falla en la línea interna de la Universidad, ya que actualmente no existe un plan como tal, las fallas se atienden en base la experiencia de eventos anteriores y no se lleva un registro ni un adecuado plan para mitigar la falla.
- En base al porcentaje de utilización mostrado en el presente documento, recomendamos optimizar el uso que se le da a las subestaciones instaladas en el Campus.
- Se propone adicionalmente el cambio de conductor 2 ACSR a Cable Semiaislado 1/0 manteniendo las estructuras existentes, el precio del metro de cable es de \$11.85.
- Se recomienda el cambio a red subterránea, debido a la afluencia de personas dentro de la Universidad y así evitar accidentes debido a la ruptura de un conductor aéreo de media tensión.
- Dentro de la especialidad de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de El Salvador una de las principales deficiencias en el área de Potencia es el no tener el equipo adecuado para la práctica, como lo son transformadores para distintos tipos de análisis, también contar con software adecuados para la simulación de coordinación de protecciones (ETAP), análisis y diseño de estructuras de líneas (PLS-POLE), Problemas de flujo de carga (POWER WORLD), análisis de puestas a tierra (CYMGRD), etc. Por tanto recomendamos gestionar la compra de licencias para el uso de estos software con las autoridades correspondientes o entes fuera de la Universidad.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tesis, Diseño de la línea de distribución primaria exclusiva para la Universidad de El Salvador, Universidad de El Salvador 2008, Ana María Figueroa, Marco Antonio Munguía, Edgar Antonio Ramos.
- [2] Tesis, Red de distribución subterránea para el campus de la Ciudad Universitaria, Universidad de El Salvador 2013, Manuel Ovidio Herrera, Cesar Iván Maravilla, Ulises Alberto Mata.
- [3] Tesis Afectación de la Vegetación en las Líneas de Transmisión y Distribución, Universidad de Costa Rica 2010, Sebastián Balmaceda Meza.
- [4] IEEE Standards 1410 "Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines". Mejorar El Comportamiento Bajo Descargas Tipo Rayo De Las Líneas Aéreas De Distribución Eléctrica.
- [5] RUS BULLETIN 1728F-803 "Specifications and Drawings for 24.9/14.4 kV Line Construction". Especificaciones y construcción de líneas 24.9/14.4 kV.
- [6] SIGET "Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución".
- [7] SIGET "Normas técnicas de diseño, seguridad y operación de las instalaciones de distribución eléctrica".
- [8] SIGET "Estándares para la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica".
- [9] ASTM G124 "Test data for selected AL-SI alloys, Al-Composites, binary alloys and stainless steels".
- [10] ASTM D2303 "Standard test method for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials".
- [11] ASTM D412 "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers – Tension".
- [12] ASTM D638 "Standard test method for tensile properties of plastics".
- [13] IEC 60-502 "Hot set test".
- [14] IEEE C2: National Electrical Safety Code.

ANEXOS

ANEXO A. TIPOS DE AISLADORES

AISLADOR DE SUSPENSION ANSI 52-4

CARACTERISTICAS GENERALES	
NORMA DE ENSAYOS	ANSI C29.2
CLASE (ANSI C29.2)	52-4
TIPO	Retención
MATERIAL	Porcelana o Vidrio
TIPO DE ACOPLAMIENTO	Clevis
ANODO DE ZINC	Opcional ¹⁰
CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS	
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. EN SECO (kV)	80
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. BAJO LLUVIA (kV)	50
TENSIÓN CRÍTICA TIPO IMPULSO - POSITIVA (kV)	125
TENSIÓN CRÍTICA TIPO IMPULSO - NEGATIVA (kV)	130
TENSIÓN DE PERFORACIÓN EN ACEITE (kV)	110
LOW FREQUENCY TEST VOLTAGE (RMS TO GROUND) (kV)	10
CARACTERISTICAS MECÁNICAS	
RESISTENCIA ELECTROMECÁNICA (kN)	67
RESISTENCIA MECÁNICA AL IMPACTO (N-m)	6
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN (kN)	33,5
CARACTERISTICAS DIMENSIONALES ¹¹ (mm)	
DISTANCIA DE FUGA (mm)	292
A	146
B	273
C	17,5
D	17,5
E	17,5
F	12,7
G	13,5
H	17,5
J	16

Tabla A 1. Características de Aislador ANSI 52-4.

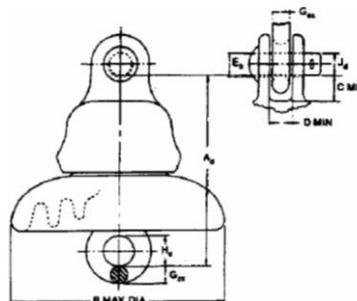


Figura A 1. ANSI 52-4.

AISLADOR DE SUSPENSIÓN POLIMÉRICO

CARACTERÍSTICAS GENERALES				
NORMA DE ENSAYOS	ANSI C29.13	ANSI C29.13	ANSI C29.13	ANSI C29.13
CLASE (ANSI C29.13)	DS-15	DS-28	DS-35	DS-46
TIPO	Retención	Retención	Retención	Retención
MATERIAL	Polimérico	Polimérico	Polimérico	Polimérico
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
TENSIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (kV)	15	25	36	36
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. EN SECO (kV)	90	130	145	180
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. BAJO LLUVIA (kV)	65	100	130	145
TENSIÓN CRÍTICA TIPO IMPULSO - POSITIVA (kV)	140	190	250	280
LOW FREQUENCY TEST VOLTAGE (RMS TO GROUND) (kV)	15	20	30	30
MAXIMUM RIV AT 1000 KHZ (μ V)	10	10	10	10
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
CARGA MECÁNICA NOMINAL (SML) (kN)	44,5	44,5	44,5	44,5
TORSIÓN (N-m)	47,5	47,5	47,5	47,5
CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES ¹				
DISTANCIA DE FUGA (mm)	355	560	740	900
LARGO L (mm)	330±15	430±25	525±60	590±50

Tabla A 2. Aislador de suspensión Polimérico ANSI 52-4.

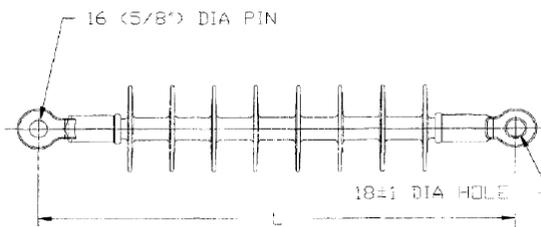


Figura A 2. ANSI 52-4 Polimerico.

AISLADOR TIPO ESPIGA 23 KV ANSI 56-1

CARACTERISTICAS GENERALES		
NORMA DE ENSAYOS	ANSI C29.6	
CLASE (ANSI C29.6)	56-1	
TIPO	Pin	
MATERIAL	Porcelana	
ESMALTE ANTI-RADIOINTERFERENCIA RF (RADIO FREED)	Opcional ¹⁸	
CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS		
TENSIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (kV)	25	
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. EN SECO (kV)	95	
TENSIÓN DE CONTORNEO FREC. IND. BAJO LLUVIA (kV)	60	
TENSIÓN CRÍTICA TIPO IMPULSO - POSITIVA (kV)	150	
TENSIÓN CRÍTICA TIPO IMPULSO - NEGATIVA (kV)	190	
TENSIÓN DE PERFORACIÓN EN ACEITE (kV)	130	
LOW FREQUENCY TEST VOLTAGE (RMS TO GROUND) (kV)	15	
MAXIMUM RIV AT 1000 KHZ (μV)	8000	100
CARACTERISTICAS MECÁNICAS		
RESISTENCIA ELECTROMECAÁNICA (kN)	11	
CARACTERISTICAS DIMENSIONALES (mm)		
DISTANCIA DE FUGA (mm)	330	
DISTANCIA DE ARCO (mm)	178	
ALTURA MÍNIMA DEL PIN (mm)	152	

Tabla A 3. ANSI 56-1.

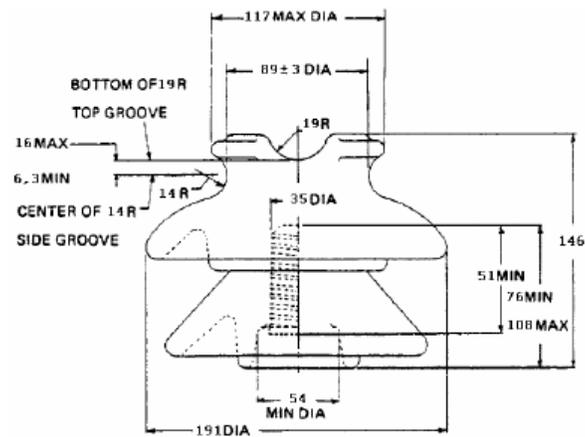


Figura A 3. Aislador tipo Pin.

ACOMETIDA POLIDEPORTIVO

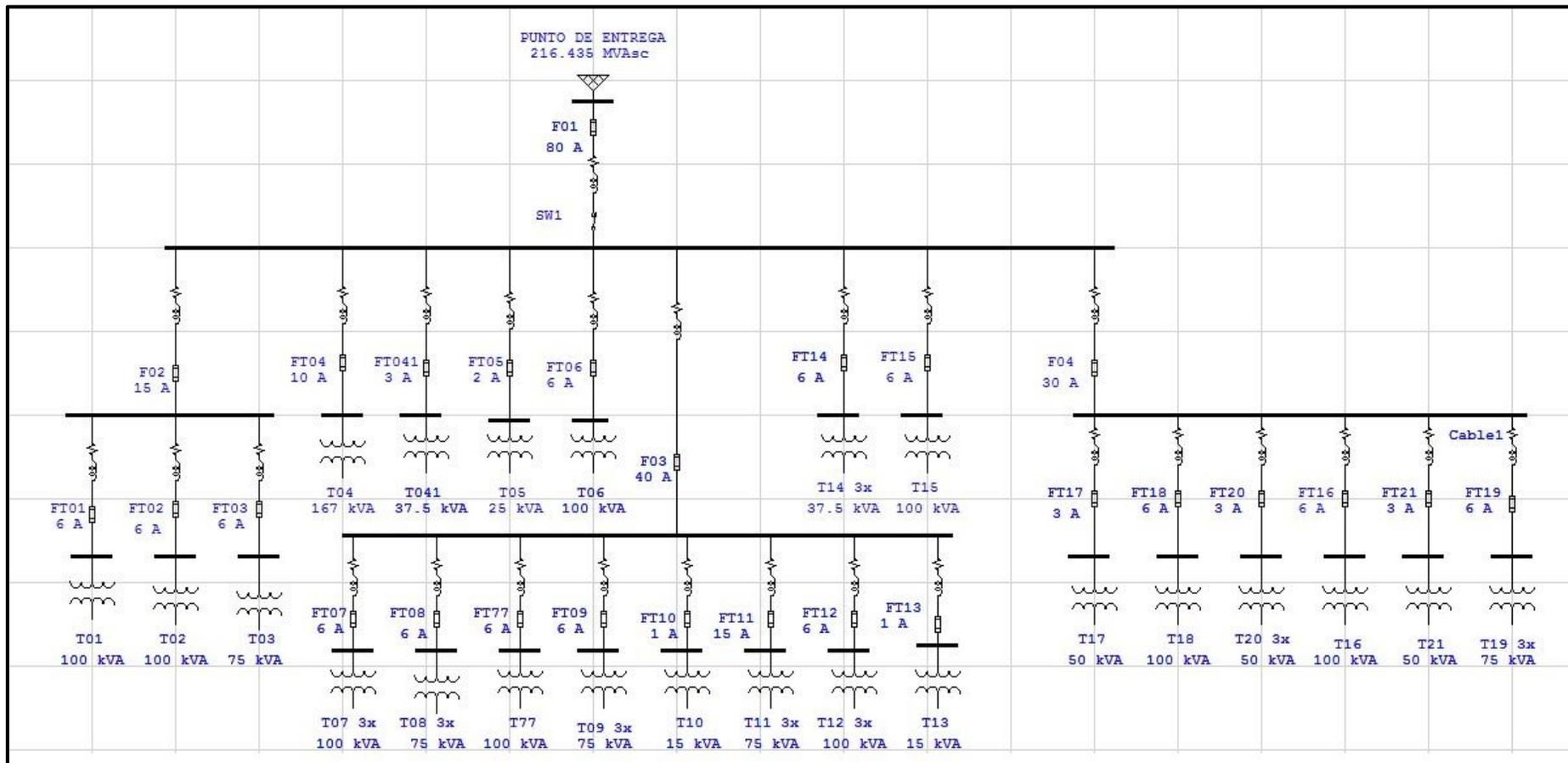


Figura B 2. Cargas en Acometida Polideportivo.

ACOMETIDA HUMANIDADES

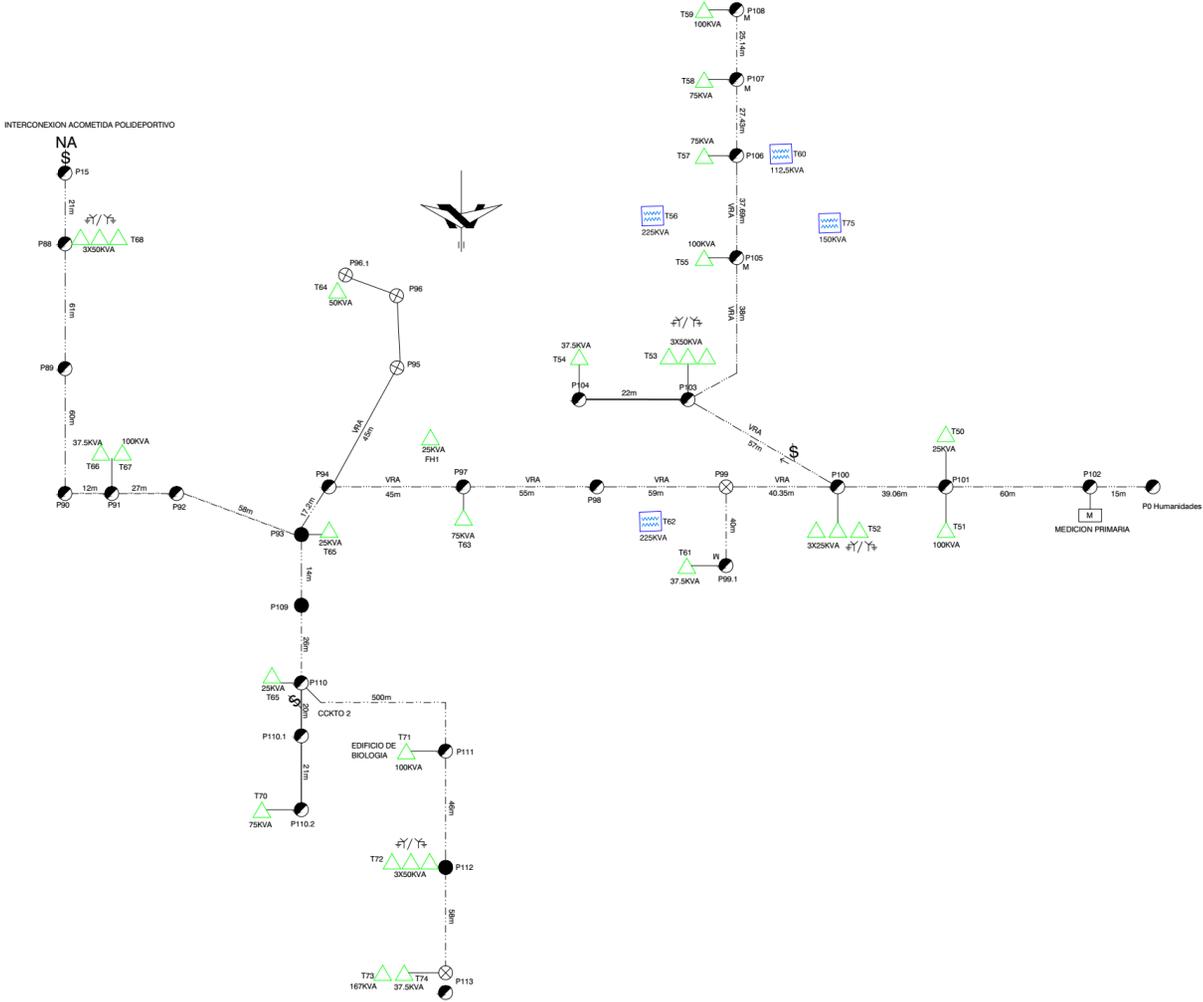


Figura B 3. Diagrama Unifilar Humanidades.

ACOMETIDA HUMANIDADES.

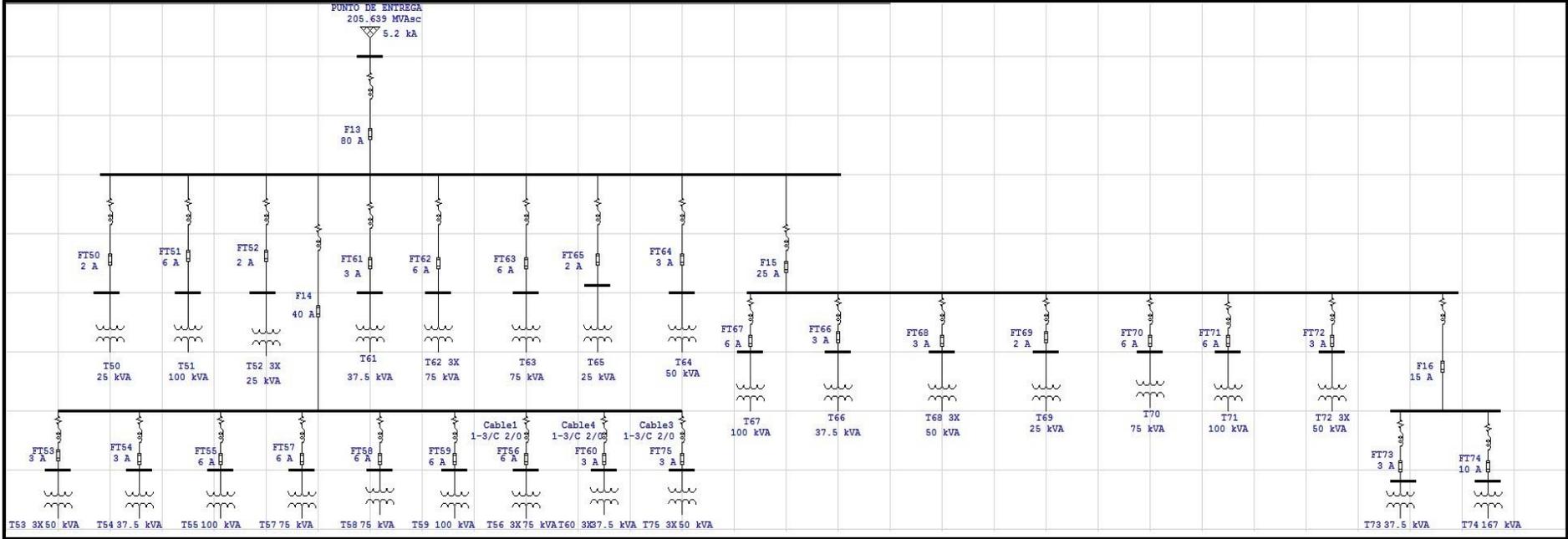


Figura B 4.Cargas en Acometida Humanidades.

ACOMETIDA AGRONOMIA

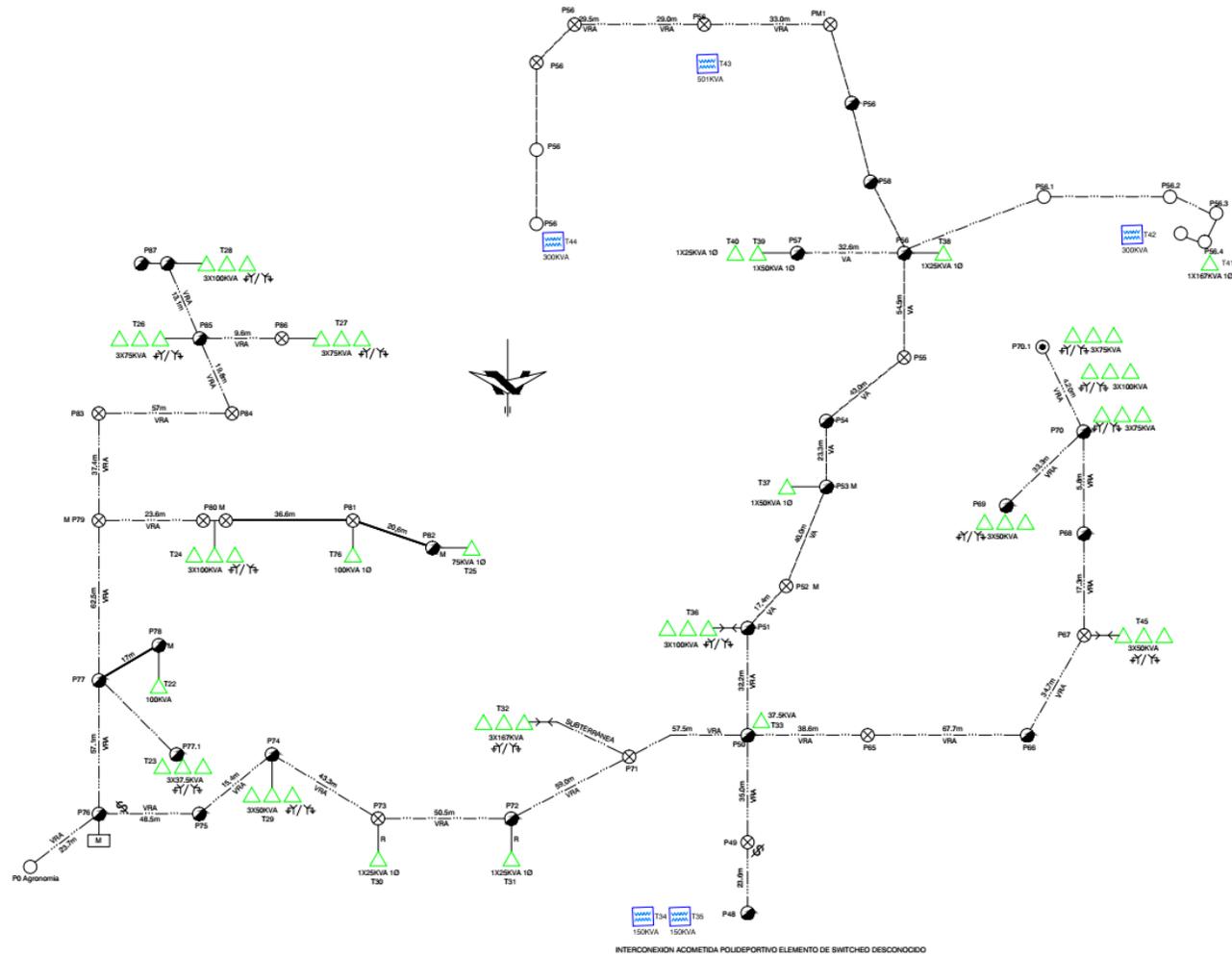


Figura B 5. Diagrama Unifilar Agronomía.

ACOMETIDA AGRONOMIA

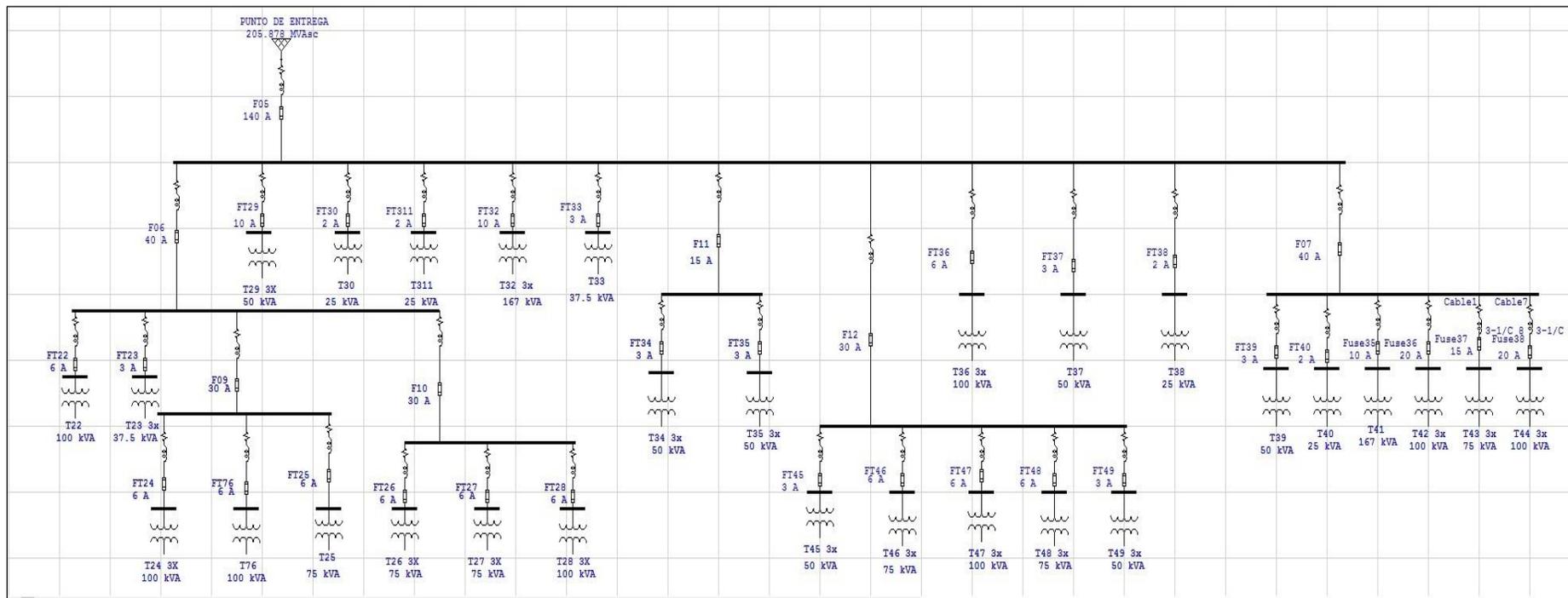


Figura B 6. Cargas en Acometida Agronomía.

ANEXO C. RESUMEN DE TRANSFORMADORES POR ACOMETIDA CON SU RESPECTIVO FUSIBLE Y CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFASICO

INGENIERIA			
KVA	FUSIBLE	Amp	Cckt (kA)
2859.5	F01	80	5.35
275	F02	15	5.26
100	FT01	6	5.08
100	FT02	6	5.09
75	FT03	6	5.18
167	FT04	10	5.24
37.5	FT041	3	5.24
25	FT05	2	5.28
100	FT06	6	5.24
1405	F03	40	5.21
300	FT07	6	5.16
225	FT08	6	5.09
225	FT09	15	4.99
15	FT10	1	4.98
225	FT11	15	4.93
300	FT12	6	4.85
15	FT13	1	4.83
100	FT77	6	5.09
112.5	FT14	6	5.27
100	FT15	6	5.28
675	F04	30	5.21
50	FT17	3	5.19
100	FT18	6	5.19
150	FT20	10	5.17
100	FT16	6	5.13
50	FT21	3	5.05
225	FT19	15	5.2

Figura C 1. Corrientes de cortocircuito en Acometida Polideportivo.

HUMANIDADES			
KVA	FUSIBLE	Amp	Cckt (kA)
1692	F13	80	5.15
25	FT50	2	5.09
100	FT51	6	5.09
25	FT52	2	5.05
637.5	F14	40	5.05
50	FT53	10	4.99
37.5	FT54	3	4.96
100	FT55	6	4.95
75	FT57	6	4.9
75	FT58	6	4.87
100	FT59	6	4.85
75	FT56	6	5.01
75	FT60	6	5.01
50	FT75	3	4.98
37.5	FT61	3	4.96
75	FT62	6	4.98
75	FT63	6	4.88
25	FT65	2	4.82
50	FT64	3	4.74
642	F15	25	4.82
100	FT67	6	4.73
37.5	FT66	3	4.73
50	FT68	10	4.58
25	FT69	2	4.77
75	FT70	6	4.77
100	FT71	6	4.72
50	FT72	3	4.67
204.5	F16	15	4.67
37.5	FT73	3	4.61
167	FT74	10	4.61

Figura C 2. Corrientes de Cortocircuito en Acometida Humanidades.

AGRONOMIA			
KVA	FUSIBLE	Amp	Cckt (kA)
4968	F05	140	5.16
1437.5	F06	40	5.1
100	FT22	6	5.03
112.5	FT23	3	5
475	F09	30	4.99
300	FT24	6	4.97
100	FT76	6	4.92
75	FT25	6	4.9
750	F10	30	4.95
225	FT26	6	4.89
225	FT27	6	4.88
300	FT28	6	4.88
150	FT29	3	5.09
25	FT30	2	5.05
25	FT311	2	5
501	FT32	10	4.91
37.5	FT33	3	4.89
300	F11	20	4.86
150	FT34	3	4.84
150	FT35	3	4.84
1050	F12	30	5.09
150	FT45	3	5.05
225	FT46	6	5.04
300	FT47	6	5.03
225	FT48	6	5.02
150	FT49	3	5.01
300	FT36	6	4.86
50	FT37	3	4.81
25	FT38	2	4.69
1067	F07	40	4.69
50	FT39	3	4.66
25	FT40	2	4.66
167	FT41	10	4.51
300	FT42	6	4.51
225	FT43	6	4.34
300	FT44	6	3.96

Figura C 3. Corriente de Cortocircuito Acometida Agronomía.

ANEXO D. VEGETACION CON PODA CRÍTICA Y PUNTOS DE RIESGO, FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



Figura D 1. Árbol A1.



Figura D 2. Árbol A2.



Figura D 3. Árbol A3.



Figura D 4. Árbol A4.



Figura D 5. Árbol A5.



Figura D 6. Árbol A6.

Poda de reducción de copa: Se realiza la poda de la copa del árbol hasta dejarla a una distancia inferior de la línea. La intensidad del corte depende de las características arquitecturales del árbol y de su altura. Al final de la poda debe de quedar formada, lo más posible, la estructura original del árbol, tal y como se aprecia a continuación.

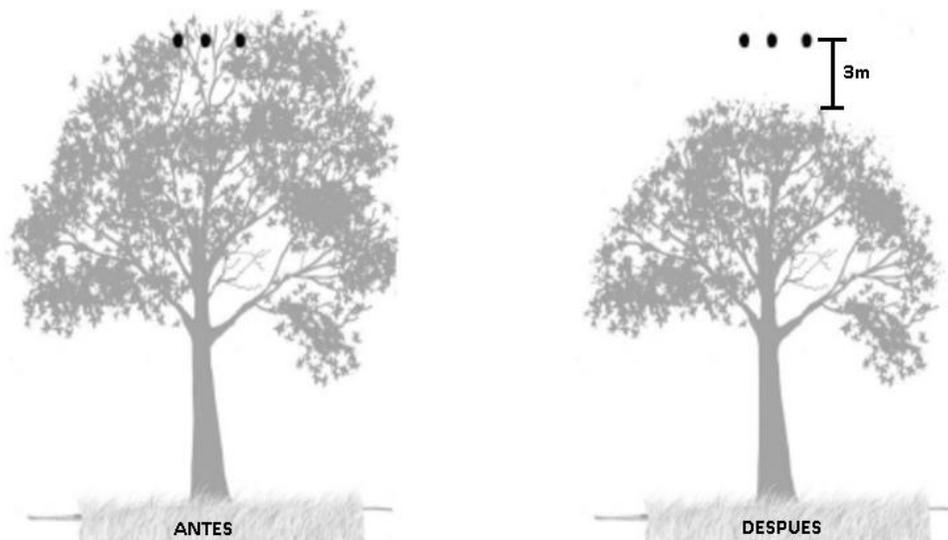


Figura D 7. Poda de reducción de copa.

Poda de elevación de copa: Se podan todas las ramas bajas de árbol hasta formar una copa en el último tercio del mismo, tal y como se aprecia en la siguiente figura. Es muy utilizada en plantaciones forestales y en sitios que se encuentren especies como Pino y Ciprés.

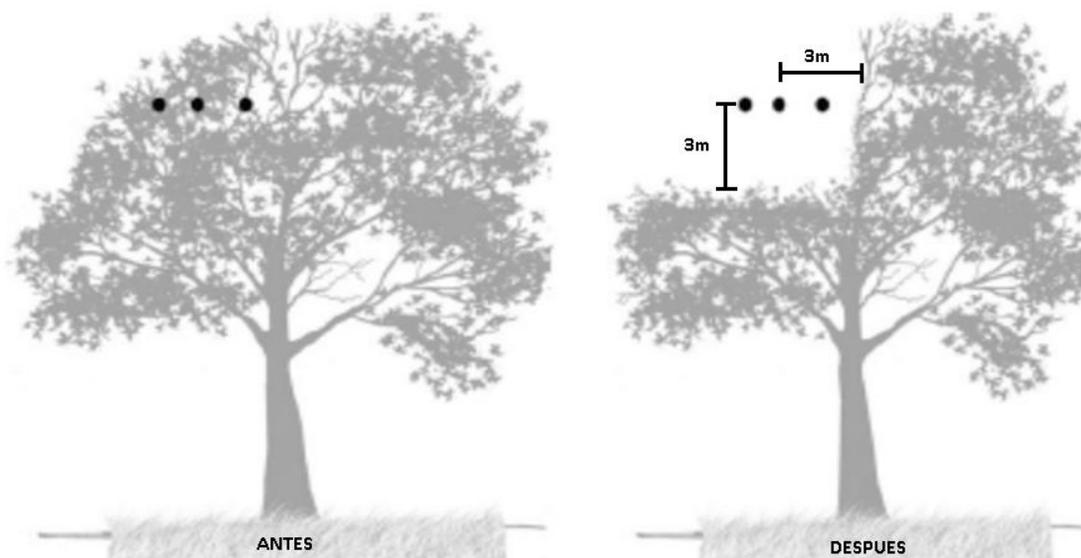


Figura D 8. Poda de elevación de copa.

Poda en forma de "V": Utilizada en árboles que crecen a un por debajo de las líneas.

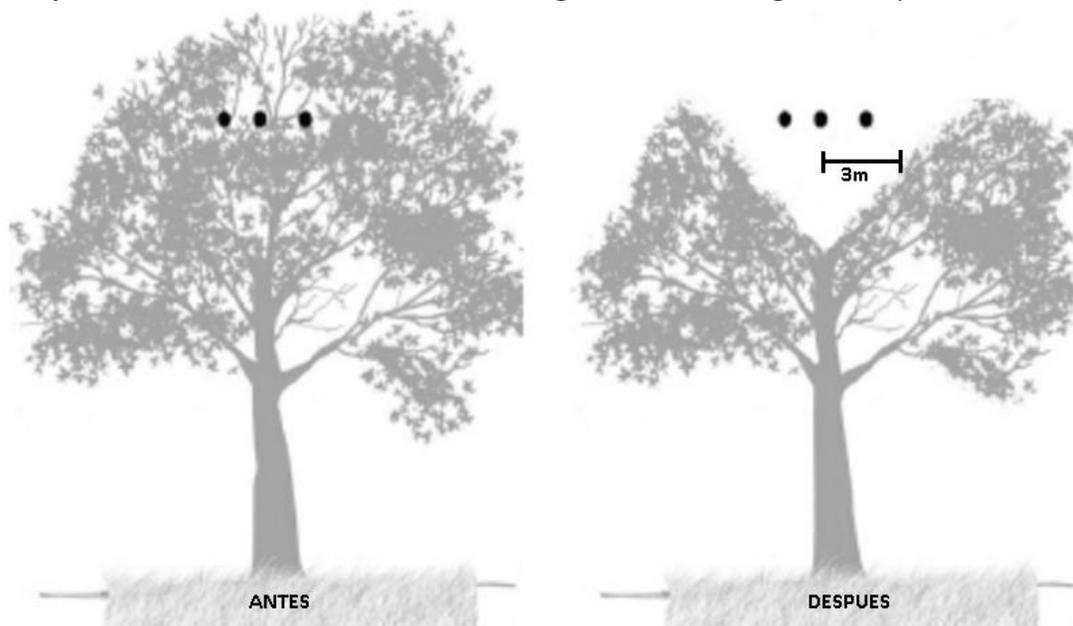


Figura D 9. Poda en forma de V.

ANEXO E. CURVAS CARACTERISTICAS PARA FUSIBLES TIPO T

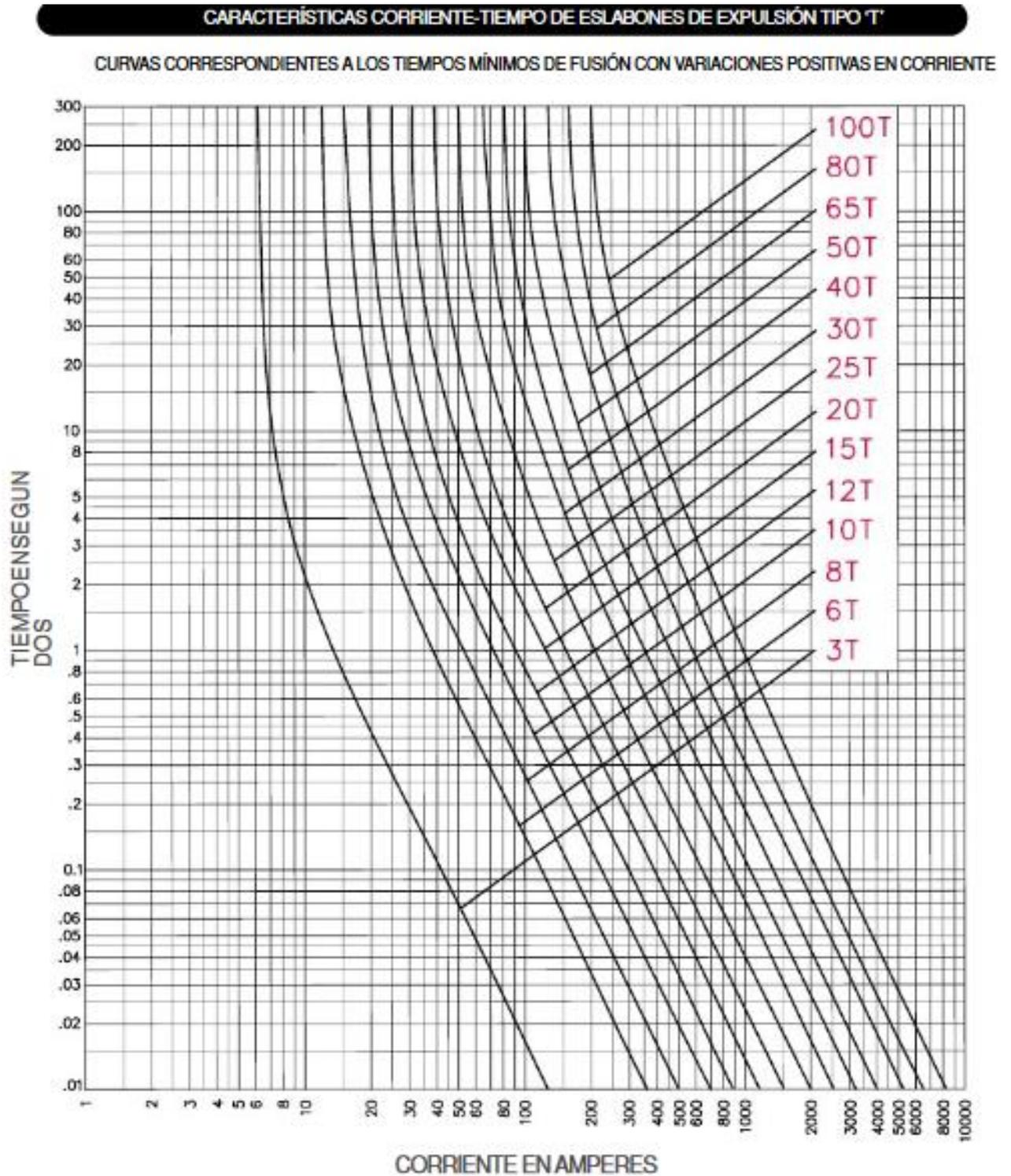


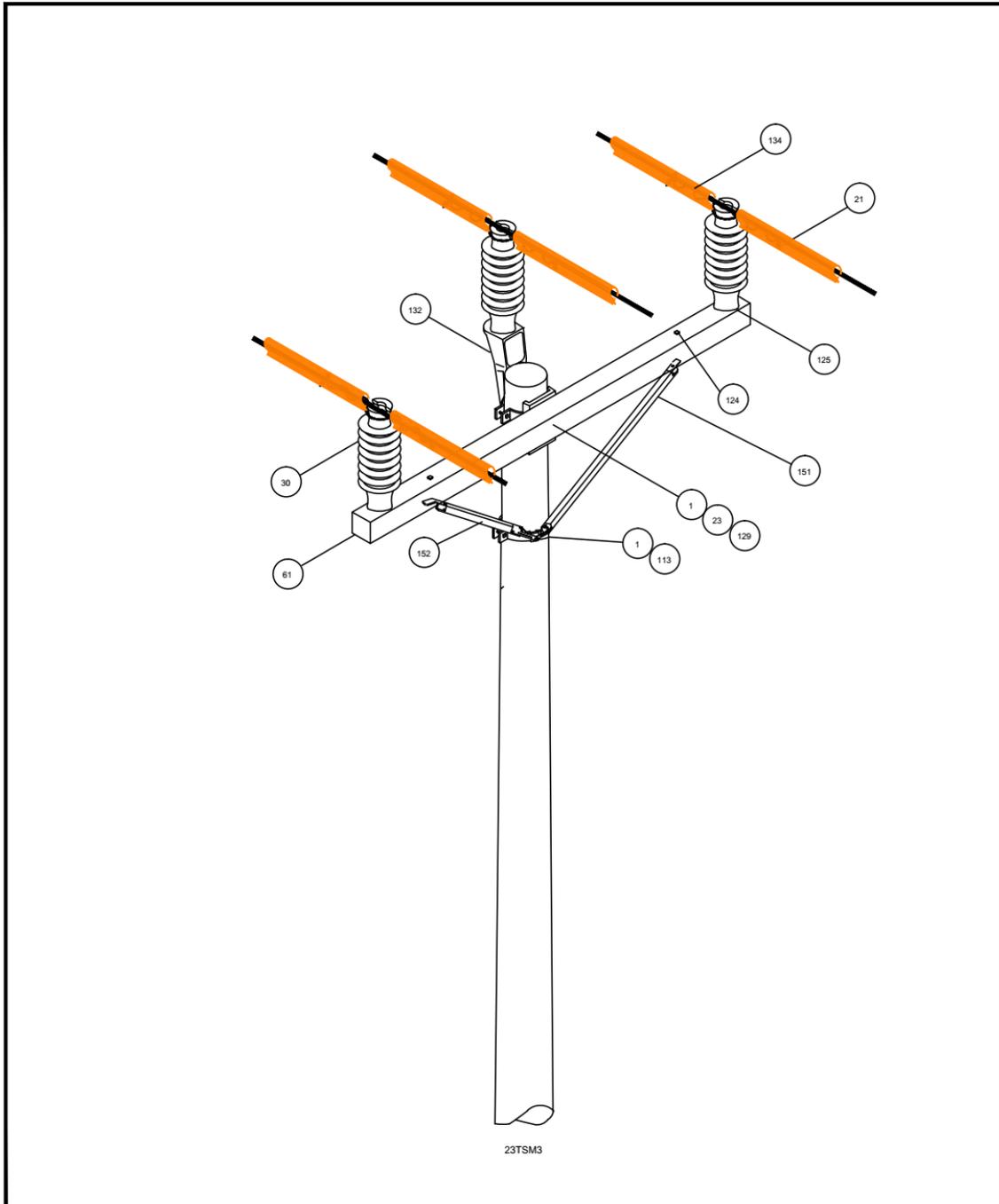
Figura E 1. Fusibles tipo T.

Kearney Type K or T Fuse Link Ratings for Three-Phase Individual Transformer Sizes In Closed Delta and Common Legs of Open Delta

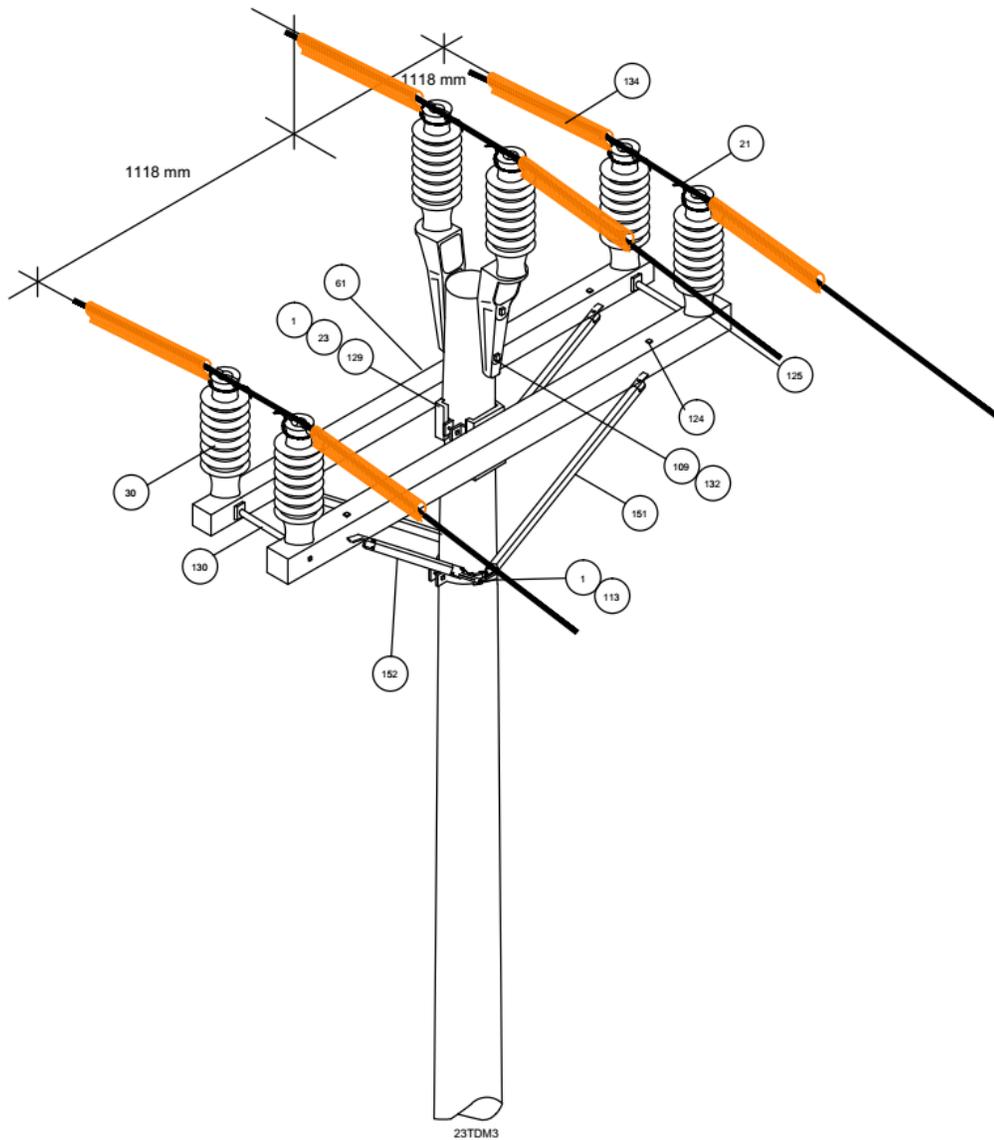
Kva	RATED LINE VOLTAGE (kV)										
	2.4	4.16	4.8	7.2	8.32	12	12.47	13.2	13.8	14.4	22.9
3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	6	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1
7.5	8	6	3	3	2	2	2	1	1	1	1
10	10	6	6	3	3	2	2	2	2	2	1
15	15	8	8	6	6	3	3	3	3	3	2
25	25	15	12	8	6	6	6	6	3	3	3
37.5	40	25	20	12	10	18	10	6	6	6	3
50	50	30	25	15	15	10	10	10	8	8	6
75	80	50	40	25	25	15	15	15	12	12	8
100	100	65	50	30	30	20	20	20	15	15	10
150	140	100	80	50	50	30	30	30	25	25	15
167	140	100	80	65	50	30	30	30	30	30	20
200	200	100	100	65	65	40	40	40	30	30	20
250	200	140	100	80	80	50	50	50	40	40	25
333	200	140	140	100	100	65	65	65	65	65	40
500	-	200	200	140	140	100	100	100	80	80	50

Tabla E 1. Rangos de Fusibles tipo T.

ANEXO F. ESTANDARES PARA LA CONSTRUCCION DE LINEAS AREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CON CRUCERO DE MADERA

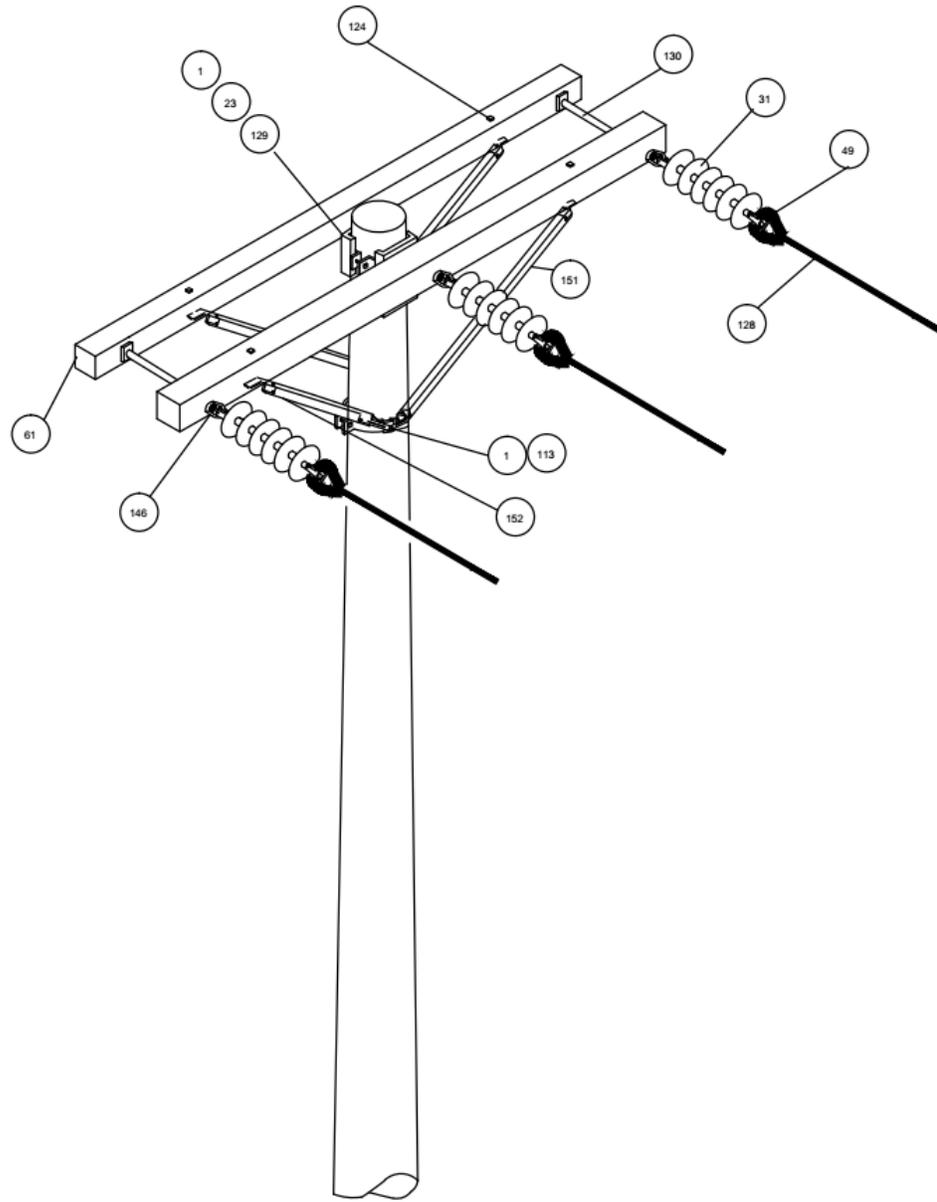


CODIGO:	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA
23TSM2 23TSM3	SUSTITUYE AL EMITIDO:	TANGENTE SENCILLA MADERA
	APROBO:	



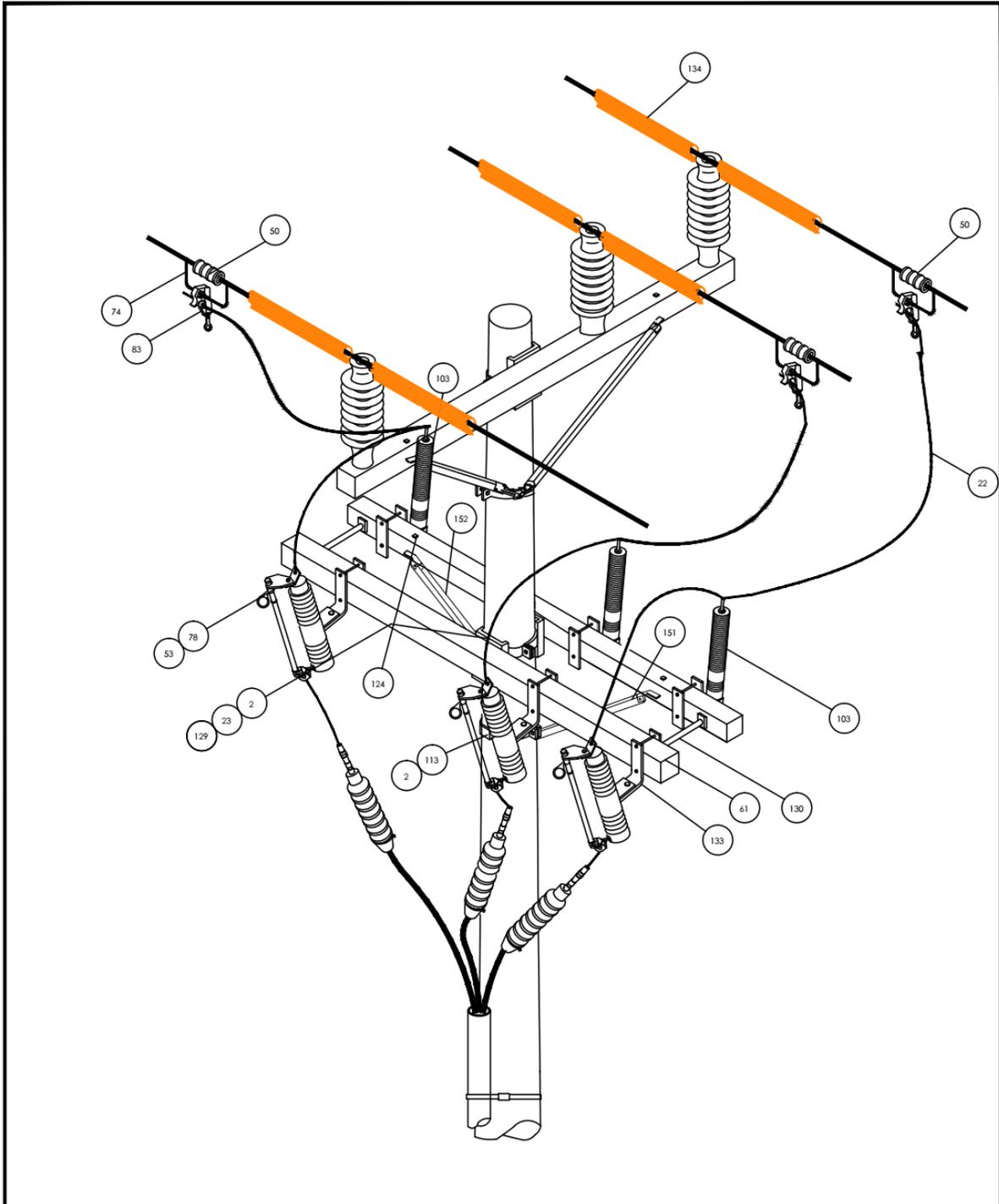
CODIGO: 23TDM2 23TDM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA TANGENTE DOBLE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		TANGENTE DOBLE MADERA	COD: 23TDM2,23TDM3					
			VOLTAJE NOMINAL: 23 kV					
No	CODIGO ALMACEN	DESCRIPCION	1 FASE		2 FASES		3 FASES	
			P	A	P	A	P	A
61		Cruceiro de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
1		Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)				2		2
30		Aislador line post ANSI 57-3 46 KV				4		6
21		Alambre para amarre S/R				4 m		6 m
23		Almohadilla para cruceiro				2		2
125		Perno para aislador tipo poste 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)				4		6
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)				4		4
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				4		4
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				2		2
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				2		2
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				2		2
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				1		1
109		Perno máquina 5/8 x 12" (15.875 x 304mm)						2
132		Soporte punta de poste						2
OBSERVACIONES: 1. P: Perno 2. A: Abrazadera 3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos 1/2 x 4 1/2" (12.7 x 114.3 mm) 4. S/R: según requisición. 5. m: metros. 6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros. 7. El cable de retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo. 8. Deberán utilizarse Varillas de Blindaje Preformadas para la protección de líneas con vanos entre postes mayores a 100 ms.								
23TDAM2 23TDAM3		EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA					
		SUSTITUYE AL EMTIDO:	TANGENTE DOBLE MADERA					
		APROBO:						



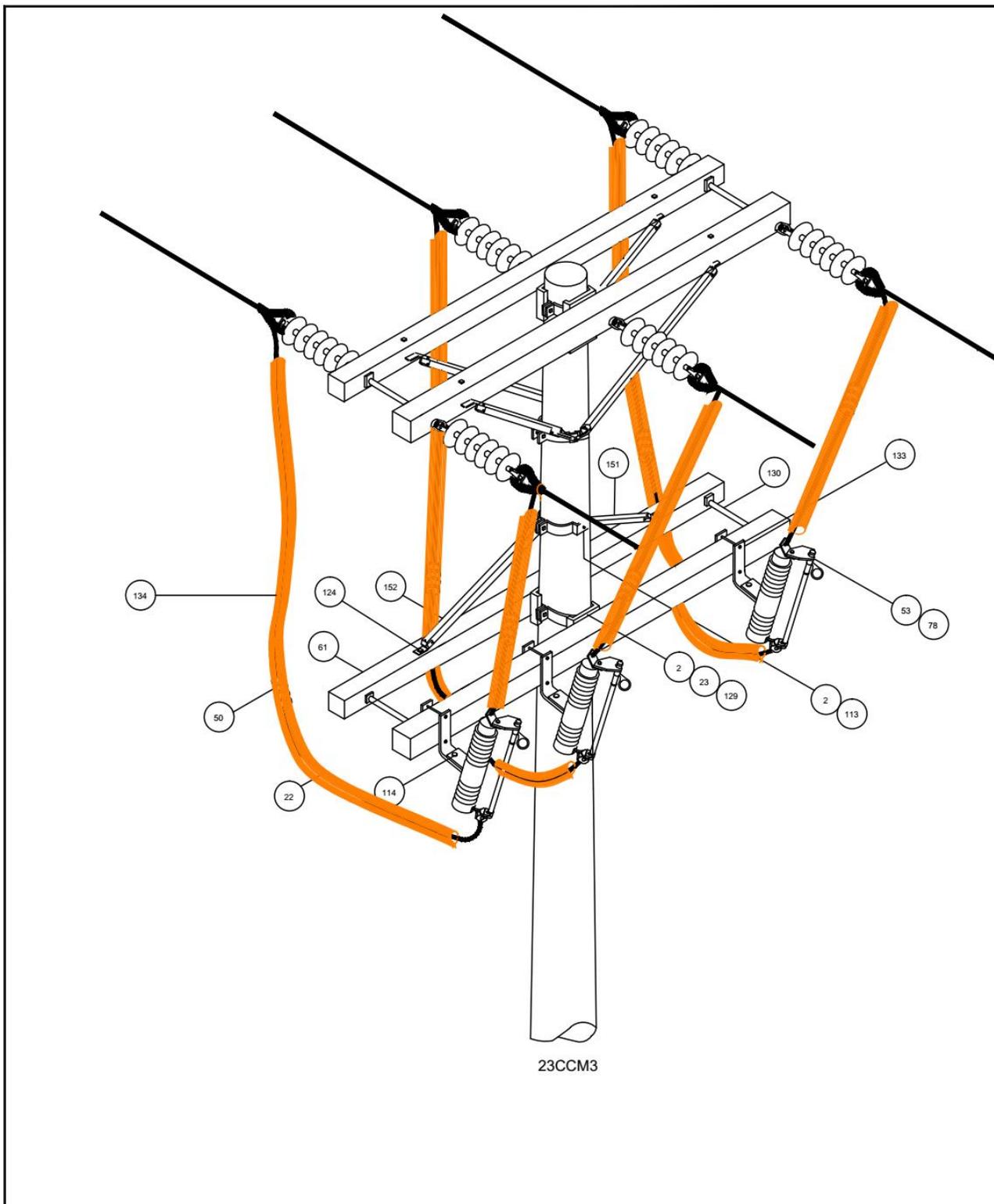
23RHM3

CODIGO: 23RHM2 23RHM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	REMATE HORIZONTAL MADERA



CODIGO: 23ASM2 23ASM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA ACOMETIDA SUBTERRANEA MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

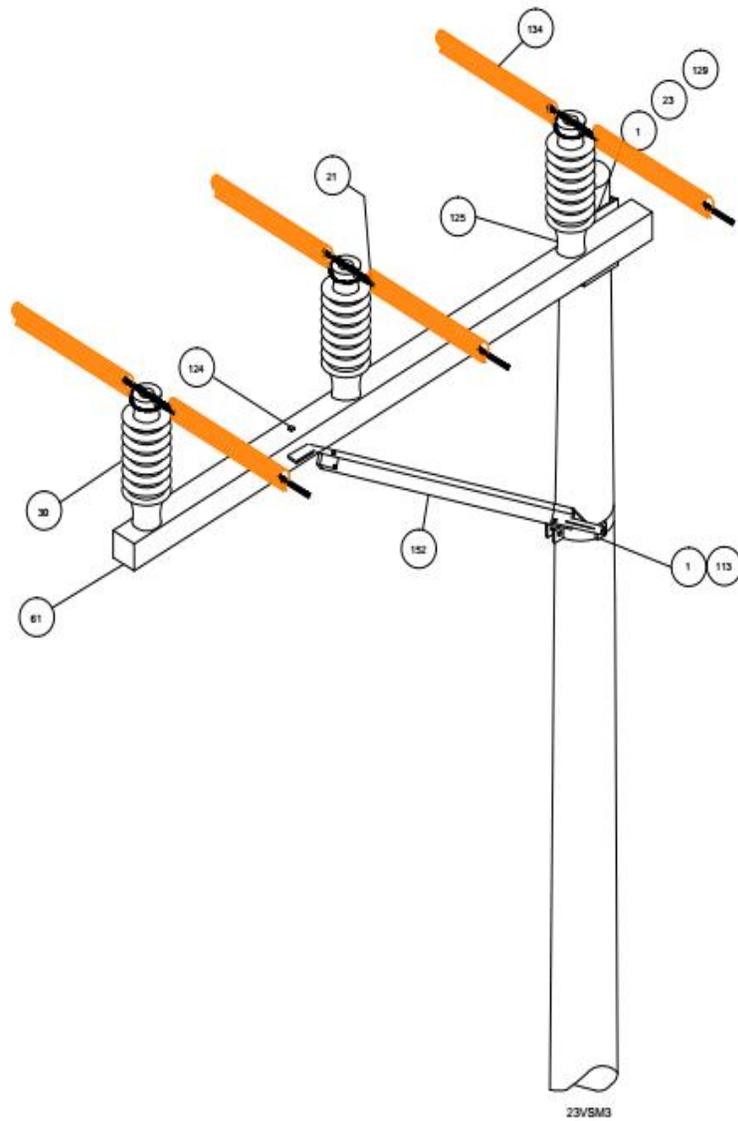
DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		ACOMETIDA SUBTERRANEA	COD: 23ASM2 , 23ASM3					
No	CODIGO ALMACEN		DESCRIPCION	VOLTAJE NOMINAL 23 kV				
		1 FASE		2 FASES		3 FASES		
		P		A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
2		Abrazadera completa 7 - 7 5/8" (177.8 - 193.7 mm)		2		2		2
22		Alambre de cobre #4, desnudo		12 m		15 m		18 m
23		Almohadilla para crucero				2		2
37		Barra para polo tierra 5/8" x 8' (15.9 mm x 2.4 m)		1		1		1
50		Conector de compresión S/R		1		2		3
51		Conector universal S/R		1		1		1
53		Cortacircuito 25 kV, 100 A		1		2		3
74		Estribo para grapa de línea viva S/R		1		2		3
133		Bracket para madera				4		6
78		Fusible tipo "T" S/R		1		2		3
83		Grapa para línea viva		1		2		3
84		Grapa para polo a tierra		1		1		1
103		Pararrayos tipo distribución 21 kV		1		2		3
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)				1		1
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				2		2
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				2		2
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				2		2
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				2		2
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				2		2
OBSERVACIONES:								
<p>1. P: Perno</p> <p>2. A: Abrazadera</p> <p>3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos ½ x 4 ½" (12.7 x 114.3 mm)</p> <p>4. S/R: según requisición.</p> <p>5. m: metros.</p> <p>6. El listado de materiales no incluye los accesorios para la instalación del cable subterráneo.</p> <p>7. Los cortacircuitos serán colocados para poderlos operar al lado de la calle.</p> <p>8. Entorchar el neutro de los conductores de fase y conectarlos al neutro del sistema y/o a la red local.</p> <p>9. La distancia mínima entre el ducto de la acometida y el crucero de los cortacircuitos será de 1.5 metros (5 pies) manteniendo, no obstante, la altura mínima sobre la superficie del suelo de 6.5 mts.</p>								
23RHM2 23RHM3		EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA					
		SUSTITUYE AL EMITIDO:	ACOMETIDA SUBTERRANEA MADERA					
		APROBO:						



23CCM3

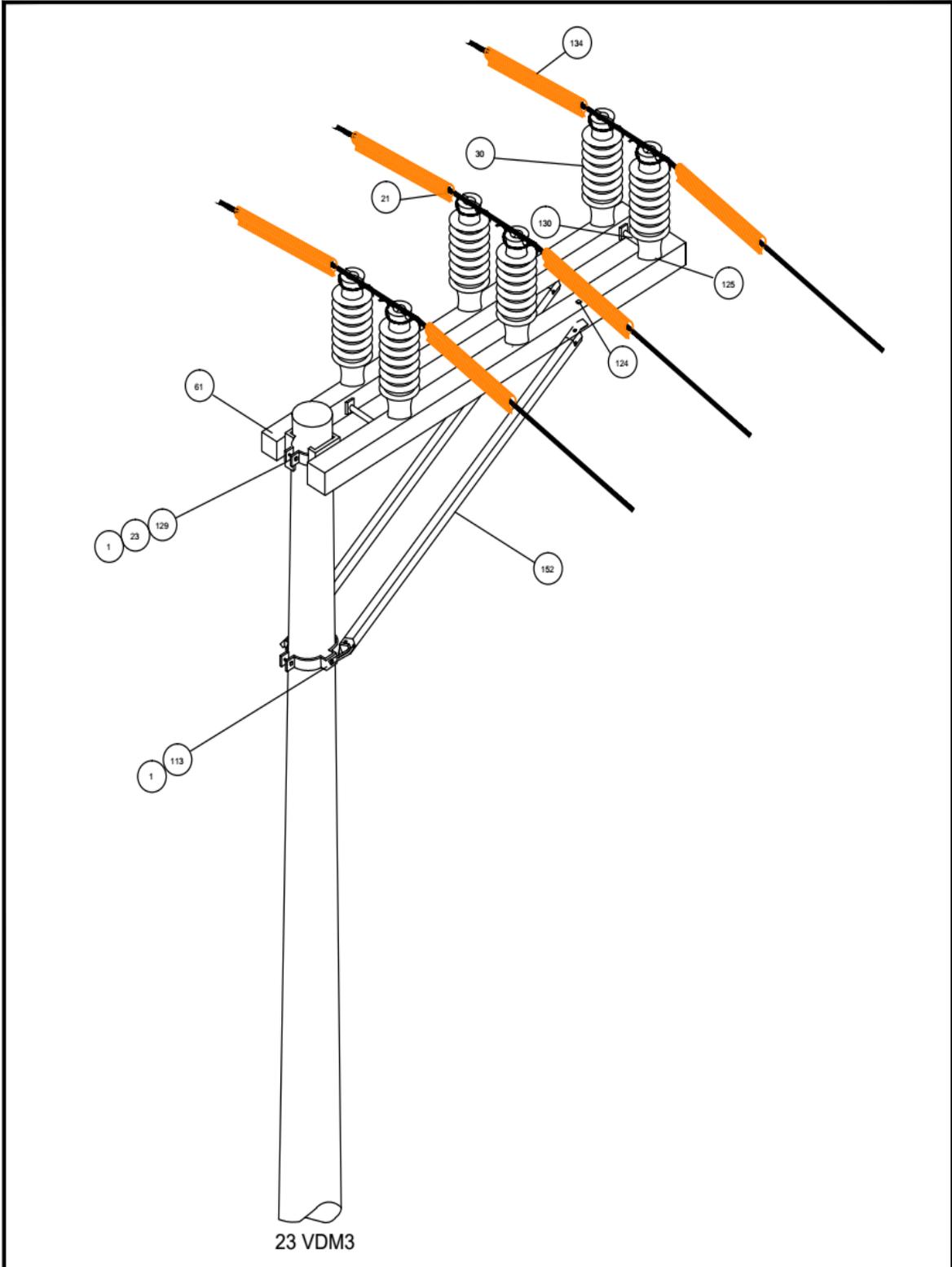
CODIGO: 23CCM2 23CCM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA INSTALACION DE CORTACIRCUITOS MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

DESCRIPCION DE MATERIALES									
ESTRUCTURA:		INSTALACION DE CORTACIRCUITOS				COD: 23CCM2, 23CCM3			
						VOLTAJE NOMINAL 23 kV			
No	CODIGO ALMACEN	DESCRIPCION	1 FASE		2 FASES		3 FASES		
			P	A	P	A	P	A	
61		Crucero de madera 8' x4 3/4"x3 3/4"				2		2	
134		Tubo Termotractil				6		9	
22		Alambre de cobre #4, desnudo				4 m		6	
50		Conector de compresi3n S/R				4		6 m	
23		Almohadilla para crucero				2		2	
53		Cortacircuito 25 kV, 100 A				2		3	
78		Fusible tipo "T" S/R				2		3	
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				1		1	
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				1		1	
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				2		2	
129		Perno m3quina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				2		2	
113		Perno m3quina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)				2		2	
133		Bracket para madera				2		3	
114		Perno m3quina 1/2 x 1 1/2" (12.7 x 38.1 mm)				2		3	
124		Perno m3quina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				2		2	
2		Abrazadera completa 7 - 7 5/8" (177.8 - 193.7 mm)				2		2	
OBSERVACIONES:									
1. P: Perno									
2. A: Abrazadera									
3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos 1/2 x 4 1/2" (12.7 x 114.3 mm)									
4. S/R: seg3n requisici3n.									
5. m: metros.									
23CCM2 23CCM3		EN VIGENCIA DESDE:			ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA				
		SUSTITUYE AL EMITIDO:			INSTALACION DE CORTACIRCUITOS MADERA				
		APROBO:							



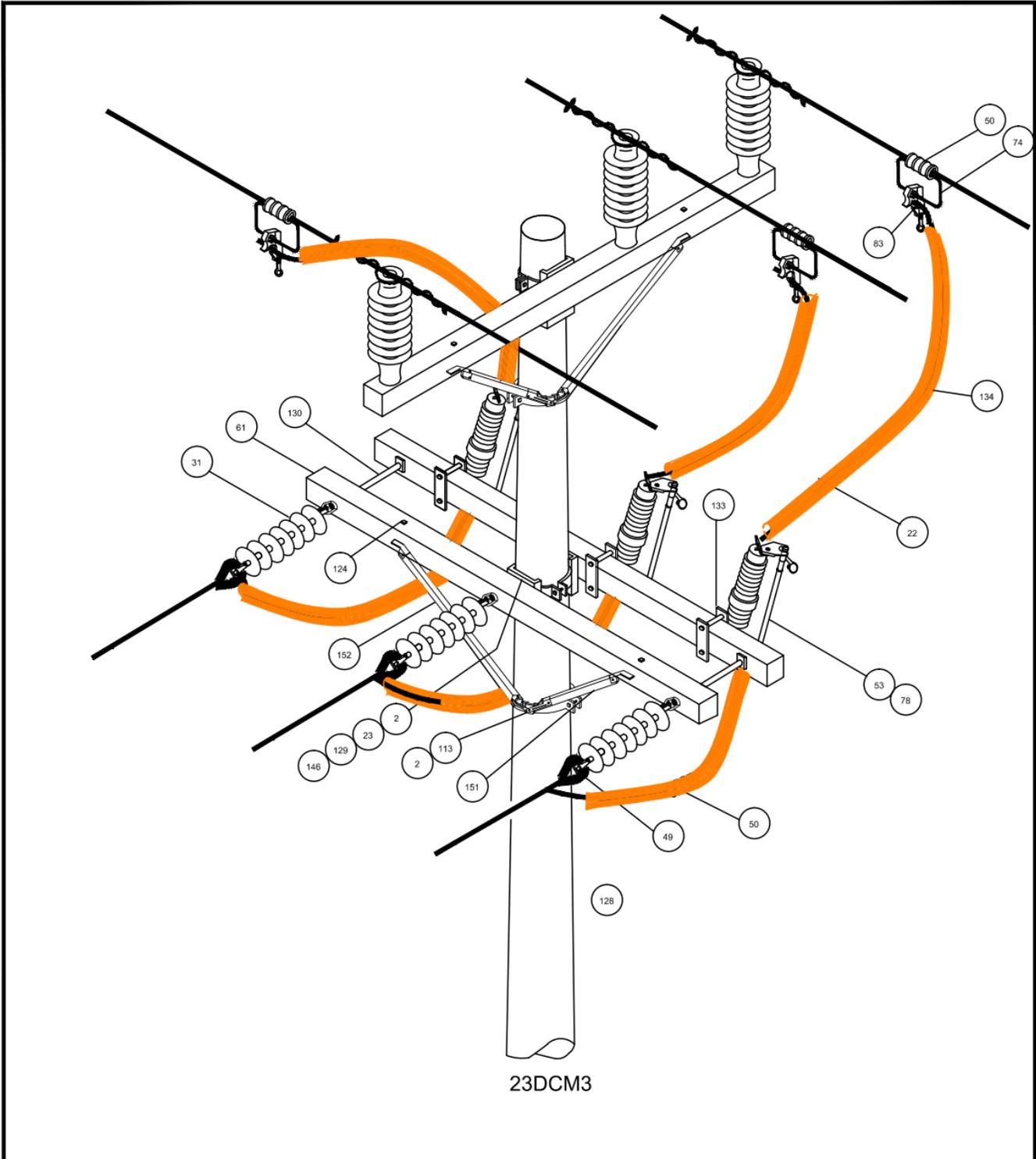
CODIGO: 23VSM1 23VSM2 23VSM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	VOLADA SENCILLA MADERA
	APROBO:	

DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		VOLADA SENCILLA		COD: 23VSM1,23VSM2,23VSM3				
				VOLTAJE NOMINAL 23 kV				
No	CODIGO ALMACEN	DESCRIPCION	1 FASE		2 FASES		3 FASES	
			P	A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
1		Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)		2		2		2
30		Aislador line post ANSIS7-3 46KV		1		2		3
21		Alambre para amarre S/R		2 m		4 m		6 m
23		Almohadilla para crucero		1		1		1
125		Perno para aislador tipo columna 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)				2		3
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)		2		2		2
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				1		1
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				1		1
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				1		1
<p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P: Perno 2. A: Abrazadera 3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos 1/2 x 4 1/2" (12.7 x 114.3 mm) 4. S/R: según requisición. 5. m: metros. 6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros. 7. El cable de retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo. 8. Deberán utilizarse Varillas de Blindaje Preformadas para la protección de líneas con vanos entre postes mayores a 100 mts. 								
23VSM2 23VSM3		EN VIGENCIA DESDE:		ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA				
		SUSTITUYE AL EMITIDO:		VOLADA SENCILLA MADERA				
		APROBO:						



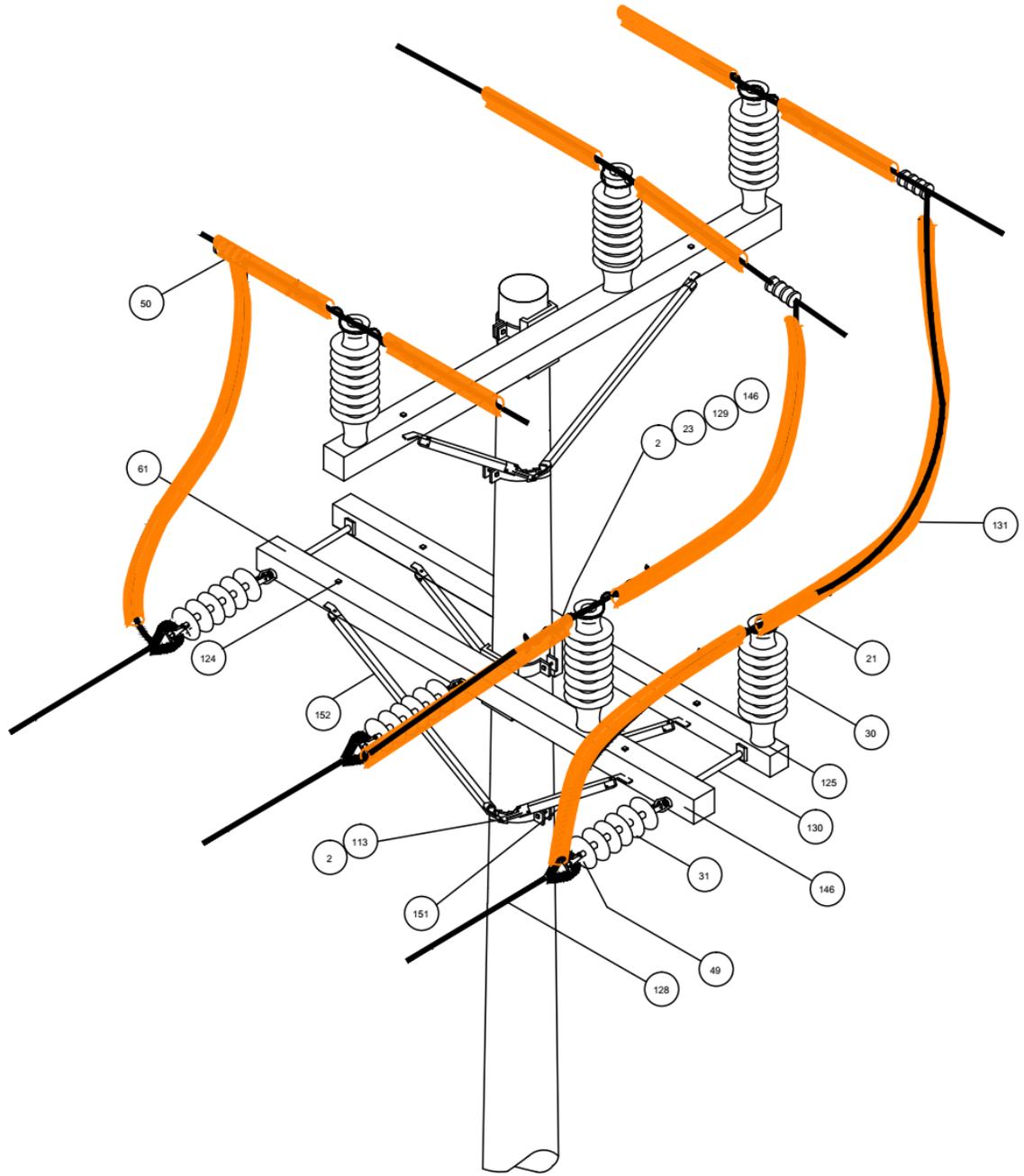
CODIGO: 23VDM2 23VDM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA VOLADA DOBLE MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		VOLADA DOBLE		COD: 23 VDM1, 23VDM2, 23VDM				
				VOLTAJE NOMINAL 23 kV				
No	CODIGO ALMACEN	DESCRIPCION	1 FASE		2 FASES		3 FASES	
			P	A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
1		Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)		2		2		2
30		Aislador line post ANSI 57-3 46KV		2		3		6
21		Alambre para amarre S/R		4 m		8 m		12 m
23		Almohadilla para crucero		2		2		2
125		Perno para aislador tipo columna 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)		2		4		6
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)		2		2		2
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)		2		2		2
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)		2		2		2
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)		2		2		2
OBSERVACIONES:								
1. P: Perno								
2. A: Abrazadera								
3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos ½ x 4 ½" (12.7 x 114.3 mm)								
4. S/R: según requisición.								
5. m: metros								
6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros.								
7. El cable de retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo.								
8. Deberán utilizarse Varillas de Blindaje Preformadas para la protección de líneas con vanos entre postes mayores a 100 mts.								
23VDM2 23VDM3		EN VIGENCIA DESDE:		ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA				
		SUSTITUYE AL EMITIDO:		VOLADA DOBLE MADERA				
		APROBO:						



CODIGO: 23DCM2 23DCM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA DERIVACION CON CORTACIRCUITOS MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

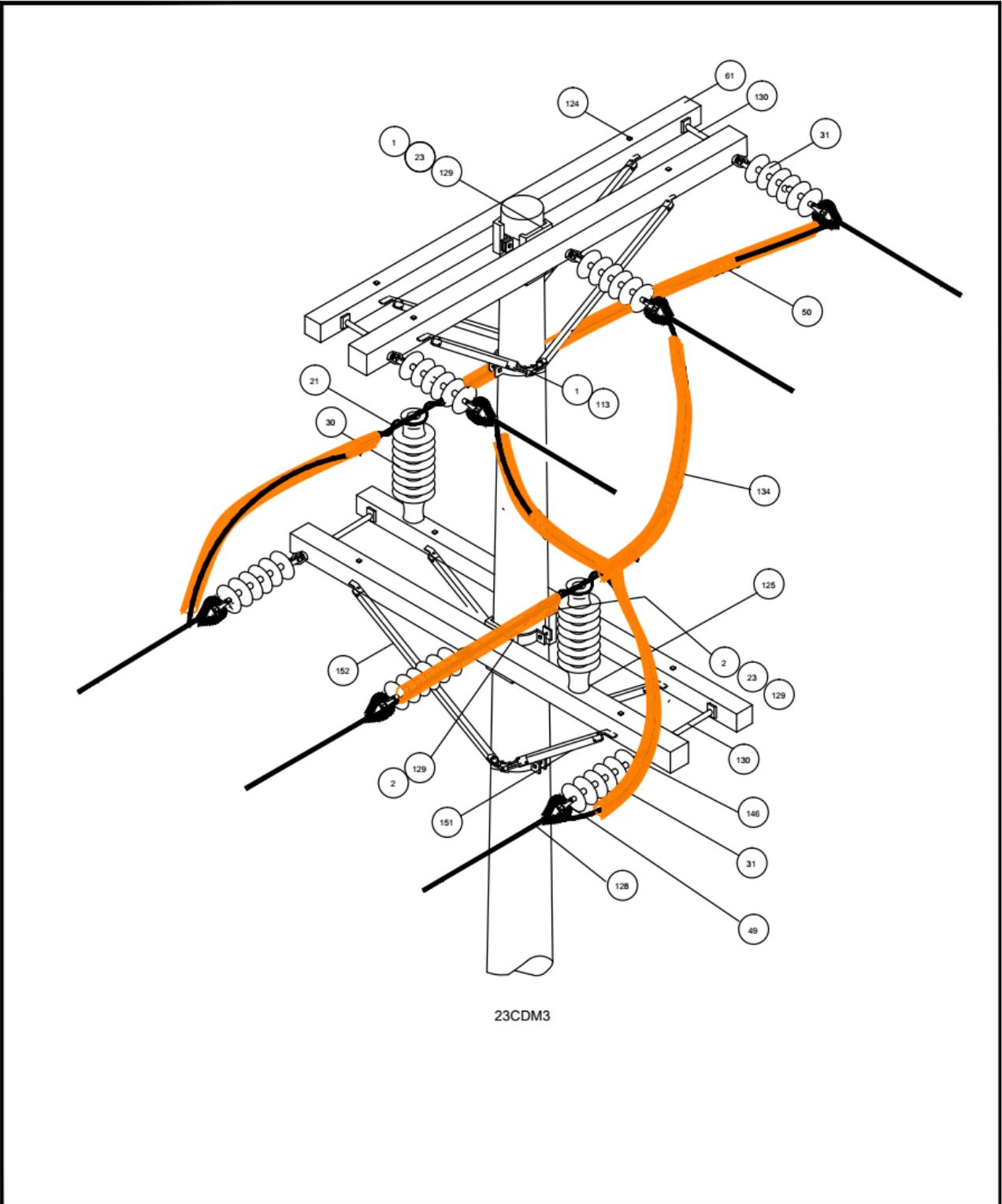
DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		DERIVACION CON CORTACIRCUITO		COD: 23DCM2 , 23DCM3				
				VOLTAJE NOMINAL 23 kV				
No	CODIGO ALMACEN	DESCRIPCION	1 FASE		2 FASES		3 FASES	
			P	A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x4 3/4"x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
2		Abrazadera completa 7 - 7 5/8" (177.8 - 193.7 mm)		2		2		2
31		Aislador de suspensión ANSI 52-4 46 kV		2		4		6
22		Alambre de cobre #4, desnudo		2 m		4 m		6 m
23		Almohadilla para crucero				2		2
49		Clevis de remate S/R		1		2		3
50		Conector de compresión S/R		2		4		6
53		Cortacircuito 25 kV, 100 A		1		2		3
74		Estribo para grapa de línea viva S/R		1		2		3
133		Bracket para madera				2		3
78		Fusible tipo T S/R		1		2		3
83		Grapa para línea viva		1		2		3
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)				1		1
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				4		4
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				4		4
128		Remate preformado S/R		1		2		3
146		Tuerca argolla 5/8" (15.9 mm)		1		2		3
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				2		2
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				2		2
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				2		2
OBSERVACIONES:								
<p>1. P: Perno</p> <p>2. A: Abrazadera</p> <p>3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos (½ x 4 ½").</p> <p>4. S/R: según requisición.</p> <p>5. m: metros.</p> <p>6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros.</p> <p>7. El cable de la retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo.</p>								
23DCM2 23DCM3		EN VIGENCIA DESDE:		ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA				
		SUSTITUYE AL EMITIDO:		DERIVACION CON CORTACIRCUITO MADERA				
		APROBO:						



23DHM3

CODIGO: 23DHM2 23DHM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA CRUCERO DE MADERA DERIVACION HORIZONTAL MADERA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	
	APROBO:	

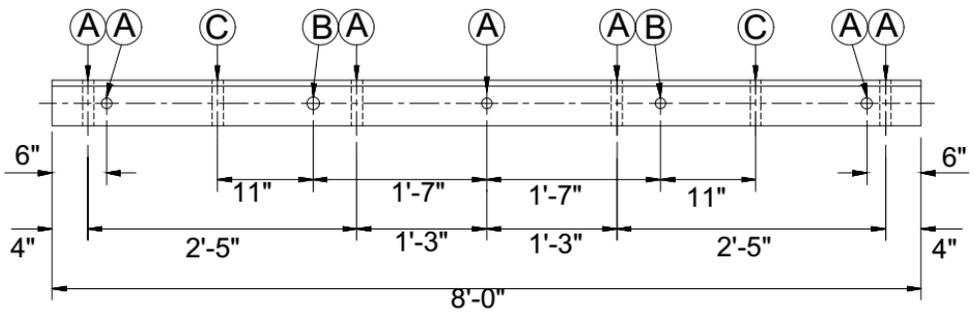
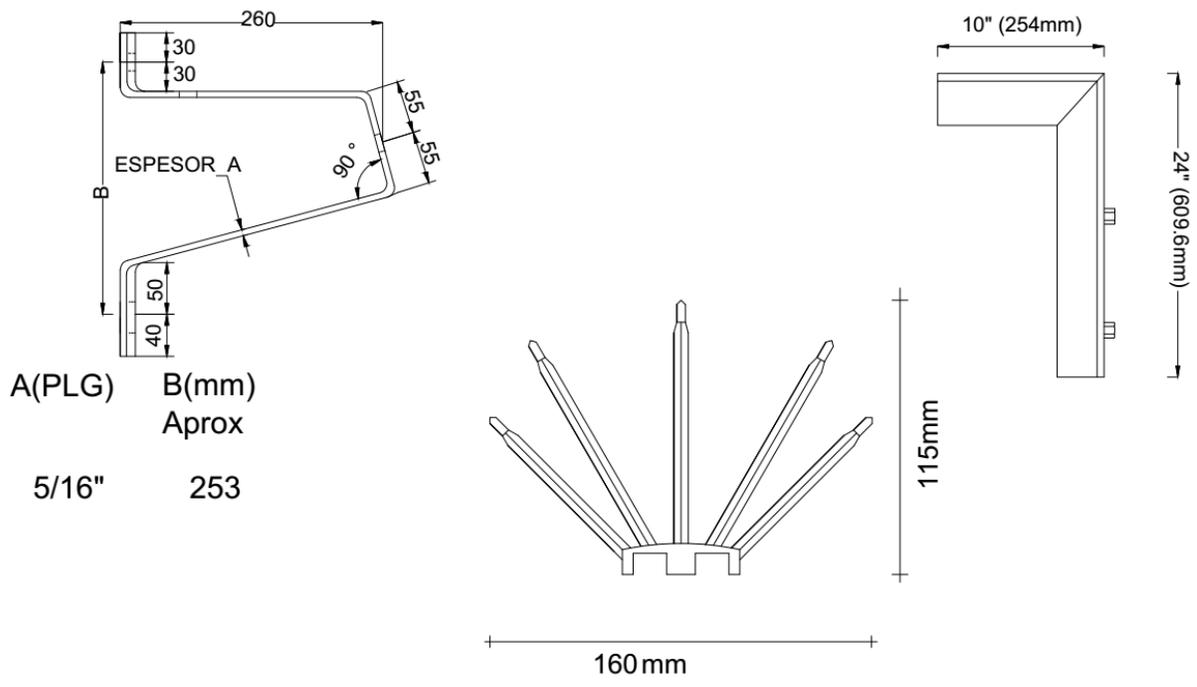
DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		DERIVACION HORIZONTAL MADERA	COD: 23DHM2,23DHM3					
No	CODIGO ALMACEN		DESCRIPCION	VOLTAJE NOMINAL 23 kV				
		1 FASE		2 FASES		3 FASES		
		P		A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x 4 3/4" x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil				6		9
2		Abrazadera completa 7 - 7 5/8" (177.8 - 193.7 mm)		1		2		2
30		Aislador line post ANSI 57-3 46 kV				1		2
31		Aislador de suspensión ANSI 52-4 46 kV		1		2		3
21		Alambre para amarre S/R				2 m		4 m
23		Almohadilla para crucero				2		2
49		Clevis de remate S/R		1		2		3
50		Conector de compresión S/R		1		2		3
125		Perno para aislador tipo poste 3/4 x 6" (19.01 x 88.9 mm)				1		2
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)		1		1		1
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				4		4
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				2		2
128		Remate preformado S/R		1		2		3
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				2		2
146		Tuerca argolla 5/8" (15.9 mm)		1		2		3
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				2		2
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				2		2
OBSERVACIONES: 1. P: Perno 2. A: Abrazadera 3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos 1/2 x 4 1/2" (12.7 x 114.3 mm) 4. S/R: según requisición. 5. m: metros. 6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros. 7. El cable de retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo.								
DHM2 DHM3		EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA					
		SUSTITUYE AL EMITIDO:	DERIVACION HORIZONTAL MADERA					
		APROBO:						



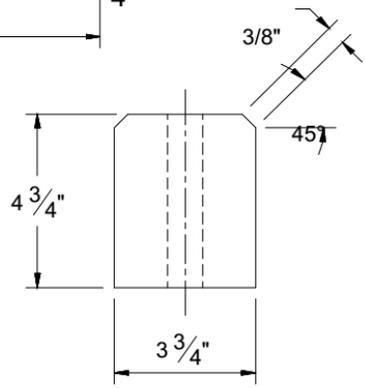
23CDM3

CODIGO: 23CDM2 23CDM3	EN VIGENCIA DESDE:	ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA
	SUSTITUYE AL EMITIDO:	CRUCE HORIZONTAL DOBLE REMATE MADERA
	APROBO:	

DESCRIPCION DE MATERIALES								
ESTRUCTURA:		CRUCE HORIZONTAL DOBLE REMATE	COD: 23CDM2, 23CDM3					
No	CODIGO ALMACEN		DESCRIPCION	/OLTAJE NOMINAL 23 kV				
		1 FASE		2 FASES		3 FASES		
			P	A	P	A	P	A
61		Crucero de madera 8' x 4 3/4" x 3 3/4"				2		2
134		Tubo Termotractil			6	4		9
1		Abrazadera completa 6 - 6 5/8" (152.4 - 168.3 mm)		2		2		2
2		Abrazadera completa 7 - 7 5/8" (177.8 - 193.7 mm)		2		2		2
30		Aislador line post columna ANSI 57-3 46 KV				1		2
31		Aislador de suspensión ANSI 52-4 46 KV		4		5		6
21		Alambre para amarre S/R				2 m		4 m
23		Almohadilla para crucero				4		4
49		Clevis de remate S/R		2		4		6
50		Conector de compresión S/R		1		2		3
113		Perno máquina 5/8 x 2" (15.9 x 50.8 mm)				4		4
151		Tirante derecho de madera de 35" (889 mm)				4		4
152		Tirante izquierdo de madera de 35" (889 mm)				4		4
125		Perno para aislador tipo columna 3/4 x 6" (19.01 x 152.4 mm)				2		3
146		Tuerca argolla 5/8" (15.9 mm)		2		4		6
129		Perno máquina 5/8 x 6" (15.875 x 152.4mm)				4		4
124		Perno máquina 1/2 x 6" (12.7 x 152.4 mm)				8		8
128		Remate preformado S/R		2		4		6
130		Perno todo rosca 5/8 x 18" (15.9 x 457.2 mm)				4		4
OBSERVACIONES:								
1. P: Perno 2. A: Abrazadera 3. Abrazadera completa: incluye solamente pernos de los extremos 1/2 x 4 1/2" (12.7 x 114.3 mm) 4. S/R: según requisición. 5. m: metros. 6. La longitud de los vanos en zona urbana será de 40 a 60 metros. 7. El cable de retenida será de acero galvanizado 5/16" (7.9 mm), Extra High Strength (49800 N). Para el material requerido en el anclaje, ver estándar respectivo. 8. Para conductores con calibres mayores o iguales que el #4/0, se utilizarán camisas no tensoras.								
23CDM1 23CDM2 23CDM3		EN VIGENCIA DESDE:			ESTANDAR DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA			
		SUSTITUYE AL EMITIDO:			CRUCE HORIZONTAL DOBLE REMATE MADERA			
		APROBO:						



TAMAÑO Y TOLERANCIA DE AGUJEROS			
	NOMINAL	DESDE	HASTA
Ⓐ	11/16"	5/8"	3/4"
Ⓑ	7/16"	3/8"	1/2"
Ⓒ	9/16"	1/2"	5/8"



CODIGO: ALP

**DIMENSIONES ACCESORIOS ESTRUCTURA
LINE POST Y CRUCERO DE MADERA**