



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE- RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO
ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE
COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO**

José David Mazariegos Murcia

Asesorado por el Ing. Oscar Laureano Orozco Joachim

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE- RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO
ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE
COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ DAVID MAZARIEGOS MURCIA

ASESORADO POR EL ING. OSCAR LAUREANO OROZCO JOACHIM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

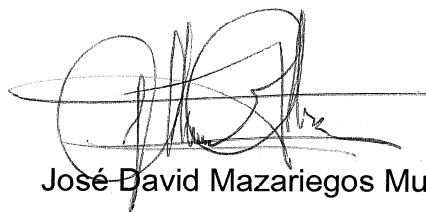
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE- RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de noviembre de 2010.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line at the bottom, positioned above the printed name.

José David Mazariegos Murcia

Guatemala, 11 de noviembre de 2011

Señor Coordinador del área de potencia
Escuela Mecánica Eléctrica
Facultad de ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Muy atentamente lo saludo,

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de graduación del estudiante JOSÉ DAVID MAZARIEGOS MURCIA, con carné 2006-11364, titulado:
COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69KV GUATE ESTE- RODRIGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, Indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,



Ing. Oscar Laureano Orozco Joachim

Colegiado No. 8517

Asesor



Ref. EIME 06. 2012
Guatemala, 15 de FEBRERO 2012.

FACULTAD DE INGENIERIA

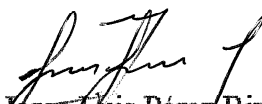
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

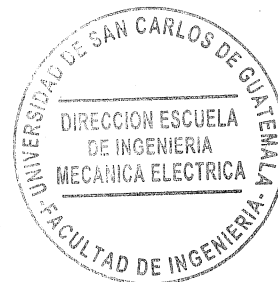
Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA
REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69KV
GUATE-ESTE RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO
ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA
IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE COMPUESTO DE FIBRA
REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO. del estudiante
José David Mazariegos Murcia, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
Coordinador de Potencia



JLPR/sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 08 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ DAVID MAZARIEGOS MURCIA titulado: "COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69KV GUATE-ESTE RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



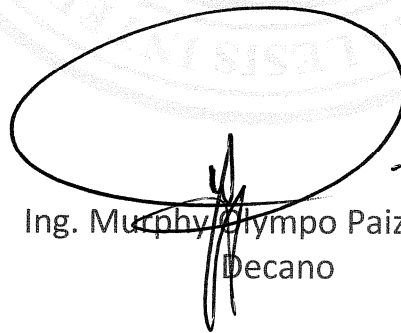
GUATEMALA, 08 DE MARZO 2012.



DTG. 173.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE-RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE APOYOS DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO**, presentado por el estudiante universitario **José David Mazariegos Murcia**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de abril de 2012.

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la oportunidad de seguir adelante con mis metas y sueños y poner en mi vida a las personas que a continuación hago mención.
- Mis padres** José David Mazariegos Hernández y Miriam Amanda Murcia Lemus, gracias a todos sus consejos y apoyo incondicional, todo lo puedo en Cristo que me fortalece.
- Familiares y amigos** Miriam Elizabeth Mazariegos Murcia, Lisseth Nohemí Mazariegos Murcia, Lisbeth Eunice Mazariegos Murcia, Mirta Consuelo Mazariegos Hernández, Ricardo Edmundo Bonilla Mazariegos, Mirta Rosa Bonilla Mazariegos, y Carlos Aníbal Figueroa Hernández, a todos ustedes gracias por el apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir y por motivarme a ser mejor cada día.
- Mi novia** Yesica Sucely Arreaga Mazariegos por su amor y comprensión, por ser mi inspiración en estos últimos años y estar a mi lado en los momentos difíciles.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por haberme otorgado la dicha de ser un profesional al servicio de Guatemala y disfrutar de estos momentos que recordaré por siempre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIX
GLOSARIO	XXI
RESUMEN	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXI
1. DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	1
1.1. Modelo del tramo compacto base	1
1.1.1. Fundamento del tramo típico	1
1.1.2. Coordinación de aislamiento.....	2
1.1.2.1. Tipo de aislador.....	3
1.1.2.2. Aislamiento equivalente a la cadena de aisladores.....	4
1.1.2.3. Cálculo de longitud del aislador	5
1.1.2.3.1. Para condiciones ambientales normalizadas.....	5
1.1.2.3.2. Para condiciones a altura media sobre el nivel del mar	8
1.1.2.3.3. Cálculo por nivel de contaminación	10
1.1.3. Distancias de aislamiento	13
1.1.3.1. Distancia de fase a tierra	13
1.1.3.2. Distancia entre conductores (fase a fase).....	14
1.1.3.3. Altura mínima del conductor al suelo	16

1.1.3.4.	Ángulo de blindaje	17
1.1.4.	Criterios de diseño para la selección de las estructuras...	17
1.1.4.1.	Fuerzas mecánicas sobre las estructuras.....	19
1.1.4.1.1.	Fuerzas transversales	21
1.1.4.1.1.1.	Vano de viento	21
1.1.4.1.1.2.	Fuerza debida al viento en los cables	22
1.1.4.1.1.3.	Fuerza debida al viento en el poste	23
1.1.4.1.1.4.	Fuerza debido a la deflexión de la línea	24
1.1.4.1.2.	Fuerzas verticales.....	25
1.1.4.1.2.1.	Vano de peso.....	25
1.1.4.1.3.	Fuerzas longitudinales.....	26
1.1.4.2.	Flecha y tensión mecánica del conductor.....	27
1.1.4.2.1.	Planteamiento de la ecuación de la flecha	27
1.1.4.2.1.1.	Comparación entre la catenaria y la parábola	32
1.1.4.2.2.	Tensión mecánica en conductores y cables de guarda	35
1.1.4.2.2.1.	Tensión mecánica de diseño	35

	1.1.4.2.2.2.	Cálculo de flechas y tensiones	36
1.1.4.3.		Factores de sobrecarga	39
1.1.4.4.		Cálculo de momentos en el poste	40
	1.1.4.4.1.	Momento debido al viento en los cables	40
	1.1.4.4.2.	Momento debido al viento en el poste	41
	1.1.4.4.3.	Momento debido a la deflexión de la línea	41
	1.1.4.4.4.	Momento por rotura.....	42
	1.1.4.4.5.	Momento total actuante en el poste	43
	1.1.4.4.6.	Momento último resistente del poste	44
1.1.4.5.		Vano de viento calculado por momentos	45
1.1.4.6.		Flecha máxima admisible.....	47
1.1.4.7.		Vano para flecha máxima permisible	47
1.1.4.8.		Estructura por kilómetro	48
2.		POSTE DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADO CON MATERIAL POLÍMERO	49
2.1.		Productos RStandard Composite Utility Poles.....	49
	2.1.1.	Aspecto y características de los productos	49
	2.1.1.1.	Tipo de postes y longitudes disponibles.....	49
	2.1.1.2.	Beneficios de los diseños modulares	50
	2.1.1.3.	Tipo de materiales que recubren los postes RStandard	50
	2.1.1.4.	Peso de un poste RStandard	50

2.1.1.5.	Comparación del diámetro de los postes RStandard con el de los postes de madera	51
2.1.1.6.	Colores de postes RStandard disponibles	51
2.1.1.7.	Protección de los postes contra los rayos ultravioleta y los efectos del clima	51
2.1.1.8.	Etiquetas en los postes.....	51
2.1.1.9.	Los postes RStandard son amigables con el medio ambiente	52
2.1.2.	Desempeño de los productos, diseño e ingeniería	53
2.1.2.1.	Los postes RStandard son diseñados y probados para cumplir con los estándares de la industria	53
2.1.2.2.	Pruebas de desempeño eléctrico a los postes RStandard	54
2.1.2.3.	Comportamiento de los postes RStandard al exponerse al fuego	54
2.1.2.4.	Resistencia al impacto del poste RStandard ...	55
2.1.2.5.	Utilización de los postes RStandard en estructuras con marco en H.....	55
2.1.2.6.	Efectos del impacto de un vehículo en un poste RStandard.....	55
2.1.3.	Instalación y accesorios.....	56
2.1.3.1.	Fijación de los postes en el suelo	56
2.1.3.2.	Los postes RStandard son escalables.....	56
2.1.3.3.	Herramientas especiales para los postes RStandard.....	56
2.1.3.4.	Torsión recomendada para instalar los pernos.....	57

2.1.3.5.	Colocación de la herramienta en el suelo con los postes RStandard	57
2.1.3.6.	Perforación de los postes RStandard.....	58
2.1.3.7.	Daños ocasionados a la estructura del poste al perforar los orificios	58
2.1.3.8.	Modo de cubrir la base y la punta del poste RStandard	59
2.1.3.9.	Equipo se requerido para ensamblar los módulos	59
2.1.3.10.	Ensamble vertical de los postes RStandard....	60
2.1.4.	Mantenimiento e inspección.....	60
2.1.4.1.	Tipo de mantenimiento e inspección requerida.....	60
2.2.	Datos de postes.....	61
2.2.1.	Introducción	61
2.2.2.	Estándares de construcción Asociación Canadiense de Estándares (CSA)	61
2.2.3.	Los efectos de la temperatura en materiales compuestos	63
2.2.4.	Cálculo de la deflexión de punta en el poste.....	64
2.2.5.	Rangos de fortaleza RStandard	64
2.2.5.1.	Ejemplo de cómo leer e interpretar la hoja de datos de los postes RStandard	67
2.2.6.	Guía para las combinaciones modulares de los postes RStandard	69
2.2.7.	Hojas de datos de postes.....	72
2.3.	Especificaciones técnicas.....	72
2.3.1.	General	73
2.3.1.1.	Alcance	73

2.3.1.2.	Excepciones o desviaciones.....	73
2.3.2.	Definiciones y símbolos.....	74
2.3.3.	Normas de referencia.....	74
2.3.4.	Productos.....	75
2.3.4.1.	Diseño.....	75
2.3.4.2.	Material.....	76
2.3.4.2.1.	Encarpetamiento de resina.....	77
2.3.4.2.2.	Reforzamiento de fibras.....	77
2.3.4.3.	Fabricación.....	77
2.3.4.3.1.	Métodos de fabricación aceptados.....	77
2.3.4.3.2.	Orificios para colocación de herramientas y escalones de ascenso.....	78
2.3.5.	Marcado.....	78
2.3.6.	Suministros especiales.....	78
2.3.6.1.	Cubiertas de punta y placa base.....	79
2.3.6.2.	Suministros de ascenso.....	79
2.3.6.2.1.	Orificios para escalones de ascenso.....	79
2.3.6.2.2.	Orificios para escalones de trabajo.....	79
2.3.6.2.3.	Escalones de ascenso.....	80
2.3.7.	Protección ultravioleta.....	80
2.3.7.1.	General.....	80
2.3.7.2.	Pruebas ultravioletas y climáticas.....	81
2.3.8.	Pruebas físicas.....	81
2.3.8.1.	Pruebas de flexión / doblado.....	81
2.3.8.2.	Pruebas de carga combinada.....	82

2.3.8.3.	Conexión de herramientas y pruebas de carga a la pared del poste.....	82
2.3.9.	Aseguramiento y control de calidad	83
2.3.9.1.	Aseguramiento de calidad.....	83
2.3.9.2.	Control de calidad	83
2.3.9.2.1.	Inspección visual.....	83
2.3.9.2.2.	Diámetro de punta y base de las secciones modulares.....	84
2.3.9.3.	Rechazo de material	84
2.3.10.	Empaque, embarque y entrega	84
2.4.	Descripción de pruebas.....	85
2.4.1.	Pruebas de curvatura o flexión	85
2.4.1.1.	Procedimiento	86
2.4.2.	Pruebas estructurales	88
2.4.2.1.	Pruebas de carga en la pared del poste	89
2.4.2.1.1.	Procedimiento	89
2.4.2.2.	Pruebas climáticas y ultravioleta	90
2.4.2.2.1.	Procedimiento	91
2.4.3.	Pruebas eléctricas.....	92
2.4.3.1.	Pruebas de resistencia a 60 Hz de voltaje en condiciones secas.....	93
2.4.3.2.	Pruebas de resistencia a 60 Hz de voltaje en condiciones húmedas	94
2.4.3.3.	Medidas de transmisión de corriente	95
2.4.3.4.	Pruebas dieléctricas antes y después de exposición a humedad	96
2.4.3.5.	Pruebas de perforación con voltaje de 60 Hz.....	97

2.4.3.6.	Pruebas de resistencia de fallas de corriente.....	98
2.4.3.7.	Pruebas de contaminación	99
2.4.3.8.	Resumen de los indicadores obtenidos de las pruebas eléctricas	100
2.4.4.	Pruebas de Resinas de poliuretano.....	100
2.4.4.1.	Propiedades y características del material de poliuretano	100
2.4.4.1.1.	Pruebas de tensión.....	101
2.4.4.1.2.	Pruebas de flexión	101
2.4.4.1.3.	Pruebas de compresión.....	101
2.4.4.1.4.	Pruebas de impacto de Izod (péndulo)	101
2.4.4.1.5.	Pruebas de impacto sin cortes.....	102
2.4.4.1.6.	Pruebas de absorción de agua.....	102
2.4.4.1.7.	Pruebas de corte interlaminado	102
2.4.4.1.8.	Gravedad específica.....	102
2.4.4.1.9.	Pruebas de pérdida por incendio	103
2.4.4.1.10.	Coefficiente de expansión lineal térmica	103
2.4.4.1.11.	Temperatura de transición del vidrio	103
2.4.4.1.12.	Calor específico.....	104
2.4.4.1.13.	Pruebas de tensión de desgaste	104

	2.4.4.1.14.	Pruebas de deformación	104
	2.4.4.2.	Evaluación de resistencia y dureza de la resina de poliuretano.....	105
	2.4.4.2.1.	Propiedades del impacto de la resina de poliuretano.....	106
2.4.5.		Pruebas diversas	106
	2.4.5.1.	Procedimiento	107
	2.4.5.2.	Resumen.....	108
	2.4.5.3.	Pruebas de caída dinámica de los escalones del poste	108
	2.4.5.3.1.	Procedimiento	109
	2.4.5.3.2.	Resumen.....	114
	2.4.5.4.	Pruebas con vientos o tormentas de arena...	114
	2.4.5.4.1.	Resultados	115
	2.4.5.4.2.	Resumen.....	116
	2.4.5.5.	Pruebas de provocación de incendio o llamarada	116
	2.4.5.5.1.	Procedimiento	117
	2.4.5.5.2.	Resultados	118
	2.4.5.5.3.	Resumen.....	119
2.5.		Guía de herramientas	120
	2.5.1.	Introducción a la guía de herramientas de RStandard...	120
	2.5.2.	Características básicas de resistencia.....	120
	2.5.2.1.	Carga horizontal recomendada para el diseño de cargas.....	121
	2.5.2.2.	Relación de orificios verticales recomendados para el diseño de carga	121
	2.5.2.3.	Torsión del perno	122
	2.5.3.	Recomendaciones generales y buenas prácticas	122

2.5.3.1.	Recomendaciones generales de herramientas.....	122
2.5.3.2.	Herramienta adecuada	124
2.5.3.3.	Espacios adecuados entre orificios	126
2.5.4.	Rangos específicos de herramientas.....	127
2.5.4.1.	Ajustar tensores.....	127
2.5.4.1.1.	Ajuste de tensión de pernos	128
2.5.4.1.2.	Ajuste de tensión de 3 pernos....	129
3.	ESTUDIO DE LÍNEA GUATE ESTE - RODRÍGUEZ BRIONES CON CONDUCTOR 740,8 AAAC FLINT	131
3.1.	Descripción del proyecto	131
3.1.1.	Conductores de fase.....	131
3.1.2.	Conductor de Guarda	132
3.1.3.	Aislamiento y herrajes	132
3.1.4.	Estructuras	132
3.2.	Cálculo mecánico de conductores	133
3.3.	Distancias de seguridad	133
3.3.1.	Distancia de seguridad vertical sobre el nivel de suelo ..	133
3.3.2.	Distancias adicionales para conductores de la línea de 69 kV	134
3.3.3.	Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras	135
3.3.4.	Distancia a edificaciones y otras instalaciones.....	136
3.4.	Resultados del estudio.....	137
3.4.1.	Lista de tramos	138
3.4.2.	Tablas de tensión y flecha	138
3.4.3.	Árboles de carga para apoyos en la línea	143
3.4.4.	Planos en vista de planta y perfil	163

4.	COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE - RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE POSTES DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO	165
4.1.	Introducción	165
4.2.	Costos de las estructuras	167
4.2.1.	Postes de concreto centrifugado.....	168
4.2.2.	Postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero	169
4.3.	Costos de construcción.....	170
4.3.1.	Excavación de agujeros y elaboración de cimentaciones	170
4.3.2.	Traslado de postes.....	170
4.3.2.1.	Cálculo de distancias	171
4.3.2.2.	Costos de traslado de postes.....	174
4.3.3.	Izado de postes.....	175
4.4.	Comparación de aspectos técnicos	178
4.4.1.	Comparación de productos RStandard contra estructuras comúnmente utilizadas	178
4.4.2.	Ventajas y desventajas	186
4.5.	Comparación económica.....	187
4.5.1.	Ventajas y desventajas	194
	CONCLUSIONES	195
	RECOMENDACIONES	197
	BIBLIOGRAFÍA.....	199
	ANEXOS	201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista en planta de la fuerza ejercida por el viento sobre una línea de transmisión	20
2.	Vanos de viento y de peso	21
3.	Flecha de un conductor sostenido por dos apoyos	27
4.	Relación entre la flecha y tensión de un conductor	28
5.	Representación de tensiones mecánicas en un cable conductor.....	31
6.	Diagrama vectorial de los momentos actuantes en un poste de concreto.....	43
7.	Lectura de códigos de postes RStandard	66
8.	Poste RStandard, 45 pies, módulos: 1, 2 y 3	67
9.	Equipo de pruebas para curvatura horizontal	86
10.	Colocación del poste para la prueba.....	87
11.	Establecimiento de pruebas de carga en la pared del poste.....	90
12.	Prueba en condiciones secas	93
13.	Prueba en condiciones húmedas.....	94
14.	Pruebas de transmisión de corriente.....	95
15.	Pruebas dieléctricas.....	96
16.	Prueba de perforación con voltaje de 60 Hz.	97
17.	Prueba de resistencia a fallas.	98
18.	Prueba de contaminación en superficie y cámara.....	99
19.	Montaje de la sección del poste	110
20.	Establecimiento de pruebas de caída en temperatura ambiente y frío	111

21.	Resultados de caída en temperatura ambiente	112
22.	Resultados de la prueba en ambientes fríos.....	113
23.	Colocación de correas para pruebas	114
24.	Comparación de perfiles de temperatura.....	118
25.	Muestras del exterior de postes sin quemaduras	119
26.	Ejemplos de abrazaderas que no deben utilizarse	124
27.	Herramienta curva adecuada.....	125
28.	Herramienta curva no adecuada.....	125
29.	Espacios mínimos convencionales entre orificios.....	127
30.	Ejemplo de ajuste de tensión de dos pernos	128
31.	Ejemplo de colocación del tercer perno	129
32.	Árbol de cargas para estructuras de paso con doble circuito lado a lado.	143
33.	Árbol de carga para estructuras de remate con un circuito.....	144
34.	Vista satelital de trazo de línea de transmisión Guate Este – Rodríguez Briones	172
35.	Comparación de fuerza específica	179
36.	Comparación de peso.....	180
37.	Comparación de tiempo de vida útil de postes	181
38.	Deformación elástica de postes durante pruebas de ruptura.....	182
39.	Comparación de transporte de postes	184
40.	Movilización e instalación	185
41.	Grafica comparativa de costos totales del proyecto	189
42.	Comparación de inversión contra vida útil	190
43.	Gráfica comparativa de costos por estructura	191
44.	Gráfica de costos con distancias de traslado modificada	193

TABLAS

I.	Características de los aisladores tipo poliméricos	4
II.	Constantes para diferentes configuraciones de electrodos	7
III.	Factor de corrección por presión a distintas alturas.....	9
IV.	Relación entre el nivel de contaminación y el factor de distancia de fuga mínima entre fases.....	12
V.	Distancia vertical entre conductores del mismo circuito.....	15
VI.	Distancias mínimas de seguridad verticales de conductores sobre vías férreas, el suelo o agua	16
VII.	Características mecánicas y dimensionales de postes de concreto	18
VIII.	Características Técnicas de Conductores AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)	33
IX.	Porcentaje de error entre el cálculo de la catenaria y la parábola	34
X.	Flecha del conductor Flint 740,8 MCM a diferentes longitudes de vanos	37
XI.	Características mecánicas del cable de guarda.....	38
XII.	Factores de sobrecarga para estructuras de soporte de conductores	39
XIII.	Cálculo de momentos actuantes en un poste de concreto	46
XIV.	Factores de carga requeridos para postes RStandard	62
XV.	Hoja de explicación de datos y módulos (SI)	64
XVI.	Hoja de explicación de datos y módulos (MKS).....	65
XVII.	Longitud total (LT) datos de postes.....	70
XVIII.	Guía de datos para postes de 30 pies (9.14 m) a 85 pies (25.91 m)	71

XIX.	Guía de datos para postes de 90 pies (27.43m) a 120 pies (36.58 m)	72
XX.	Propiedades físicas de las muestras de los postes RStandard, antes y después de las pruebas	116
XXI.	Libranzas verticales al suelo de líneas de 69 kV	134
XXII.	Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras	135
XXIII.	Libranzas verticales a otras instalaciones	136
XXIV.	Libranzas horizontales a otras instalaciones	137
XXV.	Listado de tramos considerados en diseño	138
XXVI.	Datos generales	139
XXVII.	Tablas de tensión y flecha	140
XXVIII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 3	145
XXIX.	Cálculo mecánico de la estructura No. 3A.....	146
XXX.	Cálculo mecánico de la estructura No. 4	147
XXXI.	Cálculo mecánico de la estructura No. 5	148
XXXII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 6	149
XXXIII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 7	150
XXXIV.	Cálculo mecánico de la estructura No. 7A.....	151
XXXV.	Cálculo mecánico de la estructura No. 8	152
XXXVI.	Cálculo mecánico de la estructura No. 9	153
XXXVII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 10	154
XXXVIII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 11	155
XXXIX.	Cálculo mecánico de la estructura No. 12	156
XL.	Cálculo mecánico de la estructura No. 13	157
XLI.	Cálculo mecánico de la estructura No. 14	158
XLII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 15	159
XLIII.	Cálculo mecánico de la estructura No. 16 y 17	160
XLIV.	Cálculo mecánico de la estructura No. 18	161

XLV.	Cálculo mecánico de la estructura No. 19	162
XLVI.	Estructuras necesarias para repotenciación de línea Guate Este – Rodríguez Briones.	167
XLVII.	Cotización de postes de Productos Atlas.....	168
XLVIII.	Cotización de RStandard composite utility poles	169
XLIX.	Distancias aproximadas para traslado de postes.....	173
L.	Costos de traslado de postes de concreto centrifugado.	174
LI.	Costos de traslado de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero.	175
LII.	Costo de izado de postes de concreto centrifugado.	176
LIII.	Costo de izado de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero.	177
LIV.	Costos de proyecto utilizando postes de concreto centrifugado. .	187
LV.	Costos de proyecto utilizando postes de compuesto de fibra RStandard.....	188
LVI.	Distancia de traslado necesaria para igualar costos.....	192

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
θ	Ángulo de blindaje
CG	Cable de Guarda
C	Capacitancia
CF	Conductor de Fase
Ec	Ecuación
Hz	Hertzio
SF₆	Hexafloruro de azufre
L	Inductancia
kHz	Kilohertzio
km	Kilómetro
kV	Kilovoltio
MHz	Megahertzio
μs	Microsegundo

mbar	Milibar
%	Porcentaje
S	Separación entre el haz de subconductores de fase
p.u.	Valor por unidad

GLOSARIO

AAAC	All Aluminium Alloy Conductor.
AAC	Aluminium Alloy Conductor.
AAF	Estructura de Anclaje y Ángulo Fuerte.
ACSR	Aluminium Conductor Steel Reinforced.
Aislador	Es un material con escasa capacidad de conducción de la electricidad, utilizado para separar conductores eléctricos evitando un cortocircuito y para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos.
Altitud del sol	Es la posición en grados del sol a partir del este y medidos en sentido contrario a las agujas del reloj.
ANSI	American National Standards Institute.
ASCE	American Society of Civil Engineers.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Azimut de la línea	Es la posición en grados de un tramo recto de línea, a partir del norte y medido en sentido de las agujas del reloj.

Azimut del sol	Es la posición en grados del sol, a partir del Norte y medido en sentido de las agujas del reloj.
Campo eléctrico	Es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas (la causa del flujo eléctrico) y se mide en Voltios por metro (V/m). El flujo decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo.
Catenaria	Curva formada por un cable, cadena o cuerda suspendida de dos puntos, que no están en la misma vertical.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Conductor	Material, generalmente en la forma de alambre, cable o barra, capaz de conducir una corriente eléctrica.
Corriente alterna	Es la corriente eléctrica que cambia periódica y rápidamente de dirección.
Corriente directa	Es la corriente eléctrica, que fluye siempre en la misma dirección.
CSA	Canadian Standard Association.
Deflexión de la línea	Es el ángulo de cambio de dirección en la trayectoria de la línea de transmisión.
Elongación	Es el valor unitario de la deformación sufrida por un material, que está sometido a un determinado esfuerzo.

Energía	Es la capacidad de la materia de efectuar trabajo.
Esfuerzo	Es la fuerza por unidad de área a que se somete un material.
ESIS	European Society of Integrity of Structures.
Estructura	Es la unidad principal de soporte, que generalmente se aplica al poste o torre adaptado para ser usado como medio de suspensión de líneas aéreas de energía eléctrica.
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.
Flecha	Es la distancia vertical medida de un conductor a la línea recta imaginaria, que une los dos puntos de soporte del conductor en las estructuras.
Grado de construcción	Grado 1, 2 o 3 de construcción para uso eléctrico, para soportar las estructuras indicadas en el inciso C22.3 del CSA No.1 Sistemas Elevados.
Hertz	Unidad de frecuencia eléctrica, es igual a un ciclo por segundo.
IEC	International Electrotechnical Commission.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
Kilovoltios	Unidad de tensión eléctrica.
Kilovoltiamperio	Unidad de potencia aparente.
Libramiento	Es la distancia mínima establecida entre superficies, desde un objeto energizado hasta otro energizado o no, o persona para garantizar que éste no se encuentre en riesgo de recibir descargas eléctricas desde el primero.
Límite elástico	Es el esfuerzo más allá del cual el material no recupera totalmente su forma original al ser descargado.
MTBF	Mean Time Between Failures.
NBI	Nivel Básico de Impulso.
NESC	National Electrical Security Code.
NTDOID	Normas Técnicas de Diseño y Operación de Instalaciones de Distribución.
NTDOST	Normas Técnicas de Diseño y Operación de Sistemas de Transporte.
Polímero	Es un compuesto químico natural o sintético, formado por polimerización y consta de unidades estructurales repetidas.

Potencial eléctrico	Es la cantidad de energía eléctrica acumulada en un conductor que se mide en voltios.
Punto de fluencia	Es aquel en el que aparece un considerable alargamiento del material sin el correspondiente aumento de carga.
Resistividad	Puede definirse como la resistencia de un centímetro cúbico de un material medido entre caras opuestas.
SAP	Estructura de Suspensión y Ángulo Pequeño.
Sistema de distribución	Es el conjunto de instalaciones desde 120 voltios, hasta tensiones de 34.5 kV encargadas de entregar energía eléctrica a los usuarios.
TCF	Tensión Crítica de Flameo.
Tensión nominal de diseño	Es la tensión eficaz entre fases con que se designa el sistema y a la que están referidas ciertas características de operación del mismo.
Tensión nominal de servicio	Es el valor máximo de tensión entre fases, para el cual está diseñado el equipo con relación a su aislamiento.
Tierra	Es el potencial eléctrico de referencia.
Vano	Es la distancia horizontal entre dos estructuras consecutivas de una línea de transmisión.

RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en analizar la viabilidad de la implementación de postes de compuesto de fibra, reforzados con material de polímero en líneas de transmisión de energía eléctrica, cuyas rutas estén compuestas de terrenos montañosos; para ello se utilizó como modelo la línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones.

En la República de Guatemala un gran porcentaje de líneas de transmisión de energía eléctrica se encuentran en terrenos montañosos a lo largo de sus respectivas rutas, debido a la dificultad que esto representa en la construcción de dichas líneas se han utilizado torres de celosía, postes de madera y postes de concreto centrifugado, teniendo éstos muchas ventajas y desventajas que se detallan a lo largo de éste trabajo de graduación.

La construcción de una línea de transmisión de energía eléctrica implica una considerable inversión económica, tanto para la compra de materiales y equipo que se utilizarán como para gastos relacionados con la construcción de la misma, por lo cual desde la elaboración del diseño se deben considerar todos los aspectos técnicos y económicos que maximicen la inversión que se realizará. Pueden realizarse distintos diseños implementando diversas soluciones para los problemas técnicos de construcción que se puedan presentar pero se debe escoger un único diseño, para lo cual se debe realizar un análisis técnico-económico de los distintos diseños realizados y escoger aquél que presente las mejores soluciones tanto económicas como técnicas para maximizar la inversión económica.

Los postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero ofrecen una excelente solución para problemas de accesibilidad en la construcción de líneas de transmisión aunque a simple vista puede apreciarse que su costo es considerablemente mayor al costo de los postes de concreto centrifugado que actualmente se utilizan, al final de este trabajo de graduación se podrá observar que este incremento en el costo del apoyo se ve compensado con su costo de construcción.

OBJETIVOS

General

Determinar el mejor diseño, desde el punto de vista técnico y económico, para la repotenciación de la línea de transmisión de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones comparando un diseño convencional contra otro implementando postes de compuesto de fibra reforzado con material polimérico.

Específicos

1. Conocer las estructuras, equipos y accesorios utilizados en la construcción de líneas de transmisión.
2. Describir las características físicas del poste de compuesto de fibra reforzado con material polímero.
3. Elaborar el diseño tradicional para la repotenciación de la línea Guate Este – Rodríguez Briones.
4. Elaborar el diseño, implementando postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero, para la repotenciación de la línea Guate Este – Rodríguez Briones.
5. Realizar un análisis técnico económico de ambos diseños.

6. Determinar las ventajas y desventajas técnicas y económicas del uso del poste de compuesto de fibra reforzado con material polímero en líneas de transmisión.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es una de las principales formas de energía usadas en el mundo actual, se ha convertido en un rubro principal para el crecimiento de la economía a escala mundial debido a que esta es necesaria para el funcionamiento de cualquier actividad económica, además la expansión demográfica exige una demanda mayor de energía eléctrica día a día.

Debido a la lejanía de las fuentes generadoras de energía eléctrica hacia los centros de carga, es necesario transportar la energía eléctrica por un medio que sea viable tanto técnico como económico. Éste es el origen de las líneas de transmisión de energía eléctrica, las cuales son diseñadas para transportar energía eléctrica a través de largas distancias con las menores pérdidas posibles, para lo cual se deben tomar en cuenta diversos factores eléctricos, mecánicos y económicos.

Debido a la creciente demanda y a las rigurosas normas de calidad de servicio de transporte de energía eléctrica el diseño de una línea de transmisión no debe tomarse a la ligera, ya que de ello depende el triunfo o fracaso del transportista. Existen diversos diseños de construcciones de líneas de transmisión, siendo unas mejores que otras dependiendo de las circunstancias en que se encuentren, es necesario adaptar el mejor diseño para cada línea que se desee construir o repotenciar.

Todos esos aspectos han influenciado en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías de materiales eléctricos, tales como cables, discos de aisladores, remates, empalmes, apoyos, etc.

Las líneas de transmisión en Guatemala han sido construidas utilizando convencionalmente tres tipos principales de apoyos: torres de celosía, postes de madera y postes de concreto centrifugado, los cuales se utilizan según las necesidades técnicas como de la topografía del terreno, cada tipo de apoyo tiene sus ventajas y desventajas tanto en lo técnico como en lo económico.

El objetivo principal de este trabajo de graduación es realizar dos diseños para la repotenciación de una línea existente llamada Guate Este – Rodríguez Briones, uno utilizando métodos y materiales tradicionales y el segundo diseño implementado apoyos de compuesto de fibra reforzada con material de polímero, y luego hacer una comparación técnica y económica de ambos diseños y así escoger el diseño que mejor se adapte a ésta línea en particular.

1. DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

1.1. Modelo del tramo compacto base

El modelo del tramo típico, con base en estructuras compactas, consiste en definir las características del tramo, tales como: la longitud del tramo, la flecha y la tensión del conductor, así como la estructura dominante.

1.1.1. Fundamento del tramo típico

En el modelo del tramo típico, se considera el diseño de la línea, con base a una distribución de estructuras compactas de igual altura, situadas a la misma separación, para que el conductor, que se tienda entre estas, tenga la misma flecha y tensión en todos los tramos. Normalmente una línea de transmisión se construye en secciones, predominantemente en tangente con estructuras de suspensión y cada sección se finalizara con estructuras de anclaje.

Al utilizar las estructuras propuestas en el anexo 2 como modelo, es necesario que éstas estén conforme a los requerimientos eléctricos y mecánicos que considera el diseño de una línea compacta. En el aspecto eléctrico, deberá ser una estructura sencilla, con una distancia entre fases que dependerá de la configuración de la línea, del diseño de aislamiento y una altura determinada por las libranzas eléctricas; por lo general, la altura se define lo suficiente para cumplir con la distancia requerida del conductor de fase más bajo a tierra.

En el aspecto mecánico, debe ser una estructura resistente a las cargas propias y a las debidas condiciones meteorológicas a que estén sometidas, según el lugar de su ubicación. Al utilizar estos modelos simples compactos, es posible definir el tramo interpostal dominante, y así evaluar los costos de operación, costos de construcción por kilómetro y los costos por derecho de vía, comparado contra las estructuras convencionales que actualmente se han utilizado.

1.1.2. Coordinación de aislamiento

En el desarrollo del diseño de líneas de transmisión, una de las etapas básicas y por consiguiente de suma importancia es la coordinación de aislamiento. La coordinación de aislamiento tiene como principal función obtener los parámetros que permitan determinar.

- El tipo de aislador
- Aislamiento equivalente a la cadena de aisladores
- Distancias de aislamiento

Coordinando conjuntamente con los parámetros anteriores, los aisladores deben cumplir con dos funciones durante toda su vida en un medio ambiente eléctrico de alta tensión.

- Una función mecánica: es la más importante para evitar caídas de líneas. El aislador debe resistir a todas las cargas y sobrecargas combinadas, que se deben a las variaciones de temperatura, viento, a vibraciones producidas por rayos o arcos de energía y, en algunos casos, a la presencia eventual de hielo.

- Una función eléctrica: el aislador debe resistir a la tensión eléctrica permanente de la línea y a todas las condiciones desfavorables, como lluvia, contaminación y sobretensiones, que se deben a fenómenos atmosféricos (sobrevoltajes externos) o a operaciones efectuadas en la línea (sobrevoltajes internos), especialmente en la apertura y cierre de la misma.

1.1.2.1. Tipo de aislador

Los aisladores, para las líneas de transmisión aéreas, se construyen normalmente de porcelana o vidrio y suelen ser tipo disco; actualmente estos aisladores se han reemplazado por aisladores del tipo polimérico. En estos momentos, los aisladores poliméricos se encuentran a precios muy parecidos o a veces inferiores a las cadenas equivalentes de porcelana o vidrio. Si a este aspecto se le añade los costos reducidos de transporte y de instalación, las ventajas económicas se vuelven aún más atractivas.

Las principales características que influyen en la selección de los aisladores poliméricos son las siguientes:

- Distancia de fuga.
- El comportamiento deseado del aislador a sobre tensiones por rayo y por maniobras de interruptores.
- La capacidad del aislador de soportar las cargas mecánicas de tensión y compresión, así como el tipo de acoplamiento con los herrajes.

Los aisladores de polímero serán del tipo suspensión (SEDIVER YB120XF029) y el tipo poste (SEDIVER PSG30XZ021). Las características principales de los mismos se indican en la tabla I.

Tabla I. **Características de los aisladores tipo poliméricos**

Tipo	Longitud sección	Voltaje	Distancia de fuga	Distancia de arco en seco	Flameo de baja frecuencia		Flameo crítico de impulso		Resistencia mecánica
	(mm)				(kV)	(mm)	(mm)	Seco	
		(kV)	(kV)	(kV)				(kV)	(kg)
Suspensión	1093	115	2215	825	290	235	455	500	11340
Poste	1072	69/115	1542	807	285	235	445	670	877

Fuente: productos SEDIVER. Aisladores de polímero.

1.1.2.2. Aislamiento equivalente a la cadena de aisladores

En condiciones ideales, el aislamiento de las líneas de transmisión debe tolerar cualquier sobrevoltaje que se presente en ellas, pero la longitud de las cadenas de aisladores y las distancias mínimas de aire deberán ser tan grandes, que el costo del aislamiento resulta exageradamente alto. Por consiguiente, se diseña el aislamiento de las líneas, de tal manera que soporte todo sobrevoltaje por maniobra o por baja frecuencia (sobrevoltaje interno), pero no todo impulso de voltaje ocasionado por descargas atmosféricas (sobrevoltaje externo).

La longitud de las cadenas de aisladores y las distancias dieléctricas, en aire se determinan para soportar los máximos sobrevoltajes (internos), que ocurran en la línea en condiciones de contaminación, y está definida por las características de las ondas de accionamiento, porque la longitud necesaria es, en general, mayor para los sobre-voltajes por maniobras de interrupción, que para los sobre voltajes a 60 Hz.

Para evitar las fallas por descargas atmosféricas, se recurre a disposiciones de cables de guarda y la reducción de la resistencia en la base de la estructura, así como el uso de interruptores de alta velocidad y, si es necesario, se protegen las cadenas con cuernos para arco.

El concepto de distancia dieléctrica en aire es en general y desde el punto de vista de diseño, parte de la relación entre la tensión crítica de flameo (TCF) y el nivel básico de impulso (NBI).

1.1.2.3. Cálculo de longitud del aislador

La longitud del aislador estará dada por el cálculo de la distancia de fase a tierra necesaria para lograr reducir la probabilidad de falla por arco a un 10%, tomando en cuenta las condiciones ambientales a las cuales estará expuesta la línea de transmisión.

1.1.2.3.1. Para condiciones ambientales normalizadas

Tomado del folleto de coordinación de aislamiento de la comisión nacional de energía de México CFE, el nivel básico del impulso (NBI) es la característica del aislamiento de una línea de transmisión que le permite soportar las solicitudes dieléctricas, y está determinado por el comportamiento del dieléctrico (aire/aislamiento), debido a los impulsos de sobrevoltaje de corta duración definido por la tensión crítica de flameo (TCF), donde ocurre el 50% de sobrevoltajes.

La tensión crítica de flameo (TCF) del 50% se define como la tensión al impulso con una onda de tensión positiva o negativa de 1,2/50 microsegundos que, aplicada a un aislador o a la cadena de aisladores, determina la iniciación del arco en el 50% de los impulsos aplicados.

La relación entre la tensión crítica de flameo (TCF) y el nivel básico de impulso (NBI), para una probabilidad de falla del 10%, está dada en forma experimental por:

$$\text{NBI} = 0,961 \text{ TCF} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

La anterior ecuación considera una desviación estándar del fenómeno de 3%.

De la ecuación (1.1), se calcula el valor de la tensión crítica de flameo, a partir del nivel básico de impulso al nivel del mar, o sea:

$$\text{TCF}_{(\text{normal})} = \text{NBI}/0,961 \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Para el caso de una tensión nominal de 69 kV, con un NBI = 350 kV (según NESC-1997) la TCF normal es 364,20 kV al nivel del mar.

La relación entre la TCF y la distancia dieléctrica entre electrodos es tal, que para un impulso producido por un rayo, considerando un gradiente de tensión K1, se obtiene la ecuación 1.3:

$$\text{TCF}_{(\text{normal})} = K1d \quad (\text{Ec. 1.3})$$

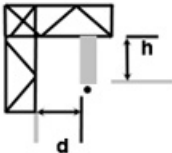
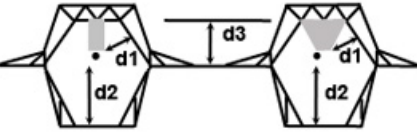
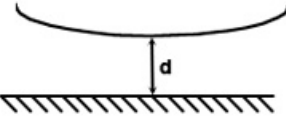
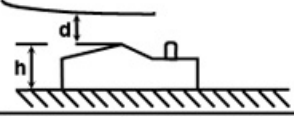
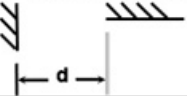
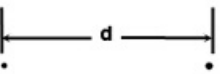
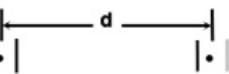
Donde:

TCF = Tensión crítica de flameo normal, en kV.

K_1 = Factor de electrodos (gaps) para sobretensiones por rayo, 550 kV/m, según tabla No. II

d = Distancia de fase a tierra, en metros.

Tabla II. Constantes para diferentes configuraciones de electrodos

CONFIGURACION DE ENTRE-HIERRO	DIAGRAMA	K_n	K_m	K_r
FASE - TORRE		1.40	1.25	550
FASE - VENTANA DE TORRE		1.30	1.20	550
CONDUCTOR - SUELO		1.30	1.10	550
CONDUCTOR - OBJETO		1.45	1.35	550
VARILLA - PLANO		1.20	1.00	480
CONDUCTOR - CONDUCTOR		1.65	1.50	550
ENTRE ANILLOS (EQUIPOTENCIALES) DE CONDUCTORES		-	1.60	550

Fuente: Comisión Federal de Electricidad. Coordinación De Aislamiento. Especificación CFE

L0000-06.

La distancia de fase a tierra por sobretensiones de rayo se calcula, a partir de la ecuación (1.3), despejando d y utilizando el valor promedio K1:

$$d = TCF_{(normal)}/550 \quad (Ec. 1.4)$$

Sustituyendo valores:

$$d = (364,20)/550$$

$$d = 0,66 \text{ m}$$

1.1.2.3.2. Para condiciones a altura media sobre el nivel del mar

Los aislamientos externos se afectan por los efectos meteorológicos tales como: la presión barométrica, la temperatura, la humedad y la altitud, según en donde se encuentre la línea de transmisión, de tal forma que la tensión crítica de flameo, en condiciones normales, se afecta por un factor de densidad de aire, de acuerdo con la ecuación 1.5:

$$\alpha = \frac{0,392 * b}{273 + t} \quad (Ec. 1.5)$$

Donde:

α = Factor de densidad de aire

b = Presión barométrica en mm Hg

t = Temperatura media de la zona en °C

Las condiciones, de acuerdo con la ubicación de la línea de transmisión en estudio, son:

b = 604 mm Hg a 1 900 msnm según Tabla III.

t = 25 °C

Tabla III. Factor de corrección por presión a distintas alturas

ALTITUD EN METROS	PRESION		FACTOR DE CORRECCION Kda	ALTITUD EN METROS	PRESION		FACTOR DE CORRECCION Kda
	mbar	mm Hg			mbar	mm HG	
0	1013	760	1.00	2500	747	560	0.737
100	1001	751	0.988	2600	747	554	0.728
200	989	742	0.976	2700	728	546	0.718
300	977	733	0.965	2800	720	540	0.710
400	968	726	0.954	2900	708	531	0.698
500	955	716	0.942	3000	701	526	0.692
600	943	707	0.931	3100	692	519	0.683
700	932	699	0.919	3200	683	512	0.674
800	921	691	0.908	3300	675	506	0.665
900	909	682	0.897	3400	665	499	0.656
1000	905	679	0.893	3500	656	492	0.647
1100	888	666	0.876	3600	648	486	0.639
1200	877	658	0.866	3700	639	479	0.629
1300	867	650	0.855	3800	629	472	0.621
1400	856	642	0.845	3900	621	466	0.613
1500	845	634	0.834	4000	613	460	0.605
1600	836	627	0.824	4100	605	454	0.597
1700	825	619	0.814	4200	597	448	0.590
1800	815	611	0.804	4300	591	443	0.583
1900	805	604	0.794	4400	584	438	0.576
2000	795	596	0.784	4500	577	433	0.569
2100	785	589	0.774	4600	571	428	0.562
2200	775	581	0.765	4700	563	422	0.555
2300	765	574	0.756	4800	556	417	0.549
2400	756	567	0.746	4900	549	412	0.542

Fuente: Comisión Federal de Electricidad. Coordinación de Aislamiento. Especificación CFE L0000-06.

Sustituyendo datos en la ecuación 1.5, se obtiene

$$\alpha = \frac{0,392 * 604}{273 + 25}$$

$\alpha = 0,794$ (Véase tabla III)

Para diseño se utiliza la TCF normal, corregida de acuerdo con el factor de corrección, por medio de la ecuación 1.6:

$$TCF_{(diseño)} = TCF_{(normal)} / \alpha \quad (Ec. 1.6)$$

$$TCF_{(diseño)} = K1d \quad (Ec. 1.7)$$

Sustituyendo el valor de la ecuación (1.6) en la ecuación (1.7) y despejando d, se obtiene:

$$d = TCF_{(normal)} / K1 \times \alpha \quad (Ec. 1.8)$$

Esto implica que la distancia de fase a tierra corregida será:

$$d = 364,20 / 550 \times 0,794$$

$$d = 0,834 \text{ m, que sustituye a } 0,66$$

1.1.2.3.3. Cálculo por nivel de contaminación

Para el caso de los aislamientos externos, éstos se afectan por la contaminación durante la operación normal del equipo a la frecuencia del sistema y este parámetro influye desde el punto de vista de diseño de la distancia de fuga del aislamiento. En la presencia de ambientes contaminados, ocurre el fenómeno de flameo (descarga disruptiva) en el aislamiento externo, bajo la tensión máxima del sistema a la frecuencia industrial, esto se hace más crítico en la presencia de llovizna, rocío y niebla. Estas condiciones son más severas cuando las capas contaminantes se encuentran totalmente húmedas sin un lavado significativo.

La corriente de fuga fluye a través de la capa contaminante, forma bandas secas y disminuye la tensión de aguante, ya que el aislamiento presenta descargas parciales.

Como consecuencia, aparece a través de la porción húmeda del aislamiento un esfuerzo de tensión más elevado, lo cual originan las bandas secas adicionales e incrementan la actividad de las descargas, hasta que ocurre la ruptura dieléctrica del aislamiento (flameo).

Un método de cálculo de la distancia de fuga consiste en clasificar a cada zona de contaminación, de acuerdo con el grado de severidad en relación con un factor de distancia de fuga específica, tal como se muestran en la tabla IV.

La expresión, que relaciona la distancia de fuga a tierra D_f , en centímetros, se obtiene multiplicando el factor de distancia de fuga mínima específica V_d en cm/kV, por la tensión máxima de diseño de fase a tierra.

$$D_f = K_d * \frac{V_d}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

Para la línea de 69 kV en estudio, con una tensión máxima de diseño de 72,5 kV fase a fase, que operará en una zona media en contaminación, con un factor de distancia de fuga de 2,0 cm/kV (ver la tabla IV), la distancia de fuga es:

$$D_f = K_d * \frac{V_d}{\sqrt{3}}$$
$$D_f = 83,72 \text{ cm}$$

Tabla IV. Relación entre el nivel de contaminación y el factor de distancia de fuga mínima entre fases

Nivel de contaminación	Características ambientales	Factor de distancia de fuga mínima específica Kd en cms/kV (fase a fase)
Ligera	Áreas sin industrias, zonas rurales sin quema de hierba, áreas que están situadas lejos del mar o a grandes altitudes sobre el nivel del mar y que no están expuestas a la brisa marina; áreas con baja densidad industrial pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvias,, zonas agrícolas con bajo uso de fertilizantes y plaguicidas o con uso moderado y lluvias frecuentes.	1.6
Media	Áreas con industrias que no producen humos contaminantes, o áreas con industrias pero que están expuestas a vientos frecuentes y/o lluvias; áreas expuestas a vientos marinos pero no demasiado cerca de las costas (por lo menos a 1 km de distancia de la costa), zonas con niebla ligera, zonas rurales con uso de fertilizantes y plaguicidas.	2.0
Alta	Áreas con alta densidad industrial, áreas cercanas al mar (menos de 1 km de la costa) o expuestas a brisas marinas, zonas expuestas a la acción de los polvos de cemento, carbón con lluvias ligeras, combinaciones de algunas características anteriores con niebla; zonas urbanas de alto índice de población con humos derivados del petróleo, polvo y lluvia ligera.	2.5
Extra Alta	Áreas de extensiones moderadas sujetas a humos productos de procesos industriales de tipo contaminante; áreas de extensión moderada cercanas a las costas y expuestas a brisas marinas muy fuertes, en áreas de baja densidad industrial pero expuestas a brisas marinas.	3.1

Fuente: Comisión Federal de Electricidad. Coordinación De Aislamiento. Especificación CFE L0000-06.

1.1.3. Distancias de aislamiento

La determinación de las distancias de aislamiento de las líneas de transmisión debe considerar los esfuerzos dieléctricos a que estará sometida la línea durante su operación, de tal manera que el riesgo de falla obtenido para cualquiera de estos esfuerzos dieléctricos sea menor que un valor que se fija previamente y que es considerado como aceptable.

La tensión de operación representa, de hecho, un esfuerzo dieléctrico continuo, inclusive en condiciones adversas de operación con viento fuerte, lluvia, contaminación ambiental, etc., que hacen que los criterios para la determinación de las distancias dieléctricas tomen en consideración la probabilidad de que dichas condiciones adversas se presenten, y que inclusive sean coincidentes algunas de ellas.

1.1.3.1. Distancia de fase a tierra

Para determinar la distancia del conductor a la estructura, se considera la longitud indicada en la tabla I de los aisladores poliméricos tipo suspensión y tipo poste, que de acuerdo con las configuraciones propuestas (SAP y AAF), ver Anexo 2, respectivamente, mantienen una geometría rígida haciendo que el conductor permanezca inmóvil en la estructura.

De los cálculos realizados anteriormente, tomando en consideración los efectos meteorológicos y el nivel de contaminación, conforme al lugar en donde se encuentra la línea de transmisión en estudio, se puede afirmar que los aisladores propuestos cumplen con la distancia mínima, ya sea por efectos ambientales como de contaminación, que en este último caso es el más crítico para la selección de un aislador de porcelana, vidrio o polímero.

1.1.3.2. Distancia entre conductores (fase a fase)

De acuerdo con el folleto de coordinación de aislamiento de la CFE, la distancia vertical mínima de fase a fase en el punto de apoyo de la estructura, se puede determinar de acuerdo con la ecuación 1.10, la cual está basada en términos generales en la flecha del conductor, la longitud de la cadena de aisladores y el tipo de conductor.

$$D \geq n (f + l) + 0,012V (m) \quad (Ec. 1.10)$$

Donde:

D = Distancia entre apoyos o soporte del aislador, en m.

m = Factor que depende del material del conductor de la línea.

n = 0,5 para conductores ACSR o de Cobre y 0,6 para conductores de Aluminio.

f = Flecha del conductor, en m.

l = Longitud mínima de la cadena de aisladores en m.

l = Aplica para aisladores en suspensión, l = 0 cadenas de anclaje.

V = Voltaje máximo de operación entre fases, en kV.

Para la línea en estudio de 69 kV, con un voltaje máximo de operación de 72,5 kV, utilizando como medio para la transmisión de la energía el conductor AAAC 740,8 FLINT, la distancia vertical mínima entre fases, si se considera un vano regular de 200 m con una flecha de 2 889 m, como se verá más adelante, (véase tabla XIX) la distancia viene dada por:

$$D \geq 0,6 (2\ 889 + 0) + 0,012(72,5)$$

$$D \geq 1,80 \text{ m}$$

Al referirse a las distancias de seguridad entre conductores soportados por la misma estructura (ver la tabla V), se observa que para tensiones hasta 50 kV, la distancia “d” vertical entre conductores debe ser 0,823 metros. Para tensiones entre 50 y 814 kV, la distancia debe ser incrementada 0,01 metro por cada kV en exceso de 50 kV, tomando como base la tensión máxima de operación.

Por lo que para circuitos de 69 kV la distancia vertical mínima entre fases, según la tabla V debe ser:

Tabla V. **Distancia vertical entre conductores del mismo circuito**

Conductores y cables en niveles inferiores	Conductores y cables en niveles superiores			
	Cables de suministro que cumplen con 18.1C1,2 ó 3, conductores neutrales que cumplen con 18.1E1 (m)	De 0 A 8.7 kV (m)	Conductores de suministro abiertos	
			MAS DE 8.7kV A 50 Kv (m)	
			Misma empresa (m)	Diferente empresa (m)
De Comunicación • En general	1.00	1.00	1.00	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
Eléctricos con tensión entre conductores de:				1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Hasta 750 V	0.41	0.41 (1)	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Más de 750 V Hasta 8.7 kV		0.41(1)	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Más de 8.7 kV a 22 kV - si se trabaja con línea energizada - Si no se trabaja con línea energizada			0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV. 0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
Más de 22 kV sin exceder 50 kV			0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas Técnicas de Operación y Diseño de Instalaciones de Distribución. Artículo 18.5.2.

$$d = (72,5 - 50) (0,01) + 0,823 = 1,05 \text{ metros}$$

El inconveniente de este resultado es que no se toma en cuenta la flecha del conductor para un vano determinado, por lo que se adopta la distancia calculada en la ecuación (1.10), aproximando la distancia a un valor de 1,80 metros de distancia entre fase, para las configuraciones establecidas, (ver Anexo 2).

1.1.3.3. Altura mínima del conductor al suelo

La mínima libranza vertical al suelo, para una línea de transmisión de 69 kV, que se considerara que pasa por diferentes vías de acceso a poblados o cultivos, se especifica en la tabla VI.

Tabla VI. **Distancias mínimas de seguridad verticales de conductores sobre vías férreas, el suelo o agua**

Naturaleza de la superficie bajo los conductores	Conductores de comunicación aislados, retenidas aterrizadas, conductores neutros y cables eléctricos aislados (m)	Cables suministradores aislados de más de 750 V y conductores suministradores en línea abierta de 0 – 750 V (m)	Conductores suministradores en línea abierta arriba de 750 V a 22 kV. (m)	Conductores suministradores en línea abierta arriba de 22 a 470 kV. (m)
Vías férreas	7.2	7.5	8.1	8.1 + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Carreteras, calles, caminos y otras áreas usadas para tránsito	4.7	5.0	5.6	5.6 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Aceras o caminos accesibles sólo a peatones	2.9	3.8	4.4	4.4 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV.
Aguas donde no está permitida la navegación	4.0	4.6	5.2	5.2 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV
Aguas navegables incluyendo lagos, ríos, estanques, arroyos y canales con un área de superficie sin obstrucción de:	5.3	5.6	6.2	6.2/8.7/10.5 ó 12.3 m + 0.01 m por cada kV arriba de 22 kV
a) Hasta 8 ha	7.8	8.1	8.7	
b) Mayor a 8 hasta 80 ha	9.6	9.9	10.5	
c) Mayor de 80 hasta 800 ha	11.4	11.7	12.3	
d) Arriba de 800 ha				

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas Técnicas de Operación y Diseño de Instalaciones de Distribución. Artículo 18.2.

Por razones de seguridad, es necesario siempre fijar la libranza mínima del conductor al suelo, es decir, la distancia mínima del conductor más bajo entre el tramo interpostal con respecto al nivel del suelo. Esta libranza mínima no debe ser menor en ningún caso, por lo que se debe aplicar considerando la mayor flecha a la máxima temperatura del conductor, que alcanza en condiciones de operación la máxima potencia de transporte.

$$D_s = 6,10 \text{ m}$$

1.1.3.4. Ángulo de blindaje

La selección del ángulo de blindaje, para líneas de transmisión, está especificada, según la altura de la estructura especificada en grados medidos, desde el eje superior de la estructura al conductor energizado más alto.

- 30°, para alturas menores de 28 metros
- 26°, para alturas de 28 a 30 metros
- 21°, para alturas de 30 a 35 metros.

El ángulo de blindaje seleccionado para este caso le corresponde 30°, ya que partiendo del aspecto económico solamente se considerarán las estructuras menor de 28 metros útiles.

1.1.4. Criterios de diseño para la selección de las estructuras

Los soportes de conductores, postes de concreto con estructuras de acero pretensado, centrifugado, denominados estructuras de transmisión, tienen una gran importancia, a pesar de que su función se limita a servir de apoyo.

Estas estructuras tienen, además, la particularidad de ser repetitivas, es decir, que es considerable el número de estructuras en una línea que, salvo ligeras variantes, representan iguales características, por lo que pequeños aciertos o deficiencias en su diseño repercuten, de modo significativo, en la construcción/operación económica de la línea de transmisión de energía eléctrica.

Las características dimensionales y mecánicas de los postes de concreto pretensados, centrifugados que actualmente tienen mayor aplicación, y a la vez se encuentran en el mercado nacional se indican en la tabla VII.

Tabla VII. Características mecánicas y dimensionales de postes de concreto

ALTURA (m)	CLASE (lbs)	PUNTA				BASE				PESO TOTAL (lbs)
		H (m)	DIAMETRO PUNTA (m)	DIAMETRO BASE (m)	PESO (lbs)	H (m)	DIAMETRO PUNTA (m)	DIAMETRO BASE (m)	PESO (lbs)	
18	1000	18	0.165	0.435	5,596.83				0.00	5,596.83
18	2000	18	0.21	0.48	7,198.81				0.00	7,198.81
21	2000	12	0.255	0.435	4,699.00	9	0.435	0.57	7,027.00	11,726.00
21	3000	12	0.3	0.48	5,846.33	9	0.48	0.615	8,256.05	14,102.38
21	4000	12	0.3	0.48	5,968.73	9	0.48	0.615	8,378.45	14,347.18
21	10000	12	0.48	0.66	12,233.88	9	0.66	0.795	13,903.92	26,137.80
24	2000	12	0.255	0.435	4,699.34	12	0.435	0.615	10,208.53	14,907.86
24	3000	12	0.3	0.48	5,846.33	12	0.48	0.66	11,907.48	17,753.81
24	4000	12	0.345	0.525	7,113.12	12	0.525	0.705	13,685.44	20,798.56
24	5000	12	0.39	0.57	8,792.58	12	0.57	0.75	15,624.00	24,416.58
24	6000	12	0.39	0.57	8,874.18	12	0.57	0.75	15,746.40	24,620.58
24	7000	12	0.435	0.615	10,371.73	12	0.615	0.795	17,311.37	27,683.10
27	2000	12	0.255	0.435	4,776.14	15	0.435	0.66	13,931.96	18,708.10
27	4000	12	0.345	0.525	7,264.32	15	0.525	0.75	18,664.86	25,929.18
27	6000	12	0.39	0.57	8,874.18	15	0.57	0.795	21,057.94	29,932.11
27	10000	15	0.525	0.75	18,610.86	12	0.75	0.93	24,068.65	42,679.51

Fuente: productos Atlas. Tabla de dimensiones de postes para Empresa Eléctrica de Guatemala.

Los criterios de diseño fijados para la selección óptima del uso de las estructuras son los siguientes:

- Fuerzas mecánicas sobre las estructuras
- Flecha del conductor y tensión de diseño
- Factores de sobrecarga.
- Altura útil de las estructuras conforme a una flecha final.

1.1.4.1. Fuerzas mecánicas sobre las estructuras

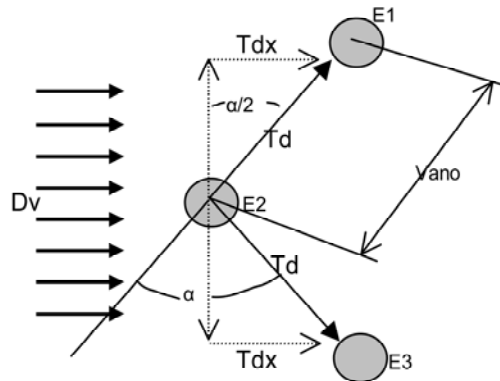
Las estructuras de soporte de las líneas aéreas de transmisión deberán tener suficiente resistencia mecánica, para soportar las fuerzas propias (peso de la estructura y herrajes) y las debidas a las condiciones meteorológicas a que estén sometidas, según el lugar en que se ubiquen, con los factores de sobrecarga adecuados.

Las fuerzas mecánicas que deben soportar las estructuras son las siguientes:

- Fuerzas transversales
- Fuerzas verticales
- Fuerzas longitudinales

Para el análisis de las aplicaciones de las fuerzas sobre las estructuras, nos apoyaremos en la figura 1.

Figura 01. **Vista en planta de la fuerza ejercida por el viento sobre una línea de transmisión**



Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. p. 60.

Donde:

T_d = Tensión de diseño del conductor o hilo de guarda, en kg.

α = Deflexión de la línea, en grados sexagesimales.

D_v = Dirección del viento

E = Vista en planta de poste de concreto

Con el propósito de establecer las fuerzas mínimas que deben considerarse en el cálculo mecánico de las estructuras SAP y AAF (ver Anexo 2), se consideran los parámetros meteorológicos definidos en las Normas Técnicas de Diseño y Operación de Instalaciones de Distribución de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala (ver Anexo 3).

- Velocidad de viento = 100 km/h
- Rango de temperatura = 10 °C a 50 °C

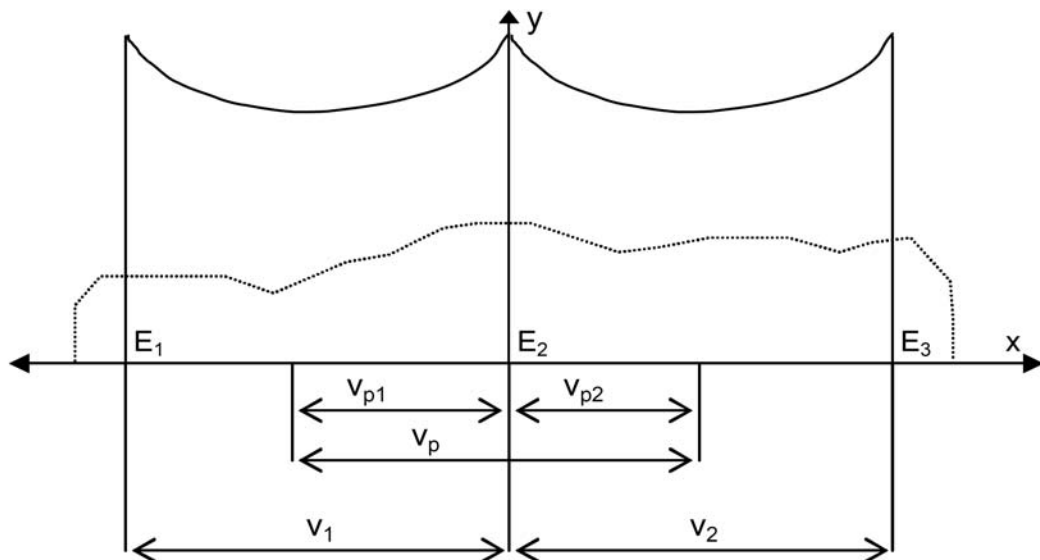
1.1.4.1.1. Fuerzas transversales

La fuerza transversal es la debida al viento, que sopla horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea sobre la estructura, conductores y cables de guarda.

1.1.4.1.1.1. Vano de viento

Se define el vano de viento como la longitud de vano horizontal que se va considerar para la determinación del esfuerzo transversal que, debido a la acción del viento sobre los conductores y cables, transmiten éstos a la estructura. Esta longitud queda determinada por la semisuma de los dos vanos contiguos a la estructura (ver figura 2).

Figura 02. Vanos de viento y de peso



Fuente: BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kv utilizando estructuras compactas. p. 62.

$$V_v = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (\text{Ec. 1.11})$$

Donde:

V_v = Longitud del vano de viento medio en la dirección longitudinal, en m.

V_1 = Longitud del vano anterior a la estructura medido en la dirección longitudinal, en m.

V_2 = Longitud del vano posterior a la estructura medido en la dirección longitudinal, en m.

V_p = Longitud del vano de peso de la estructura, en m.

V_{p1} = Longitud del vértice de la catenaria anterior a la estructura, en m.

V_{p2} = Longitud del vértice de la catenaria posterior a la estructura, en m.

1.1.4.1.1.2. Fuerza debida al viento en los cables

Primero se debe calcular la presión del viento ejercida sobre superficies de alambres y cables, por medio de la ecuación 1.12:

$$P_{vc} = 0,00482 V^2 \quad (\text{Ec. 1.12})$$

Donde:

P_{vc} = Presión del viento, en kg/m^2 , sobre cables o alambres.

V = Velocidad del viento de diseño, en km/h.

La fuerza transversal sobre la estructura, que se debe al viento que actúa sobre los conductores y cable de guarda, es igual al producto del vano de viento por la carga unitaria debida al viento, entendiéndose por carga unitaria, el producto de la presión del viento por el área unitaria proyectada del conductor o cable de guarda.

$$F_{tc} = V_v * P_v * \text{Ø}_c \quad (\text{Ec. 1.13})$$

Donde:

F_{tc} = Fuerza transversal debida al viento sobre los conductores o cable de guarda, en kg.

V_v = Vano de viento, en m.

P_v = Presión del viento, en kg/m², sobre cables o alambres.

Ø_c = Diámetro del conductor o hilo de guarda, en m.

1.1.4.1.1.3. Fuerza debida al viento en el poste

Se debe considerar que la ráfaga de viento cubre totalmente la altura útil del poste, aplicando un factor de 1,3 a la velocidad de diseño. Con base en lo anterior, la ecuación aplicable para la presión del viento es:

$$P_{ve} = 0,00815 V^2 \quad (\text{Ec. 1.14})$$

Donde:

P_{ve} = Presión del viento sobre la altura útil del poste, en kg/m².

V = Velocidad del viento de diseño, en km/h.

La fuerza transversal sobre el poste de concreto, que se debe al viento que actúa sobre el propio poste, debe calcularse considerando su área proyectada, perpendicular a la dirección del viento.

Para el cálculo del área proyectada, se considera el poste como una superficie trapezoidal.

$$F_{te} = 0,5 * (\varnothing_{pp} + \varnothing_{bntn}) * H_{up} * P_{ve} \quad (\text{Ec. 1.15})$$

Donde:

F_{te} = Fuerza transversal debida al viento sobre el poste de concreto, kg.

\varnothing_{pp} = Diámetro de la punta del poste, en m.

\varnothing_{bntn} = Diámetro de la base del poste a la altura del nivel del terreno, en m.

H_u = Altura útil del poste, en m.

P_{ve} = Presión del viento, en kg/m^2 , sobre el poste.

1.1.4.1.1.4. Fuerza debido a la deflexión de la línea

Cuando la línea cambia de dirección, la carga transversal resultante sobre la estructura, se debe considerar igual al vector suma de: la resultante de las componentes transversales de las tensiones mecánicas máximas en los conductores y cables de guarda, originada por el cambio de dirección de la línea. Refiriéndose a la figura 1, se tiene:

$$F_{tf} = 2 * T_d * \text{Sen}(\alpha/2) \quad (\text{Ec. 1.16})$$

Donde:

F_{tf} = Fuerza transversal debido a la deflexión de la línea, en kg.

T_d = Tensión de diseño aplicada al conductor e hilo de guarda, en kg.

Esta tensión es un porcentaje de la tensión de ruptura del conductor.

α = Deflexión de la línea, en grados.

1.1.4.1.2. Fuerzas verticales

La carga vertical sobre cimientos, postes, aisladores y accesorios de sujeción de los conductores y cable de guarda, está constituida por el peso propio de la estructura soportadora, más el de los conductores, cables de guarda y accesorios que soporten, teniendo en cuenta los efectos que pueden resultar por diferencias de nivel entre los soportes de los mismos.

1.1.4.1.2.1. Vano de peso

El cálculo de las fuerzas verticales que cuyos conductores e hilos de guarda transmiten a las estructuras se realiza mediante la teoría del vano de peso.

Se define el vano de peso, como la distancia horizontal entre los puntos más bajos de las catenarias adyacentes a la estructura considerada (véase figura 2).

$$V_p = V_{p1} + V_{p2} \quad (\text{Ec. 1.17})$$

Donde:

V_p = Longitud, de vano de peso de la estructura, en m.

V_{p1} = Longitud, del vértice de la catenaria anterior a la estructura, en m.

V_{p2} = Longitud, del vértice de la catenaria posterior a la estructura, en m.

De este modo, la carga vertical por conductor o cable de guarda, es igual al vano de peso multiplicado por el peso por unidad de longitud del cable correspondiente.

Para el caso del tramo típico, en donde se considerará el diseño de la línea, con base en una distribución de estructuras de igual altura, situadas a la misma separación, la longitud del vano de peso será igual a la del vano de viento para la misma estructura.

1.1.4.1.3. Fuerzas longitudinales

Estas se deben a las componentes de las tensiones mecánicas máximas de los conductores o cables, ocasionados por el desequilibrio a uno y otro lado del soporte, ya sea por cambio de tensión mecánica, remate o ruptura de conductores.

En general, no es necesario considerar carga longitudinal en los soportes comprendidos en tramos rectos de línea, donde no cambia la tensión mecánica de los conductores y cables de guarda a uno y otro lado de los soportes, excepto en el caso de estructuras de remate en tangente. La fuerza longitudinal, que se debe a la supuesta ruptura de los conductores o cables de guarda en las estructuras de remate o deflexión, será considerada con base en la tensión de diseño aplicada a los conductores o cables.

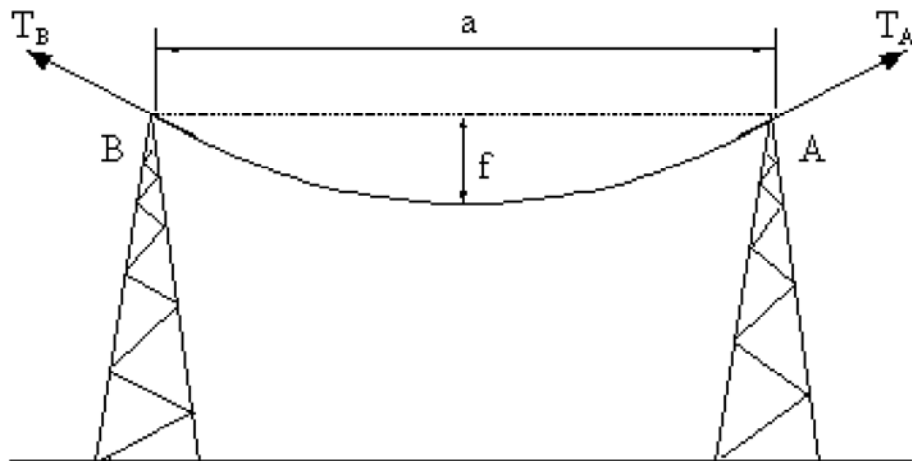
1.1.4.2. Flecha y tensión mecánica del conductor

Un conductor de peso uniforme, sujeto entre dos apoyos situados a la misma altura, forma una curva llamada catenaria. La distancia entre el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta que pasa sobre las dos puntas de los apoyos, recibe el nombre de flecha, la longitud de dicha flecha estará determinada por todas las fuerzas aplicadas al conductor.

1.1.4.2.1. Planteamiento de la ecuación de la flecha

Sean los puntos A y B situados a la misma altura las puntas de los apoyos que sostienen un conductor de peso uniforme. Sea la flecha f la distancia entre el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta AB. Se llama vano a la distancia "a" entre los dos puntos de amarre A y B. (Ver la figura 3).

Figura 3. Flecha de un conductor sostenido por dos apoyos



Fuente: Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología. Cálculo mecánico de flechas y tensiones. p. 3.

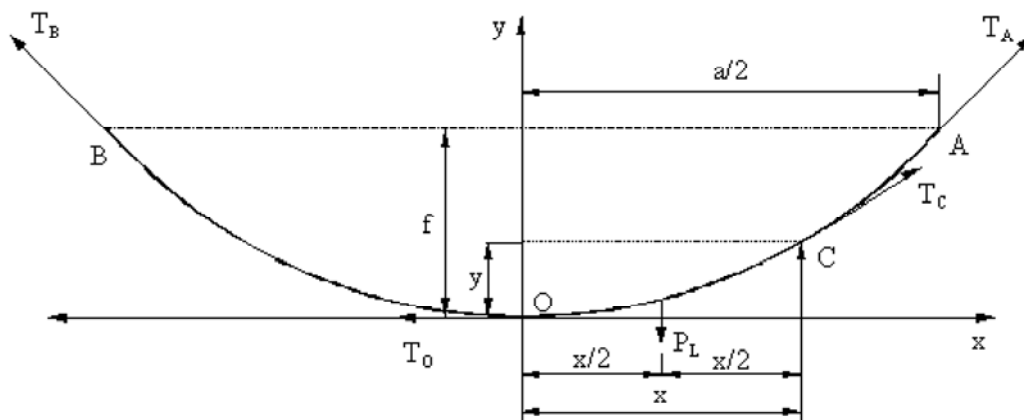
Los postes deberán soportar las tensiones T_A y T_B , que ejerce el conductor en los puntos de amarre. La magnitud de la tensión $T = T_A = T_B$ dependerá de la longitud del vano, del peso del conductor, de la temperatura y de las condiciones atmosféricas.

Para vanos de hasta unos 500 metros, se puede equiparar la forma de la catenaria a la de una parábola, que ahorra complejos cálculos matemáticos, y se obtienen, sin embargo, una exactitud más que suficiente.

Como se detalla más adelante, la catenaria deberá emplearse necesariamente en vanos superiores a los 1 000 metros de longitud, ya que cuanto mayor es el vano, menor es la similitud entre la catenaria y la parábola.

Se calcula a continuación la relación que existe entre la flecha y la tensión. Para esto, se representa el conductor de un vano centrado en unos ejes de coordenadas:

Figura 4. **Relación entre la flecha y tensión de un conductor**



Fuente: Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología. Cálculo mecánico de flechas y tensiones. p. 4.

Se considerará un trozo de cable OC, que tendrá un peso propio PL aplicado en el punto medio y estará sometido a las tensiones TO y TC aplicadas en sus extremos.

Tomando momentos, respecto al punto C, se tendrá:

$$P_L \frac{x}{2} = T_C \quad (\text{Ec. 1.18})$$

Por lo tanto, el valor de “y” será:

$$y = \frac{x^2 P_L}{2T_C} \quad (\text{Ec. 1.19})$$

Si P es el peso por unidad de longitud del conductor, el peso total del conductor en el tramo OC, llamado PL, será igual al peso por unidad de longitud por la longitud del conductor que, cometiendo un pequeño error, será denominado x.

Por lo tanto, admitiendo que:

$$PL = P * x \quad (\text{Ec. 1.20})$$

Y sustituyendo esta expresión en la fórmula anterior del valor de “y” resulta:

$$y = \frac{x^3 P}{2T_C} \quad (\text{Ec. 1.21})$$

Si ahora se considera el punto A, correspondiente al amarre del cable en vez del punto C, se tendrá:

$$y = f \quad ; \quad x = \frac{a}{2} \quad (\text{Ec. 1.22})$$

Por lo tanto, al sustituir queda:

$$f = \frac{Pa^2}{8T_o} \quad (\text{Ec. 1.23})$$

Se puede despejar el valor de la tensión T_o y se tendrá que:

$$T_o = \frac{Pa^2}{8f} \quad (\text{Ec. 1.24})$$

La ecuación (1.20) relaciona la flecha en función de la tensión T_o , del peso unitario P y de la longitud del vano a .

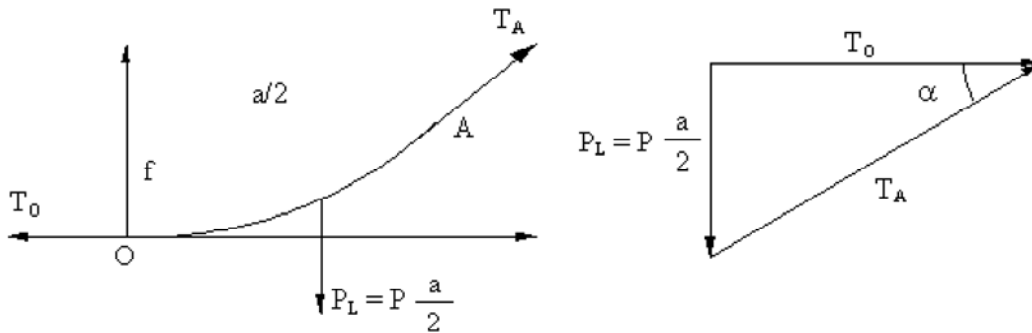
Si se compara esta ecuación de la parábola con la de la catenaria:

$$f = \frac{T_o}{P} \left(\cosh \frac{aP}{2T_o} - 1 \right) \quad (\text{Ec. 1.25})$$

Se podrá observar la complejidad de ésta, y como se demostrará más adelante, los resultados serán prácticamente iguales. Interesa trabajar con la tensión T_A , en lugar de la empleada hasta ahora T_O .

Se observa el triángulo de fuerzas compuesto por T_O , T_A y PL (ver la figura 5).

Figura 5. **Representación de tensiones mecánicas en un cable conductor**



Fuente: Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología. Cálculo mecánico de flechas y tensiones. p. 5.

Y aplicando el teorema de Pitágoras, se tiene:

$$T_A^2 = T_0^2 + \left(\frac{aP}{2}\right)^2 \quad (\text{Ec. 1.26})$$

En los casos prácticos que se presentan en las líneas aéreas de alta tensión, el valor del ángulo α formado por T_0 y T_A es muy pequeño, por lo que se puede asegurar que $T_0 \cong T_A$, que es una aproximación que se empleará en cálculos posteriores. Esto equivale a afirmar que la tensión a lo largo del conductor es constante.

Referente a T_A , se puede decir que esta tensión no debe sobrepasar nunca el valor de la carga de rotura del conductor, pues de lo contrario se rompería.

1.1.4.2.1.1. Comparación entre la catenaria y la parábola

Con un conductor Flint 740,8 MCM, se calcula las flechas para distintos vanos con un porcentaje de utilización de 25% sobre la tensión de ruptura. Este conductor presenta una tensión de rotura de 11 017,01 kgf y un peso unitario de 1,028 kg/m (ver tabla VIII).

La flecha de la catenaria es

$$f = \frac{T_o}{P} \left(\cosh \frac{aP}{2T_o} - 1 \right) \quad (\text{Ec. 1.27})$$

La ecuación para la parábola es:

$$f = \frac{Pa^2}{8T_o} \quad (\text{Ec. 1.28})$$

Los valores que se sustituyen son:

$$T_o = 11\,017,01 * 0,25 = 2\,754,25 \text{ kg}; P = 1\,028 \text{ kg/m}$$

Tabla VIII. **Características Técnicas de Conductores AAAC**
(All Aluminum Alloy Conductor)

CALIBRE AWG ⁶ kcmil	CÓDIGO	Nº. HILOS	CLASE DE CABLEADO	DIÁMETRO HILO (mm)	ÁREA (mm ²)	DIÁMETRO CONDUCTOR (mm)	PESO CONDUCTOR APROX (kg/km)	RESISTENCIA ELÉCTRICA DC a 20° C ¹ (ohm/km)	CARGA A LA ROTURA (kg)	CAPACIDAD DE CORRIENTE ² (A)	RADIO MEDIO GEOMÉTRICO (mm)	REACTANCIA INDUCTIVA ³ (ohm/km)	REACTANCIA CAPACITIVA ³ (Mohm-km)
6	-	7	A	1.555	13.30	4.67	36.48	2.52	431	85	1.69	0.3915	0.2326
30.58	AKRON	7	A	1.679	15.50	5.04	42.52	2.16	502	94	1.83	0.3858	0.2289
4	-	7	A	1.961	21.15	5.88	58.03	1.58	685	114	2.14	0.3740	0.2215
48.69	ALITON	7	A	2.118	24.67	6.36	67.69	1.36	799	126	2.31	0.3682	0.2178
2	-	7	AA,A	2.473	33.63	7.42	92.26	0.996	1090	153	2.69	0.3566	0.2105
77.47	AMES	7	AA,A	2.672	39.25	8.02	107.7	0.853	1272	168	2.91	0.3507	0.2068
1	-	7	-	2.777	42.41	8.33	116.4	0.790	1374	176	3.02	0.3478	0.2049
1	-	19	-	1.686	42.41	8.43	116.4	0.790	1331	177	3.19	0.3437	0.2044
1/0	-	7	AA,A	3.120	53.51	9.36	146.8	0.626	1734	204	3.40	0.3390	0.1994
1/0	-	19	-	1.894	53.51	9.47	146.8	0.626	1680	205	3.59	0.3349	0.1988
123.3	AZUSA	7	AA,A	3.371	62.48	10.11	171.4	0.536	1939	225	3.67	0.3332	0.1957
2/0	-	7	AA,A	3.502	67.44	10.51	185.0	0.497	2093	236	3.81	0.3303	0.1938
2/0	-	19	-	2.126	67.44	10.63	185.0	0.497	2117	236	4.03	0.3262	0.1933
155.4	ANAHEIM	7	AA,A	3.785	78.74	11.35	216.1	0.425	2444	260	4.12	0.3245	0.1901
3/0	-	7	AA,A	3.933	85.03	11.80	233.3	0.394	2639	272	4.28	0.3216	0.1883
3/0	-	19	-	2.387	85.03	11.94	233.3	0.394	2669	273	4.52	0.3175	0.1878
195.7	AMHERST	7	AA,A	4.247	99.16	12.74	272.1	0.338	3077	300	4.62	0.3158	0.1846
4/0	-	7	AA,A	4.416	107.2	13.25	294.2	0.312	3327	315	4.81	0.3128	0.1828
4/0	-	19	-	2.680	107.2	13.40	294.2	0.312	3366	316	5.08	0.3087	0.1822
246.9	ALLIANCE	7	AA	4.770	125.1	14.31	343.3	0.268	3882	347	5.19	0.3070	0.1791
250	-	19	A	2.914	126.7	14.57	347.6	0.264	3976	351	5.52	0.3024	0.1782
250	-	37	-	2.088	126.7	14.62	347.6	0.264	3891	351	5.61	0.3012	0.1781
266.8	-	19	-	3.010	135.2	15.05	370.9	0.248	4244	365	5.70	0.3000	0.1767
300	-	19	A	3.192	152.0	15.96	417.1	0.220	4772	393	6.05	0.2956	0.1739
300	-	37	-	2.287	152.0	16.01	417.1	0.220	4669	393	6.15	0.2943	0.1737
312.8	BUTTE	19	A	3.259	158.5	16.30	434.9	0.211	4765	404	6.18	0.2940	0.1729
336.4	-	19	-	3.380	170.5	16.90	467.7	0.197	5124	422	6.40	0.2912	0.1712
350	-	19	A	3.447	177.3	17.24	486.6	0.189	5331	433	6.53	0.2898	0.1702
350	-	37	-	2.470	177.3	17.29	486.6	0.189	5447	433	6.64	0.2885	0.1701
394.5	CANTON	19	AA,A	3.660	199.9	18.30	548.5	0.168	6009	467	6.94	0.2852	0.1674
397.5	-	19	-	3.674	201.4	18.37	552.6	0.166	6055	469	6.96	0.2850	0.1672
400	-	19	AA,A	3.685	202.7	18.43	556.1	0.165	6093	471	6.98	0.2847	0.1670
400	-	37	-	2.641	202.7	18.49	556.1	0.165	6225	471	7.10	0.2835	0.1669
450	-	19	AA	3.909	228.0	19.54	625.6	0.147	6855	507	7.41	0.2803	0.1642
450	-	37	-	2.801	228.0	19.61	625.6	0.147	7004	507	7.53	0.2790	0.1641
465.4	CAIRO	19	AA	3.975	235.8	19.88	647.0	0.142	7089	517	7.53	0.2790	0.1634
477	-	19	-	4.025	241.7	20.12	663.2	0.139	7266	525	7.63	0.2781	0.1628
500	-	19	AA	4.120	253.4	20.60	695.2	0.132	7616	541	7.81	0.2763	0.1617
500	-	37	-	2.953	253.4	20.67	695.2	0.132	7782	541	7.94	0.2751	0.1615
550	-	37	AA,A	3.097	278.7	21.68	764.7	0.120	8560	575	8.32	0.2715	0.1593
550	-	61	-	2.412	278.7	21.71	764.7	0.120	8466	575	8.38	0.2710	0.1592
556.5	-	19	-	4.347	282.0	21.73	773.7	0.119	8477	578	8.24	0.2723	0.1591
559.5	DARIEN	19	AA	4.359	283.5	21.79	777.9	0.118	8523	580	8.26	0.2721	0.1590
600	-	37	AA,A	3.235	304.0	22.64	834.2	0.110	9338	607	8.69	0.2682	0.1572
600	-	61	-	2.519	304.0	22.67	834.2	0.110	9235	607	8.75	0.2677	0.1571
636	-	37	-	3.330	322.3	23.31	884.2	0.104	9480	629	8.95	0.2660	0.1558
650	-	37	AA	3.367	329.4	23.57	903.7	0.102	9688	637	9.05	0.2652	0.1553
650	-	61	-	2.622	329.4	23.60	903.7	0.102	10005	638	9.11	0.2647	0.1552
652.4	ELGIN	19	AA	4.707	330.6	23.53	907.0	0.101	9938	638	8.92	0.2663	0.1553
700	-	37	AA	3.494	354.7	24.46	973.2	0.0944	10434	667	9.39	0.2624	0.1535
700	-	61	-	2.721	354.7	24.49	973.2	0.0944	10775	668	9.45	0.2619	0.1535
740.8	FLINT	37	AA	3.594	375.4	25.16	1030	0.0892	11042	691	9.66	0.2603	0.1522
750	-	37	AA	3.616	380.0	25.31	1043	0.0881	11179	697	9.72	0.2598	0.1519
750	-	61	-	2.816	380.0	25.35	1043	0.0881	11544	697	9.78	0.2593	0.1518
795	-	37	-	3.723	402.8	26.06	1105	0.0832	11850	722	10.01	0.2576	0.1505
800	-	37	AA	3.735	405.4	26.14	1112	0.0826	11924	725	10.04	0.2574	0.1503
800	-	61	-	2.909	405.4	26.18	1112	0.0826	12314	725	10.11	0.2569	0.1503
900	-	37	AA	3.961	456.0	27.73	1251	0.0735	13415	779	10.65	0.2529	0.1475
900	-	61	-	3.085	456.0	27.77	1251	0.0735	13853	780	10.72	0.2524	0.1475
927.2	GREELEY	37	AA	4.021	469.8	28.15	1289	0.0713	13820	794	10.81	0.2518	0.1468
954	-	61	-	3.176	483.4	28.59	1326	0.0693	14684	808	11.04	0.2502	0.1461
1000	-	37	AA	4.176	506.7	29.23	1390	0.0661	14905	831	11.22	0.2489	0.1450
1000	-	61	-	3.252	506.7	29.27	1390	0.0661	14741	832	11.30	0.2484	0.1449

Fuente: www.centelsa.com.co/descargar.php?f=userfiles/catalogos/aac.pdf. Consultado el 10 de julio de 2011.

De esta forma se elabora la tabla IX, en la que aparece la longitud del vano en metros, la flecha para la catenaria y para la parábola y la diferencia entre los dos valores, expresada en tanto por ciento.

Tabla IX. **Porcentaje de error entre el cálculo de la catenaria y la parábola**

Vano	Catenaria	Parábola	% Error	Δ %Error
100	1,382	1,381	0,025	0,025
200	5,531	5,525	0,102	0,076
400	22,190	22,100	0,406	0,304
600	50,182	49,725	0,911	0,505
800	89,848	88,399	1,612	0,701
1 000	141,673	138,124	2,505	0,893
1 200	206,291	198,898	3,584	1,078
1 400	284,492	270,722	4,840	1,256
1 600	377,231	353,597	6,265	1,425
1 800	485,642	447,521	7,850	1,584
2 000	611,050	552,495	9,583	1,733

Fuente: elaboración propia.

Si se toma como error aceptable, cuando la diferencia de errores por cada 200 m de distancia sea menor a 1, se puede decir que para vanos inferiores a 1 000 m se puede utilizar la parábola como una excelente aproximación a la catenaria.

1.1.4.2.2. Tensión mecánica en conductores y cables de guarda

La condición de un cable dentro de unas pocas horas de ser instalada en una línea de transmisión, se llama su condición "Inicial" (denominada I). En vista de que está bajo la tensión constante, el cable frecuentemente se alarga (fluencia) con el tiempo. Se asume que el cable permanece bajo tensión constante a la temperatura de fluencia TEMPC, durante un período de diez años, la condición del cable después de un período de 10 años se llama "final después de fluencia" (denominado C). Si el cable se estira permanentemente, bajo alguna "carga climática severa", su condición después de ser sometida a la carga severa se llama "final después de fluencia" (denominada L).

Por lo tanto, dos condiciones mínimas climáticas tienen que ser asumidas antes de desarrollar cualquier cálculo de flecha-tensión. Estos son 1) la condición climática, en la cual se presume que ocurre la fluencia, por ejemplo, una combinación sin viento y temperatura de fluencia; 2) una condición severa de tiempo que se presume crea el alargamiento permanente del comportamiento "final después de carga".

1.1.4.2.2.1. Tensión mecánica de diseño

De acuerdo con el folleto Métodos de Análisis y Diseño en Estructuras para Transmisión de Energía Eléctrica CFE, en el cálculo mecánico de los cables conductores e hilos de guarda, se establecen generalmente tres límites de tensión, con el objeto de limitar el efecto destructivo de las vibraciones producidas por el viento en los conductores.

- Tensión inicial: la tensión inicial sin carga a 0 °C no debe ser mayor del 33% de la carga de ruptura del cable.
- Tensión final sin carga: la tensión final sin carga a 0 °C no debe ser mayor de 25% de la carga de ruptura del cable.
- Tensión de fluencia: la tensión de fluencia a la temperatura máxima de la zona, 50 °C sin viento no debe ser mayor de 20,00% de la carga de ruptura del cable.
- Tensión final con carga: la tensión final después de carga a una temperatura ambiente de 15 °C y una velocidad de viento máxima de la zona, 100 Km/h no debe ser mayor de 50% de la carga de ruptura del cable.

Por lo general, las tensiones finales del conductor o cable sin carga, es decir, las tensiones que existen una vez que se hayan regulado los vanos o alcanzado la flecha de diseño, pueden mantenerse entre 15% a 25% de la carga de ruptura del conductor o cable, a la temperatura promedio anual, siempre que los otros límites de tensiones aplicables a las condiciones originales del cable, sin carga o con carga fijados anteriormente, se excedan.

1.1.4.2.2.2. Cálculo de flechas y tensiones

Para este propósito en la definición del tramo típico, se considerará una tensión ya experimental de diseño final sin carga del 16.15% de la carga de ruptura del conductor FLINT 740,8 MCM, (ver tabla VIII), para lo cual se elaborará la tabla X por medio de la ecuación de la parábola, partiendo de los siguientes datos:

- Tensión de diseño del conductor = $(11\ 017,01\ \text{kg} * 16,15\%) = 1\ 779,25\ \text{kg}$.
- Peso del conductor = 1,028 kg/m.

Tabla X. **Flecha del conductor Flint 740,8 MCM a diferentes longitudes de vanos**

Vano (m)	Flecha del conductor Flint 740,8 MCM (m)
50	0,181
100	0,722
150	1,625
200	2,889
250	4,514
300	6,500
350	8,847
400	11,555
450	14,625
500	18,055
550	21,847
600	26,000
650	30,514
700	35,389
750	40,625
800	46,222

Fuente: elaboración propia.

Es de interés también calcular a qué porcentaje de tensión de ruptura estará sometido el cable de hilo de guarda, considerando que éste debe tener una flecha igual a la del conductor en los tramos interpostales. Dicha tensión también es calculada por la ecuación de la parábola despejando T_0 .

En este trabajo se considerará el uso del cable de acero galvanizado 3/8", de alta resistencia para el cable de guarda, para lo cual se enumerarán sus características mecánicas en la tabla XI.

Tabla XI. **Características mecánicas del cable de guarda**

Descripción	Cable de Guarda
Calibre	3/8
Diámetro (m)	0,00952
Peso Unitario (kg/m)	0,409
Tensión de Ruptura (kg)	5 100

Fuente: elaboración propia.

Por lo que de la ecuación (1.21), despejando T_0 y manteniendo la misma flecha calculada para cada vano correspondiente, se tendrá, por ejemplo, para un vano de 100 m, según la tabla X, tendremos una flecha de 0,722 m.

$$T_0 = \frac{Pa^2}{8f} = \frac{0,409 * 100^2}{8 * 0,722} = 708,10 \text{ kg}$$

Entonces:

$$\% = \frac{708,10 \text{ kg}}{5100 \text{ kg}} * 100 = 13,88 \%$$

Implica un 13,88 % de tensión de ruptura del cable de 3/8".

1.1.4.3. Factores de sobrecarga

Las estructuras de metal y concreto pretensado, cruceros, retenidas, fundiciones deberán ser diseñadas para soportar las cargas adecuadas, multiplicadas por los factores de sobrecarga apropiados descritos en la tabla No. XII.

Tabla XII. Factores de sobrecarga para estructuras de soporte de conductores¹

Factores de sobrecarga		
	Clase B	Clase C
Cargas verticales	1.50	1.50
Cargas Transversales		
Viento	2.50	2.20 ⁴
Tensión del conductor	1.65 ²	1.30 ⁵
Cargas Longitudinales		
En los cruces:		No se requiere
En general	1.10	1.30 ⁵
En remates	1.65 ²	No se requiere
En otras partes:		1.30 ⁵
En general	1.00	
En remates	1.65 ²	

1. Incluye postes
2. Para retenidas y anclas asociadas con estructuras que únicamente soportan conductores y cables de comunicación, este factor puede reducirse a 1,33.
3. 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
4. Este factor puede ser reducido a 1,75 para estructuras de madera y concreto reforzado (no pretensado), cuando no son estructuras de cruce.
5. Para estructuras de metal y concreto pretensado, cruceros, retenidas, fundiciones y anclas, use un valor de 1,10.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas técnicas de operación y diseño de instalaciones de distribución. Artículo 20.6.

1.1.4.4. Cálculo de momentos en el poste

El análisis de los momentos de volteo del poste, en función de un vano de viento determinado y una tensión final de diseño con carga, es de importancia para determinar su capacidad de resistencia a todos los esfuerzos en que está sometido, para lo cual se deben considerar los momentos unitarios producidos por viento y peso de conductores e hilo de guarda.

1.1.4.4.1. Momento debido al viento en los cables

El momento resultante, que actúa sobre el poste de concreto, debido a la acción del viento en los conductores y cable de guarda, es la sumatoria de los momentos que cada conductor y cable de guarda ejerce sobre el poste.

El momento actuante por cada conductor y cable de guarda, sobre la estructura debida al viento que actúa sobre los mismos, es igual al producto de la fuerza transversal, que se debe al viento sobre los conductores o cable de guarda por la altura del conductor o cable de guarda, desde el nivel del terreno por un factor de seguridad (ver la tabla XII).

$$M_{cv} = F_{tc} * H_c * F_s \quad (Ec. 1.29)$$

$$M_{rvc} = \sum M_{cv} \quad (Ec. 1.30)$$

Donde:

M_{rvc} = Momento resultante debido a la acción del viento en los cables y cable de guarda, en kg*m.

M_{cv} = Momento por conductor o hilo de guarda que actúa sobre la estructura, debido a la acción del viento, en kg*m.

Ftc = Fuerza transversal debida al viento sobre los conductores o cable de guarda, en kg.

Hc = Altura del conductor o cable de guarda, en m.

Fs = Factor de seguridad, 2,20.

1.1.4.4.2. Momento debido al viento en el poste

El momento resultante, que actúa sobre el poste de concreto debido a la acción del viento sobre el mismo, es el producto de la fuerza transversal producida por el viento aplicado en el centroide del poste, al considerar éste como una superficie trapezoidal, por un factor de seguridad.

$$Mrvp = Fte * (Hu(2\varphi_{pp} + \varphi_{bntn}) / 3(\varphi_{pp} + \varphi_{bntn})) * Fs \quad (Ec. 1.31)$$

Donde:

Mrvp = Momento resultante debido a la acción del viento sobre el poste, en kg*m.

Fte = Fuerza transversal debida al viento sobre el poste, en kg.

Hu = Altura útil del poste, en m.

φ_{pp} = Diámetro de la punta del poste, en m.

φ_{bntn} = Diámetro de la base del poste a la altura del nivel del terreno, en m.

Fs = Factor de seguridad, 2,20.

1.1.4.4.3. Momento debido a la deflexión de la línea

El momento resultante que actúa sobre el poste, originado por el cambio de dirección de la línea, es la sumatoria de los momentos que cada conductor y cable de guarda ejercen sobre el poste debido a la deflexión de la línea.

El momento actuante por cada conductor y cable de guarda sobre la estructura es el producto de la fuerza transversal, debido a la deflexión de la línea por la altura del conductor o cable de guarda, desde el nivel del terreno por un factor de seguridad.

$$M_{rf} = \sum M_{cf} \quad (Ec. 1.32)$$

$$M_{cf} = F_{tf} * H_c * F_s \quad (Ec. 1.33)$$

Donde:

M_{rf} = Momento resultante debido a la deflexión de la línea, en kg*m.

M_{cf} = Momento por cada conductor y cable de guarda debido a la deflexión de la línea, en kg*m.

F_{tf} = Fuerza transversal debido a la deflexión de la línea, en kg.

H_c = Altura del conductor o cable de guarda, en m.

F_s = Factor de seguridad, 1,30.

1.1.4.4.4. Momento por rotura

Para el cálculo del momento resultante en el poste, debido a una posible rotura de conductor o cable de guarda, sólo se tomarán, para este caso, la suma de los momentos producidos por el conductor superior y el cable de guarda, que se calcula por la ecuación 1,34.

$$M_{rr} = \sum M_{rc} \quad (Ec. 1.34)$$

$$M_{rc} = T_d * H_c * F_s \quad (Ec. 1.35)$$

Donde:

M_{rr} = Momento resultante por rotura de conductor o cable de guarda, en kg*m.

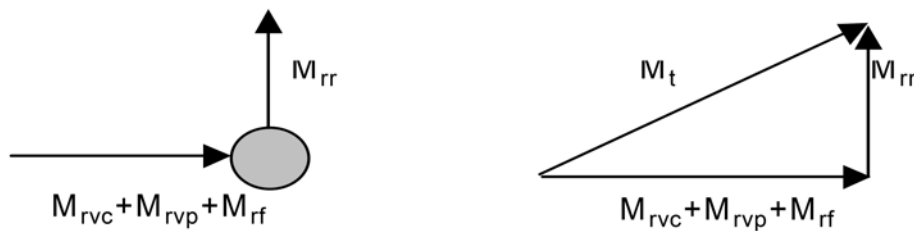
M_{rc} = Momento por cada conductor y cable de guarda debido a rotura, en kg*m.

- Td = Tensión de diseño aplicada al conductor o cable de guarda, en kg.
- Hc = Altura del conductor superior o cable de guarda desde el nivel del terreno, en m.
- Fs = Factor de seguridad 1,0, para estructura de remate y 0 para estructura de suspensión.

1.1.4.4.5. Momento total actuante en el poste

El momento total de volteo, al que se encuentra sometido el poste, es la resultante de la suma vectorial, de los momentos producidos por las fuerzas transversales más los momentos producidos por las fuerzas longitudinales.

Figura 6. **Diagrama vectorial de los momentos actuantes en un poste de concreto**



Fuente: ilustración propia.

Partiendo de la figura No. 6, se puede concluir, entonces:

$$M_t = ((M_{rvc} + M_{rvp} + M_{rf})^2 + (M_{rr})^2)^{1/2} \quad (\text{Ec. 1.36})$$

Donde:

Mt = Momento total actuante en el poste de concreto, en kg*m.

M_{rvc} = Momento resultante debido a la acción del viento en los cables y cable de guarda, en kg*m.

M_{rvp} = Momento resultante debido a la acción del viento sobre el poste, en $kg \cdot m$.

M_{rf} = Momento resultante debido a la deflexión de la línea, en $kg \cdot m$.

M_{rr} = Momento resultante por rotura de conductor o cable de guarda, en $kg \cdot m$.

1.1.4.4.6. Momento último resistente del poste

La máxima capacidad del poste de soportar todas las fuerzas que actúan en él, está definido por el momento máximo resistente del poste, el cual está definido por la resultante de aplicar a 30 cm de la punta del poste la carga máxima de trabajo (clase del poste), que está recomendada por el fabricante de postes por un factor de seguridad de 2 (para postes de concreto centrifugado).

Como ejemplo, un poste de clase 2 000 indica que el poste se rompe a las 4 000 libras, que son aplicadas a 30 centímetros de la punta del poste.

Para este caso, se tendrá que convertir la carga máxima de trabajo de libras a kilogramos, por lo que el momento último del poste se expresa como:

$$M_u = 2 (0,4536 \cdot \text{Clase}) * (H_{up} - 0,3) \quad (\text{Ec. 1.37})$$

Donde:

M_u = Momento último resistente del poste, en $kg \cdot m$.

Clase = Carga máxima de trabajo recomendada por el fabricante, en kg
(Véase tabla VII).

H_{up} = Altura útil del poste de concreto, en m.

1.1.4.5. Vano de viento calculado por momentos

El vano de viento calculado por momentos es la distancia intercostal, que garantiza que los postes están trabajando adecuadamente sin exceder el momento máximo resistente del poste.

A continuación, se calculará el vano viento máximo para un poste de 18,00 metros, clase 2 000, partiendo de los siguientes datos.

- Altura de poste: 18,00 m
- Altura útil: 15,7 m
- Clase de poste: 2 000 libras.
- Estructura Tipo: SAP (ver el Anexo 2)
- Deflexión: 0 grados
- Velocidad de viento: 100 km/h
- Vano de viento: 200 m
- % TR Conductor: 16,15 %
- % TR cable guarda: 13,88 %
- Diámetro de Conductor 740,8 MCM: 0,02516 m
- Diámetro de Cable de 5/16" (Guarda) 0,0079248 m

Tabla XIII. Cálculo de momentos actuantes en un poste de concreto

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
18C2000		Altura (m) : 18		Clase (lbs) : 2000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	0.0079248	200	48.2	2.2	2605.071955
Cond. Superior	1	14.1	0.025146	200	48.2	2.2	7519.478789
Cond. Medio	1	11.85	0.025146	200	48.2	2.2	6319.561961
Cond. Inferior	1	10.05	0.025146	200	48.2	2.2	5359.628498
Momento total debido al viento en los cables							21803.7412
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diametro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
2000	15.7	0.165	0.43975	48.2	2.2	3353.261874	
Momento total debido al viento en el poste							3353.261874
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	0	3628.73896	13.88	1.3	0
Cond. Superior	1	14.1	0	11067.65383	20.85	0	0
Cond. Medio	1	11.85	0	11067.65383	20.85	1.3	0
Cond. Inferior	1	10.05	0	11067.65383	20.85	1.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	15.5	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	14.1	11067.65383	20.85040985	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						21803.7412	
Momento debido al viento en el poste						3353.261874	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						25157.00308	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
2000	907.18474	15.7	2	27941.28999			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)		Momento actuante en el poste (kg-m)		Porcentaje de utilización (%)		
2000	27941.28999		25157.00308		90.04%		

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la metodología descrita con anterioridad, se puede concluir que un poste de 18,00 metros, clase 2 000, es apto para un tramo interpostal con un vano de viento de 200 metros, sometido bajo las condiciones mencionadas al inicio del cálculo.

1.1.4.6. Flecha máxima admisible

Es la distancia vertical máxima que se permite en el punto más bajo de la catenaria al eje imaginario del punto de anclaje del conductor más próximo al nivel del terreno. La flecha máxima para diferentes vanos y altura de postes es:

$$f_{\max} = H_u - D_{ci} - D_s \quad (\text{Ec. 1.38})$$

Donde:

F_{\max} = Flecha máxima admisible, en m.

H_u = Altura útil del poste, en m.

D_{ci} = Distancia vertical del conductor más bajo, desde la punta del poste, en m.

D_s = Distancia de seguridad mínima del conductor al suelo, en m.

1.1.4.7. Vano para flecha máxima permisible

La flecha máxima admisible es la mayor distancia que puede bajar el conductor estando tendido sin pasarse de la libranza fase a tierra mínima permitida, por lo que para dicha flecha se tiene un correspondiente vano máximo permisible, el cual puede darse en dos casos:

- Si la flecha para vano calculado por momentos es menor o igual que la flecha máxima admisible, entonces se debe seleccionar el vano calculado por momentos.

- Si la flecha para vano calculado por momentos es mayor que la flecha máxima admisible, entonces el vano por seleccionar se debe calcular partiendo de la ecuación (1,21), para calcular que no se excede la libranza fase a tierra mínima:

$$am = ((8 * f_{\text{máx}} * P) / TO)^{1/2} \quad (\text{Ec. 1.39})$$

Donde:

am = Vano máximo para flecha máxima permisible, en m.

fmax = Flecha máxima admisible, en m.

P = Peso unitario del conductor, en kg/m.

TO = Tensión de diseño, en kg.

1.1.4.8. Estructura por kilómetro

Al tener definida la longitud del tramo máximo interpostal, ahora es posible cuantificar con una buena aproximación el número de estructuras por kilómetro, que se utilizarán a lo largo de la línea.

Si se cuantifican los costos por estructura en materiales y construcción por cada kilómetro, se pueden obtener los costos totales de la línea con una buena precisión. El número de estructura por kilómetro se expresa como:

$$\text{No. de estructuras / km} = (1000 / am) + 1 \quad (\text{Ec. 1.40})$$

Donde:

am = Vano máximo según el caso, por momentos o por flecha máxima admisible, en m.

2. POSTE DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADO CON MATERIAL POLÍMERO

2.1. Productos RStandard Composite Utility Poles

La tecnología RStandard se ha vuelto revolucionaria en materiales compuestos. Actualmente están utilizando esos materiales en la manufactura de productos para competir contra productos hechos de materiales tradicionales como madera, hierro y concreto.

2.1.1. Aspecto y características de los productos

Los postes RStandard están contruidos de una serie de 8 módulos livianos. Para maximizar eficiencia en almacenaje y transporte, estos módulos pueden anidarse uno dentro de otro para formar compactos paquetes.

2.1.1.1. Tipo de postes y longitudes disponibles

Los postes modulares de RStandard Standard proporcionan la disponibilidad para otorgar una gran variedad de medidas en la longitud y resistencia de los postes. Existen diez medidas de postes modulares que pueden ser configuradas para construir postes desde un rango clase 5 a clase 6, con longitudes de 3 pies hasta 150 pies (9,14m a 47,24m). Los postes RStandard pueden ser utilizados para aplicaciones de distribución, comunicación y transmisión.

2.1.1.2. Beneficios de los diseños modulares

Los módulos son cortos y ligeros lo que permite que sean fáciles de levantar, maniobrar, transportar e instalar. Dado que las secciones modulares se acomodan juntas, los costos de almacenaje y transportación se reducen.

Además los módulos se utilizan para una gran variedad de largo de postes y clases, dando como resultado una significativa reducción en requerimientos de inventarios.

2.1.1.3. Tipo de materiales que recubren los postes RStandard

Los postes RStandard se elaboran con un recubrimiento de fibra de vidrio en conjunto con un proceso llamado filamento aerodinámico termo fijado con resina de poliuretano. El producto final es un compuesto de fibra reforzada con material de polímero.

2.1.1.4. Peso de un poste RStandard

En general el peso de un poste se compone de $\frac{2}{3}$ de acero, $\frac{1}{3}$ de madera y $\frac{1}{8}$ de concreto, dando como resultado la mayor resistencia en peso radial de cualquier otro tipo de material para postes en la industria. El peso individual de cada módulo y poste se puede encontrar en la sección Datos de postes. Debido al diseño modular de los postes, su peso ligero los hace fáciles de maniobrar, transportar e instalar.

2.1.1.5. Comparación del diámetro de los postes RStandard con el de los postes de madera

Para la mayoría de los módulos y clases el diámetro de los postes RStandard es muy similar al diámetro de los postes de cedro rojo occidental. Los diámetros específicos para punta y base pueden encontrarse en la sección Datos de postes.

2.1.1.6. Colores de postes RStandard disponibles

Los colores estándar son gris y café. Colores personalizados están disponibles dependiendo de la cantidad ordenada.

2.1.1.7. Protección de los postes contra los rayos ultravioleta y los efectos del clima

Los postes RStandard son fabricados con una resina de poliuretano alifática en la superficie del poste, lo cual los hace más duraderos previniendo la degradación debido a los rayos ultravioleta y los efectos del clima.

Esta capa protectora no se raya ni produce escamas que se desprenden, ofreciendo por lo tanto una protección superior comparada con las cubiertas tradicionales. Los postes RStandard están diseñados para proporcionar una vida útil de 65 años en el Sur de la Florida y 125 años en otros climas.

2.1.1.8. Etiquetas en los postes

Se colocan etiquetas interna y externamente en la base de cada módulo para identificar el propósito del mismo.

Además los postes empacados incluyen una etiqueta de aluminio fijada en la base del módulo con información relevante del poste. Las marcas de alineación axial se aplican con tinta negra y contienen datos específicos como peso, fecha de elaboración, número de serie. Si el cliente lo desea puede colocar su etiqueta con datos específicos, fácilmente colocándola con un desarmador de perforación.

2.1.1.9. Los postes RStandard son amigables con el medio ambiente

Los postes de RStandard no necesitan nunca ser tratados o darles mantenimiento con algún químico, aditivo o cubierta, durante su vida útil.

Los postes RStandard son inertes, por lo tanto no requieren un proceso de lixiviación como los postes de madera, por lo tanto el ambiente está libre de químicos y preservativos dañinos.

Los postes RStandard se elaboran utilizando un proceso avanzado de resina de poliuretano, el cual no emite contaminantes dañinos al aire, o componentes orgánicos volátiles durante el proceso de elaboración. Por lo tanto los postes RStandard pueden producirse de manera eficiente y sin ningún daño a la salud de los trabajadores o a la comunidad.

Los diseños modulares de los postes RStandard permiten el almacenaje de una manera compacta y sin tanto bulto cuando se transportan. Esto representa un incremento en el número de postes que pueden ser enviados al comprador en un solo embarque. Dando como resultado menos envíos, y menos consumo de combustible evitando la emisión de contaminantes.

La reducción en el peso de los postes RStandard permite que se manejen e instalen con un equipo mucho menor, lo cual también reduce los daños al medio ambiente, desde el momento que el poste sale de fábrica y es instalado.

Por no ser de madera, los postes RStandard, contribuyen a preservar los bosques, evitando la deforestación. Los postes RStandard son una medida sostenible y de utilidad para el medio ambiente.

Basándose en la demanda de postes de madera en Norte América, al cambiar al uso de los postes de RStandard, se salvaran casi 4 000 000 de árboles anualmente.

2.1.2. Desempeño de los productos, diseño e ingeniería

Subrayando el notable desempeño de los productos RStandard, éstos son patentados como resinas de poliuretano combinadas con fibra de vidrio usando procesos de manufactura con tecnología RStandard. Estas resinas producen postes excepcionalmente fuertes, duraderos y livianos.

2.1.2.1. Los postes RStandard son diseñados y probados para cumplir con los estándares de la industria

Los postes RStandard son diseñados para cumplir con todos los requerimientos de NESC Grado B y C, así como con CSA Grado 1 y 2 por encima de lo establecido. Los postes RStandard han sido inspeccionados y revisados por un tercero reconocido, realizando pruebas independientes y supervisando, también participo en la evaluación el EDM International Inc. (Colorado USA) y Kinectrics (Ontario, Canadá).

2.1.2.2. Pruebas de desempeño eléctrico a los postes RStandard

Los postes RStandard han estado sujetos a numerosas pruebas eléctricas realizadas por Kinetrics Inc de Toronto, Ontario, En estas pruebas se mostró que los postes poseen excelentes propiedades dieléctricas comparadas con los requerimientos estándares de la industria, para un trozo de madera caliente o varas aisladas.

La naturaleza no conductiva de los postes RStandard, aumenta la seguridad mientras se trabaja en ambientes en línea viva, reduciendo la posibilidad de incendio en postes causados por descargas eléctricas, proporcionando reducción en el toque y pisado en caso de que un sistema falle.

Más información sobre estas pruebas está disponible en la sección Descripción de pruebas.

2.1.2.3. Comportamiento de los postes RStandard al exponerse al fuego

Los postes RStandard tienen baja inflamabilidad, después de las pruebas realizadas por el Departamento de Protección Forestal y de fuego de California, se realizó una prueba de cepillado rápido de fuego, mostrando solo una pequeña parte de la superficie resulto carbonizada y no se presentó daño estructural.

En esta prueba las temperaturas soportadas fueron de 2 000 °F (1 093 °C) durante 12 minutos, sin que hubiera incendio. Para conocer el procedimiento para estas pruebas, por favor consulte la sección Descripción de pruebas.

Generalmente los postes RStandard serán combustibles cuando se expongan a constantes fuentes de flama, sin embargo, el material que compone al poste lo extinguirá una vez que la flama sea retirada.

2.1.2.4. Resistencia al impacto del poste RStandard

La tecnología de resina de poliuretano de RStandard Technologies ha sido probada a través de pruebas independientes para proveer un desempeño de 120%, mucho mejor que las resinas de poliéster en impactos no perforados.

Esto demuestra que los postes RStandard son significativamente más resistentes y durables que los productos de poliéster.

2.1.2.5. Utilización de los postes RStandard en estructuras con marco en H

Además de aplicaciones monoplazas, los postes RStandard pueden utilizarse en estructuras con marco H y otras estructuras que utilicen varios postes.

2.1.2.6. Efectos del impacto de un vehículo en un poste RStandard

Los efectos comunes de impactos en los postes RStandard van desde simples daños en la superficie, ralladuras, o daño estructural en los módulos. El reemplazo se limita al módulo dañado, realizando una evaluación de los demás módulos. El proceso de reemplazo se hace de una manera rápida en el sitio del accidente, para reducir costos comparado con el reemplazo del poste completo, evitando así cortes de energía en lo mínimo.

2.1.3. Instalación y accesorios

Debido a su diseño modular los postes RStandard presentan muchas facilidades en su instalación en lugares inaccesibles para maquinaria pesada, superando en éste aspecto a los postes de concreto centrifugado.

2.1.3.1. Fijación de los postes en el suelo

Los postes RStandard están diseñados para ser directamente clavados en el suelo a una profundidad del 10% del largo total del poste, más 2 pies (0,6m) para postes mayores a 40 pies (12,19m) de largo y un 10% del largo total, más 2,5 pies (0,76m) para postes menores a 40 pies (12,19m). En general los postes RStandard son enterrados a la misma profundidad, al igual que cualquier otro poste para la misma aplicación y condiciones de la tierra.

2.1.3.2. Los postes RStandard son escalables

Los postes RStandard son fácilmente escalables, utilizando cualquiera de las escaleras o escalones de la industria. Varios tipos de escalones o escaleras de diversos proveedores han sido aprobados para el uso con poste RStandard. Los escalones son fácilmente removibles, o pueden dejarse en el poste si así desea.

2.1.3.3. Herramientas especiales para los postes RStandard

La mayoría de herramientas convencionales pueden utilizarse para los postes RStandard, sin embargo, debe evitarse el uso de herramienta dentada o con abrazaderas.

Se pueden utilizar pernos que en la mayoría de los casos están disponibles por cualquier distribuidor siempre y cuando no sean dentadas o con abrazaderas.

Las conexiones cerradas deberán ser apretadas con un mínimo de 4 x 4 pulgadas (10 x 10 cm) $\frac{1}{4}$ de pulgada (6,4 mm) con una arandela curva gruesa. Para la mayoría de las aplicaciones de cable, la solución es colocar dos bandas de cable a través del poste. Para los postes con marco en H, la riostra debe colocarse cruzada.

2.1.3.4. Torsión recomendada para instalar los pernos

La torsión recomendada para un perno UNC galvanizado de $\frac{3}{4}$ pulgada (19 mm) es entre 30 y 50 pies / libra; (40 a 68 Nm). Como para cualquier poste hundido, se debe tener cuidado de no apretar demasiado.

Se debe tener en cuenta que la torsión indicada del perno depende de múltiples factores, como el diámetro del perno, la forma de la rosca, el acabado de la superficie, y el uso de lubricantes.

2.1.3.5. Colocación de la herramienta en el suelo con los postes RStandard

Los postes RStandard pueden colocarse al suelo como la mayoría de los postes de madera, con el alambre fijado a la parte exterior del poste utilizando fijadores de alambre y tornillos de taladro. Otra opción es tener el alambre alrededor del poste con el poste dentro del suelo, y la varilla de la base del poste, fuera de la base del módulo. Colocando el alambre dentro del suelo, puede ayudar a prevenir el robo del cobre y aumentar la seguridad pública.

2.1.3.6. Perforación de los postes RStandard

Los postes RStandard pueden previamente ser perforados antes de salir de la fábrica, de acuerdo a los requerimientos del cliente. Las puntas de los orificios pueden ser rellenados con pedazos de carbono.

Se puede utilizar una herramienta de corte de madera o un perforador, aunque los trozos de carbono necesitan ser pulidos constantemente. Se pueden ordenar diversas medidas de perforación. El uso de mascararas de seguridad, así como de anteojos y guantes es ampliamente recomendado, cuando se perforan los orificios. Cada módulo viene previamente perforado con los orificios para colocar las agarraderas y los cerrojos.

La ranura al final, cercana a la base del módulo tiene el objetivo de mostrarse como una guía estándar para el ensamble de los demás módulos, y perforar en la sección superior una vez que los módulos han sido unidos y apretados adecuadamente en la marca que indica PERFORE AQUÍ.

2.1.3.7. Daños ocasionados a la estructura del poste al perforar los orificios

Los postes RStandard pueden perforarse fácilmente con la herramienta adecuada. Para mantener la integridad del poste, la medida más común y adecuada no debe exceder de 1,25 pulgadas (37 mm). Así como el espacio entre los orificios deberá ser de al menos seis veces el diámetro del orificio mas grande. El diámetro del orificio más grande puede variar caso por caso.

2.1.3.8. Modo de cubrir la base y la punta del poste RStandard

Los postes RStandard tienen una punta cónica, para ser instalados al final del módulo. La placa base son enviadas con cada poste, y son instaladas en campo. La placa base tiene un orificio central y ranura para permitir el desagüe, se encuentra asegurada al fondo del módulo con cuatro cerrojos en forma de J.

2.1.3.9. Equipo se requerido para ensamblar los módulos

Algunos módulos pueden moverse manualmente o deslizarse con su forro, formando una barrera y acomodarlos en el camión (u otro equipo de transporte) lo cual se recomienda para los módulos más largos.

Para ensamblar los módulos se requiere un torno de enlace con dos cadenas para 3 toneladas, para los módulos 1 a 5, y para los módulos 5/6, 6/7, 8/9 se requieren dos tornos con cadenas para 3 toneladas, dos cuerdas de seguridad o cadenas para asegurar las agarraderas, así como cuatro agarraderas de seguridad RStandard.

Los postes RStandard están disponibles en módulos sencillos y dobles. Los módulos dobles o dos módulos de la misma medida apilados uno sobre el otro, se utilizan cuando se requiere un poste más resistente o para reforzar, de acuerdo a la petición realizada.

Para la unión de un módulo deslizable, consistente en la unión de dos módulos, utilice las agarraderas estándar a ambos lados de la unión. Para la unión de un módulo doble o reforzado más la unión de un módulo sencillo, utilice la agarradera más larga y especial de sujeción de cuello.

Para una unión consistente en módulos dobles reforzados en ambos lados, utilice el sujetador con agarradera especial y más largo para módulos dobles.

2.1.3.10. Ensamble vertical de los postes RStandard

Para este tipo de ensamble, la base del módulo debe ser fijada y colocada a plomo. Los módulos subsecuentes pueden entonces levantarse de uno en uno, de acuerdo a la preferencia. Si el módulo se ensambla verticalmente, los módulos deben ser sujetos juntos utilizando cuerdas de seguridad o cadenas en las agarraderas, así como las agarraderas de RStandard.

2.1.4. Mantenimiento e inspección

Los postes RStandard son virtualmente libres de mantenimiento, debido a la capa protectora para los rayos ultravioleta, que prolonga la vida útil del poste. Los postes son además ambientalmente inertes e impermeables a daños de plagas, reduciendo con esto la necesidad de tratamientos para preservar el poste.

2.1.4.1. Tipo de mantenimiento e inspección requerida

Una inspección visual básica se puede realizar para identificar señales de daño, así como inspecciones de suelo deberán ser realizadas por el cliente periódicamente.

2.2. Datos de postes

Todas las combinaciones de módulos RStandard poseen datos característicos esenciales que son necesarios para el constructor por lo que cada poste posee una hoja de datos donde dichas características se indican.

2.2.1. Introducción

RStandard posee hojas de datos de los postes RStandard de 30 pies (9,14 m) hasta 120 pies (36,59 m) incluyendo las longitudes completas de los postes modulares y la evaluación de la fuerza de postes compuestos equivalentes basados en los factores mínimos de carga de CSA. Así como datos relevantes de peso y dimensión. Cada hoja posee una breve descripción de cómo son aplicadas las cargas de postes compuestos de acuerdo a los lineamientos del CSA 22.3 No.1-06.

2.2.2. Estándares de construcción Asociación Canadiense de Estándares (CSA)

La Asociación Canadiense de Estándares en el inciso C22.3 No. 1, reconoce oficialmente a los postes compuestos como productos de ingeniería y manufactura que pueden soportar los mismos niveles mínimos de carga que los postes de acero, y especifica que la fuerza de los postes compuestos es 5 % menor del límite de valores de exclusión, y que el coeficiente de variación de los postes es igual o menor a 10%.

Previo a la edición 2 006 de la ACE inciso C22.3 No. 1 estándar, para los postes compuestos, por defecto era necesario utilizar los factores mínimos de carga de madera, y la fortaleza de los postes compuestos normalmente se basaban en los valores medios similares al de madera.

Sin embargo, dado que los postes de madera tienen nudos, grietas o capas discontinuas que afectan negativamente la fuerza, la carga en los postes compuestos está basada en promedio a las cargas que soportan los postes de acero o concreto.

En la tabla XIV se indican los factores de carga requeridos para los postes compuestos RStandard, que se ajustan con las cargas de los postes de madera CSA 015-05 bajo los grados de construcción estándar 1 y 2.

Tabla XIV. Factores de carga requeridos para postes RStandard

CSA 015-05 Wood Pole Class	CSA 015-05 Wood Pole Horizontal Load		Grade 1 Composite Pole Factored Load		Grade 2 Composite Pole Factored Load	
	(lbs.)	(kN)	(lbs.)	(kN)	(lbs.)	(kN)
H6	11,400	50.71	7,200	32.03	9,646	42.91
H5	10,000	44.48	6,316	28.09	8,462	37.64
H4	8,700	38.70	5,495	24.44	7,362	32.75
H3	7,500	33.36	4,737	21.07	6,346	28.23
H2	6,400	28.47	4,042	17.98	5,415	24.09
H1	5,400	24.02	3,411	15.17	4,569	20.32
1	4,500	20.02	2,842	12.64	3,808	16.94
2	3,700	16.46	2,337	10.39	3,131	13.93
3	3,000	13.34	1,895	8.43	2,538	11.29
4	2,400	10.68	1,516	6.74	2,031	9.03
5	1,900	8.45	1,200	5.34	1,608	7.15

Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 1.

Nota: El factor de carga requerido para los postes compuestos deberá ser calculado multiplicando los datos del CSA 015-05 de la carga del poste de madera por la clase específica de poste de madera con la siguiente proporción:

$$CPC = WPC * \frac{CMLF}{WMLF} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

CPC = Clase poste compuesto

WPC = Clase de poste de madera

CMLF= Factor de carga mínima de poste compuesto

WMLF= Factor de carga mínima en poste de madera

Por ejemplo, para CSA Grado de Construcción 1, la carga horizontal del poste es equivalente al poste clase 3 de madera y puede mostrarse así.

$$CPC = 3000 \text{ lb.} * \frac{1,2}{1,9} = 1895 \text{ lb} \quad \text{ó} \quad CPC = 13,34 \text{ kN} * \frac{1,2}{1,9} = 8,43 \text{ kN}$$

2.2.3. Los efectos de la temperatura en materiales compuestos

Las propiedades físicas de los materiales compuestos varían con la temperatura. La fuerza base se refiere a una temperatura ambiente de 20 °C (68 °F).

2.2.4. Cálculo de la deflexión de punta en el poste

Para calcular la deflexión en punta de un poste RStandard en particular, simplemente identifique la Proporción de dureza o rigidez en la tabla respectiva, y entonces divida la carga indicada por la rigidez de la proporción para obtener la correspondiente deflexión en punta.

Las proporciones de rigidez en las gráficas están basadas en una temperatura ambiente de 20 °C (68 °F), pero pueden estar disponibles otras características.

2.2.5. Rangos de fortaleza RStandard

Los rangos de fortaleza son menores o igual al 5% en los valores límites de exclusión, por lo que todos los postes RStandard cumplen con las normativas vigentes de fortaleza de estructuras.

Tabla XV. Hoja de explicación de datos y módulos (SI)

	Module Label	Length (ft.)	Thickness (in.)	Weight (lbs.)	Tube Taper (in./ft.)	Lap Length (ft.)	Tip Diameter (in.)	Base Diameter (in.)	Standard Base Plate Diameter (in.)	N-1 Base Plate Diameter (in.)
Imperial Units	1L	20.167	0.465	216.1	0.109	1.694	7.567	9.768	12.83	N/A
	1	15.141	0.465	152.1	0.111	1.694	8.083	9.768	12.83	N/A
	2	17.667	0.38	169.8	0.243	2.264	8.272	12.559	15.77	12.83
	3	17.389	0.38	224.9	0.243	2.792	11.087	15.315	18.56	15.77
	4	18.944	0.38	299.8	0.242	3.36	13.689	18.268	21.49	18.56
	5	18.993	0.406	359.4	0.247	3.924	16.591	21.284	24.46	21.49
	5/6	34.875	0.465	771.6	0.236	0	16.587	24.835	27.94	24.46 ¹
	6/7	34.875	0.425	899.5	0.246	5.197	19.331	27.917	31.11	27.94
	8/9	35.745	0.459	1197.1	0.242	6.444	25.823	34.472	37.03	N/A
	10/11	36.877	0.459	1499.1	0.239	0	31.965	40.76	43.91 ²	N/A

Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 3.

Tabla XVI. Hoja de explicación de datos y módulos (MKS)

Metric Units	Module Label	Length (m)	Thickness (cm)	Mass (kg)	Tube Taper (mm/m)	Lap Length (m)	Tip Diameter (cm)	Base Diameter (cm)	Standard Base Plate Diameter (mm)	N-1 Base Plate Diameter (mm)
	1L	6.147	1.18	98	9.09	0.516	19.22	24.81	325.9	N/A
	1	4.615	1.18	69	9.27	0.516	20.53	24.81	325.9	N/A
	2	5.385	0.965	77	20.22	0.69	21.01	31.9	400.6	325.9
	3	5.3	0.965	102	20.26	0.851	28.16	38.9	471.5	400.6
	4	5.774	0.965	136	20.14	1.024	34.77	46.4	546	471.5
	5	5.789	1.03	163	20.59	1.196	42.14	54.06	621.4	546
	5/6	10.63	1.18	350	19.71	0	42.13	63.08	709.7	621.4 ¹
	6/7	10.63	1.08	408	20.52	1.584	49.1	70.91	790.1	709.7
	8/9	10.895	1.165	543	20.17	1.964	65.59	87.56	940.5	N/A
	10/11	11.24	1.165	680	19.88	0	81.19	103.53	1115.2 ²	N/A

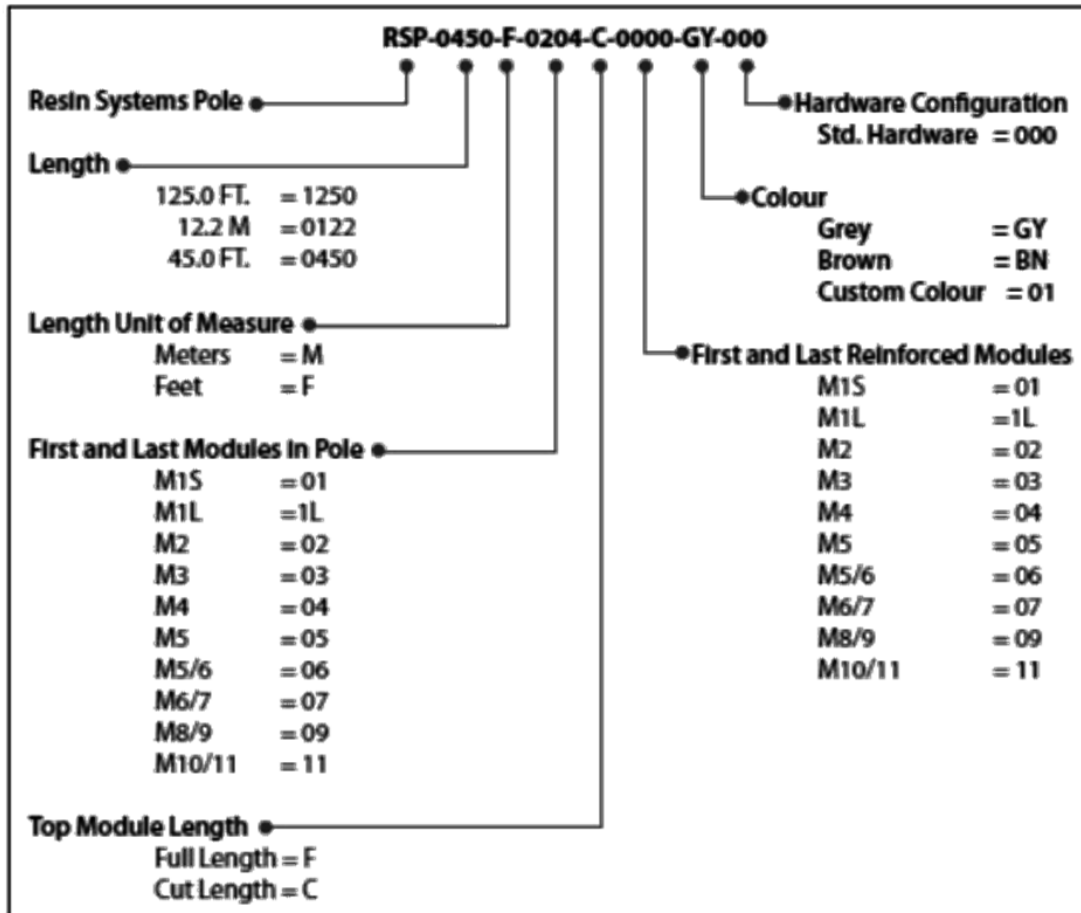
1.- Base M5/6 OD =630,8 mm, sin embargo, Placa Base N-1 (M5) funciona

2.- M10 /11 Placa Base no es circular, pero aproximadamente 965.2 mm con esquinas recortadas y con medidas de 1115.2 de esquina a esquina.

Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 4.

Los siguientes datos de postes utilizan códigos RStandard. Revise la figura 7 para una mejor comprensión de los componentes del poste. En la figura 8 se muestra el ejemplo de un poste de 45 pies utilizando módulos 2, 3 y 4, con el módulo de punta recortado para obtener una longitud de 45 pies.

Figura 7. Lectura de códigos de postes RStandard



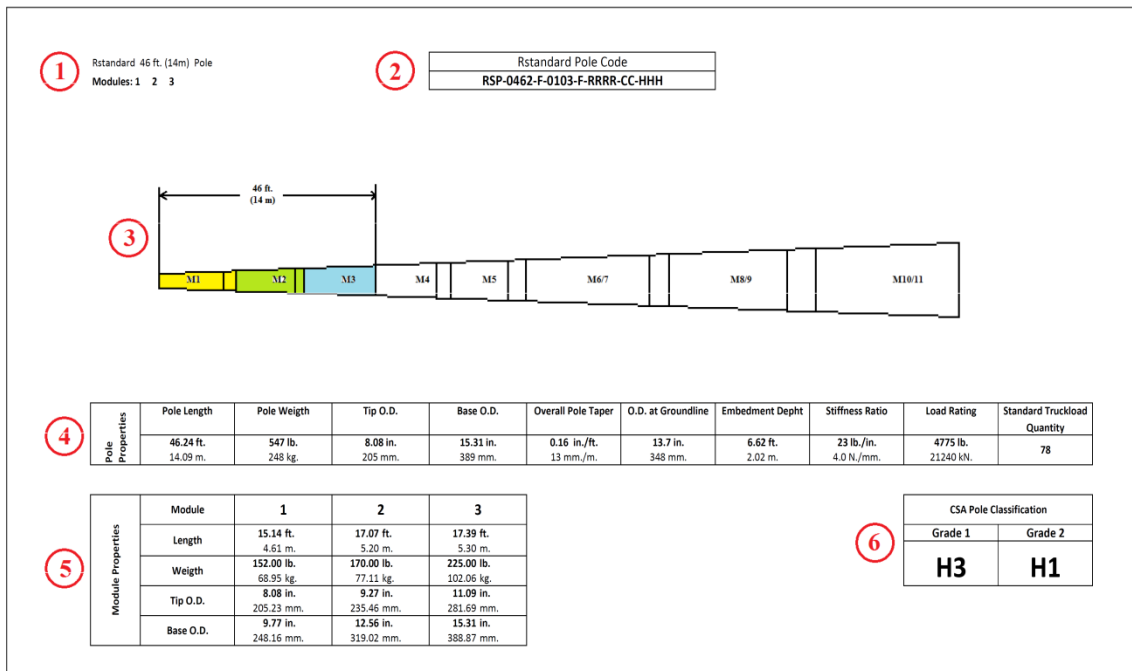
Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 4.

Nota: los códigos de los postes RStandard (RRRR) para reforzados, (CCC) para color, y configuración de la herramienta (HHH) no han sido definidos como combinaciones básicas de módulos.

2.2.5.1. Ejemplo de cómo leer e interpretar la hoja de datos de los postes RStandard

Las hojas de datos RStandard están diseñadas con el fin de que cualquier persona que trabaje en la construcción de líneas de transmisión pueda entenderlas. A continuación se muestra un ejemplo de los datos indicados en las hojas de datos.

Figura 8. Poste RStandard, 45 pies, módulos: 1, 2 y 3



Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 5.

1. Indica la longitud del poste y la configuración del módulo.
2. Código del poste.
3. Indica el ensamble nominal de la longitud del poste y cual módulo específicamente se utiliza para obtener la longitud de poste deseada.

4. Propiedades del poste se refiere a la información para ensamble del poste incluyendo:
 - a. Información de peso y dimensión proporcionada debajo de las columnas peso de poste, diámetro de punta, diámetro de base, punta total de poste, dato total a nivel de suelo, longitud de poste y profundidad de inserción.
 - b. Proporción de rigidez o dureza: utilizado para determinar la deflexión del poste, la deflexión de la punta, para cualquier carga estipulada y puede ser determinada dividiendo la carga por la proporción de rigidez.
 - c. Cantidad de carga estándar: se refiere al número de postes compuestos, considerando cada uno de los módulos, y que puede ser cargada para traslado en un camión.
 - d. Evaluación de carga: las fuerzas valoradas son menores o iguales al 5% de los valores límites de exclusión.
5. Propiedades del módulo se refiere a la información de peso y dimensión individual de cada uno de los módulos ensamblados en el poste.
6. Las clases se basan en los factores mínimos de carga aplicable a CSA.

2.2.6. Guía para las combinaciones modulares de los postes RStandard

Como se ha indicado con anterioridad los postes RStandard están compuestos por combinaciones de módulos pequeños y livianos, por lo que es necesario tener una guía de combinaciones modulares para poder seleccionar los postes que mejor se adapte a las necesidades del cliente.

A continuación se muestran las guías para todas las combinaciones modulares que RStandard ha creado. Para mayor seguridad se describen las siguientes notas importantes que deben tomarse en cuenta para la correcta selección de los postes RStandard.

- a. Debido a las tolerancias en los puntos de unión en el ensamble final, la longitud del poste puede variar de la longitud nominal.
- b. Los códigos de postes RStandard mostrados en este documento han sido truncados para indicar combinaciones básicas de módulos y no incluyen los módulos reforzados, los de color o información de las herramientas de configuración. Revise la página 6 para los códigos de postes.
- c. Las clases de postes equivalentes, se reportan en base al factor de carga de fuerza adecuadas al CSA.
- d. El peso del poste se refiere únicamente al peso de la combinación de módulos.
- e. La punta del módulo debe estar adecuada a la longitud final del poste, la longitud y el diámetro externo de la punta, pudieran variar.

Tabla XVII. Longitud total (LT) datos de postes

Pole Length	Rstandard Pole Code	Modules Used	CSA Pole Classification		Pole Weighth		Tip Diameter		Butt Diameter	
			Grade 1	Grade 2	lb.	kg.	In.	mm.	In.	mm.
31.11 ft. 9.48 m.	RSP-0311-F-0102-F	1,2	H2	1	322	146	8.08	205	12.56	319
46.24 ft. 14.09 m.	RSP-0462-F-0103-F	1,2,3	H3	H1	547	249	8.08	205	15.31	389
62.39 ft. 19.02 m.	RSP-0624-F-0104-F	1,2,3,4	1	2	847	385	8.08	205	18.27	464
78.03 ft. 23.78 m.	RSP-0780-F-0105-F	1,2,3,4,5	H1	2	1206	548	8.08	205	21.28	541
93.91 ft. 28.62 m.	RSP-0939-F-0106-F	1,2,3,4,5/6	2	3	1618	735	8.08	205	24.83	631
32.79 ft. 9.99 m.	RSP-0328-F-0203-F	2,3	H6	H3	395	180	8.27	210	15.31	389
48.94 ft. 14.92 m.	RSP-0489-F-0204-F	2,3,4	H2	H1	694	315	8.27	210	18.27	464
64.58 ft. 19.62 m.	RSP-0646-F-0205-F	2,3,4,5	H3	H1	1054	479	8.27	210	21.28	541
80.46 ft. 24.52 m.	RSP-0805-F-0206-F	2,3,4,5/6	1	2	1466	666	8.27	210	24.83	631
95.53 ft. 29.12 m.	RSP-0955-F-0207-F	2,3,4,5,6/7	H1	2	1953	888	8.27	210	27.91	709
33.54 ft. 10.22 m.	RSP-0335-F-0304-F	3,4	H6	H3	525	239	11.08	281	18.27	464
49.17 ft. 14.99 m.	RSP-0492-F-0305-F	3,4,5	H5	H3	884	402	11.08	281	21.28	541
65.06 ft. 19.83 m.	RSP-0651-F-0306-F	3,4,5/6	H2	H1	1296	589	11.08	281	24.83	631
80.13 ft. 24.42 m.	RSP-0801-F-0307-F	3,4,5,6/7	H2	H1	1784	811	11.08	281	27.91	709
110.68 ft. 33.73 m.	RSP-1107-F-0309-F	3,4,5,6/7,8/9	H3	H1	2981	1355	11.08	281	34.47	876
50.46 ft. 15.38 m.	RSP-0505-F-0406-F	4,5/6	H5	H3	1071	487	13.69	348	24.83	631
65.53 ft. 19.97 m.	RSP-0655-F-0407-F	4,5,6/7	H4	H2	1559	709	13.69	348	27.91	709
96.08 ft. 29.29 m.	RSP-0961-F-0409-F	4,5,6/7,8/9	H4	H2	2756	1253	13.69	348	34.47	876
126.51 ft. 38.56 m.	RSP-1265-F-0411-F	4,5,6/7,8/9,10/11	H4	H2	4256	1935	13.69	348	40.76	1035
49.94 ft. 15.22 m.	RSP-0499-F-0507-F	5,6/7	H6	H5	1259	572	16.59	421	27.91	709
80.49 ft. 24.53 m.	RSP-0855-F-0509-F	5,6/7,8/9	H6	H4	2456	1116	16.59	421	34.47	876
110.93 ft. 33.81 m.	RSP-1109-F-0511-F	5,6/7,8/9,10/11	H6	H4	3956	1798	16.59	421	40.76	1035
65.42 ft. 19.94 m.	RSP-0654-F-0709-F	6/7,8/9	H6	H6	2097	953	19.33	491	34.47	876
95.86 ft. 29.22 m.	RSP-0959-F-0711-F	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3596	1635	19.33	491	40.76	1035

Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 6.

Tabla XVIII. Guía de datos para postes de 30 pies (9,14 m) a 85 pies (25,91 m)

Pole Length	Rstandard Pole Code	Modules Used	CSA Pole Classification		Pole Weighth		Tip Diameter		Butt Diameter	
			Grade 1	Grade 2	lb.	kg.	In.	mm.	In.	mm.
30 ft. 9.14 m.	RSP-0300-F-0102-C	1,2	H2	H1	312.00	142	8.21	209	12.56	319
	RSP-0300-F-0203-C	2,3	H6	H4	373.00	170	8.95	227	15.31	389
	RSP-0300-F-0304-C	3,4	H6	H4	485.00	220	11.95	304	18.27	464
35 ft. 10.67 m.	RSP-0350-F-1L02-C	1L,2	H1	2	375.00	170	7.69	195	12.56	319
	RSP-0350-F-0103-C	1,2,3	H5	H3	437.00	199	9.33	237	15.31	389
	RSP-0350-F-0204-C	2,3,4	H5	H3	566.00	257	11.66	296	18.27	464
	RSP-0350-F-0305-C	3,4,5	H6	H6	706.00	321	14.53	369	21.28	541
40 ft. 12.19 m.	RSP-0400-F-0103-C	1,2,3	H4	H2	488.00	222	8.78	223	15.31	389
	RSP-0400-F-0204-C	2,3,4	H4	H2	617.00	280	10.44	265	18.27	464
	RSP-0400-F-0305-C	3,4,5	H6	H5	775.00	352	13.32	338	21.28	541
	RSP-0400-F-0406-C	4,5/6	H6	H4	917.00	417	16.22	412	24.83	631
45 ft. 13.72 m.	RSP-0450-F-0103-C	2,3	H3	H1	535.00	243	8.22	209	15.31	389
	RSP-0450-F-0204-C	2,3,4	H3	H1	663.00	301	9.23	234	18.27	464
	RSP-0450-F-0305-C	3,4,5	H6	H4	837.00	380	12.10	307	21.28	541
	RSP-0450-F-0406-C	4,5/6	H6	H3	994.00	452	15.01	381	24.83	631
	RSP-0450-F-0507-C	5,6/7	H6	H6	1174.00	534	17.81	452	27.92	709
50 ft. 15.24 m.	RSP-0500-F-1L03-C	1L,2,3	H2	1	599.00	272	7.71	196	15.31	389
	RSP-0500-F-0104-C	1,2,3,4	H2	1	724.00	329	9.46	240	18.27	464
	RSP-0500-F-0205-C	2,3,4,5	H5	H3	919.00	418	11.81	300	21.28	541
	RSP-0500-F-0406-C	4,5/6	H5	H3	1065.00	484	13.80	351	24.83	631
	RSP-0500-F-0507-C	5,6/7	H6	H5	1259.00	572	16.59	421	27.92	709
55 ft. 16.76 m.	RSP-0550-F-0104-C	1,2,3,4	H1	1	776.00	353	8.91	226	18.27	464
	RSP-0550-F-0205-C	2,3,4,5	H4	H2	971.00	441	10.60	269	21.28	541
	RSP-0550-F-0306-C	3,4,5/6	H4	H2	1175.00	534	13.53	344	24.83	631
	RSP-0550-F-0407-C	4,5,6/7	H6	H4	1403.00	638	16.23	412	27.92	709
	RSP-0550-F-0709-C	6/7,8/9	H6	H6	1863.00	847	21.90	556	34.47	876
60 ft. 18.29 m.	RSP-0600-F-0107-C	1,2,3,4	H1	2	825.00	375	8.35	212	18.27	464
	RSP-0600-F-0205-C	2,3,4,5	H3	H1	1017.00	462	9.38	238	21.28	541
	RSP-0600-F-0306-C	3,4,5/6	H3	H1	1238.00	563	12.32	313	24.83	631
	RSP-0600-F-0407-C	4,5,6/7	H5	H3	1480.00	673	15.03	382	27.92	709
	RSP-0600-F-0709-C	6/7,8/9	H6	H6	1979.00	900	20.67	525	34.47	876
65 ft. 29.81 m.	RSP-0650-F-0105-C	1,2,3,4,5	H2	H1	1077.00	490	9.53	242	21.28	541
	RSP-0650-F-0306-C	3,4,5/6	H2	H1	1296.00	589	11.10	282	24.83	631
	RSP-0650-F-0407-C	4,5,6/7	H5	H3	1552.00	705	13.82	351	27.92	709
	RSP-0650-F-0709-C	6/7,8/9	H6	H6	2088.00	949	19.44	494	34.47	876
70 ft. 21.34 m.	RSP-0700-F-0105-C	1,2,3,4,5	H2	1	1129.00	513	8.98	228	21.28	541
	RSP-0700-F-0206-C	2,3,4,5/6	H3	H1	1366.00	621	10.81	275	24.83	631
	RSP-0700-F-0307-C	3,4,5,6/7	H4	H2	1662.00	755	13.55	344	27.92	709
	RSP-0700-F-0509-C	5,6/7,8/9	H6	H5	2269.00	1031	19.18	487	34.47	876
	RSP-0700-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	2961.00	1346	25.70	653	40.76	1035
75 ft. 22.86 m.	RSP-0750-F-0105-C	1,2,3,4,5	H1	1	1178.00	535	8.42	214	21.28	541
	RSP-0750-F-0206-C	2,3,4,5/6	H1	2	1421.00	646	9.60	244	24.83	631
	RSP-0750-F-0307-C	3,4,5,6/7	H3	H1	1725.00	784	12.33	313	27.92	709
	RSP-0750-F-0509-C	5,6/7,8/9	H6	H4	2362.00	1074	12.95	329	34.47	876
	RSP-0750-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3098.00	1408	24.47	622	40.76	1035
80 ft. 24.38 m.	RSP-0800-F-0206-C	2,3,4,5/6	1	2	1462.00	665	8.38	213	24.83	631
	RSP-0800-F-0307-C	3,4,5,6/7	H2	H1	1782.00	810	11.12	282	27.92	709
	RSP-0800-F-0509-C	5,6/7,8/9	H6	H4	2448.00	1113	16.71	424	34.47	876
	RSP-0800-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3229.00	1468	23.23	590	40.76	1035
85 ft. 25.91 m.	RSP-0850-F-0106-C	1,2,3,4,5/6	1	3	1534.00	697	9.07	230	24.83	631
	RSP-0850-F-0207-C	2,3,4,5,6/7	H2	1	1861.00	846	10.83	275	27.92	709
	RSP-0850-F-0409-C	4,5,6/7,8/9	H6	H3	2591.00	1178	16.37	416	34.47	876
	RSP-0850-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3352.00	1524	22.00	559	40.76	1035

Fuente: RS Technologies. Datos de Postes (CDN). p. 7.

Tabla XIX. **Guía de datos para postes de 90 pies (27,43 m) a 120 pies (36,58 m)**

Pole Length	Rstandard Pole Code	Modules Used	CSA Pole		Pole Weigth		Tip Diameter		Butt Diameter	
			Grade 1	Grade 2	lb.	kg.	In.	mm.	In.	mm.
90 ft. 27.43 m.	RSP-0900-F-0207-C	2,3,4,5,6/7	H1	1	1908.00	867	9.61	244	27.92	709
	RSP-0900-F-0409-C	4,5,6/7,8/9	H5	H3	2669.00	1213	15.16	385	34.47	876
	RSP-0900-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3469.00	1577	20.77	528	40.76	1035
95 ft. 28.96 m.	RSP-0950-F-0207-C	2,3,4,5,6/7	H1	2	1949.00	886	8.40	213	27.92	709
	RSP-0950-F-0409-C	4,5,6/7,8/9	H4	H2	2741.00	1246	13.95	354	34.47	876
	RSP-0950-F-0711-C	6/7,8/9,10/11	H6	H6	3578.00	1626	19.54	496	40.76	1035
100 ft. 30.48 m.	RSP-1000-F-0309-C	3,4,5,6/7,8/9	H4	H2	2852.00	1296	16.68	424	34.47	876
	RSP-1000-F-0511-C	5,6/7,8/9,10/11	H6	H5	3760.00	1709	19.29	490	40.76	1035
105 ft. 32 m.	RSP-1050-F-0309-C	3,4,5,6/7,8/9	H3	H1	2916.00	1325	12.47	317	34.47	876
	RSP-1050-F-0511-C	5,6/7,8/9,10/11	H6	H5	3853.00	1751	18.05	458	40.76	1035
110 ft. 33.53 m.	RSP-1100-F-0309-C	3,4,5,6/7,8/9	H3	H1	2974.00	1352	11.25	286	34.47	876
	RSP-1100-F-0511-C	5,6/7,8/9,10/11	H6	H4	3940.00	1791	16.82	427	40.76	1035
115 ft. 35.05 m.	RSP-1150-F-0209-C	2,3,4,5,6/7,8/9	H2	1	3053.00	1388	10.96	278	34.47	876
	RSP-1150-F-0411-C	4,5,6/7,8/9,10/11	H6	H4	4084.00	1856	16.47	418	40.76	1035
120 ft. 36.58 m.	RSP-1200-F-0209-C	2,3,4,5,6/7,8/9	H2	1	3100.00	1409	9.72	247	34.47	876
	RSP-1200-F-0411-C	4,5,6/7,8/9,10/11	H5	H3	4162.00	1892	15.26	388	40.76	1035

Fuente: RS Technologies. Datos de postes (CDN). p. 8.

2.2.7. Hojas de datos de postes

Existe una gran diversidad de estructuras formadas por distintos módulos las cuales podrá encontrar en el catálogo RStandard Datos de postes (CDN). En el anexo 2 se muestran las hojas de datos de los postes que se utilizarán en el diseño de la línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones.

2.3. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas de los postes RStandard no están incluidas en las hojas de datos de cada poste, debido a que es información más precisa y hace referencias a procesos de fabricación y normativas respetadas durante la manufactura.

2.3.1. General

Las siguientes especificaciones técnicas fueron desarrolladas por la empresa RStandard Composite Utility Poles, para la fabricación de los postes de compuesto de fibra reforzada con material de polímero.

2.3.1.1. Alcance

Esta especificación incluye el diseño, material, fabricación y pruebas de protección UV realizadas a los postes modulares compuestos o sencillos, utilizados en toda la distribución y transmisión, de aplicaciones del servicio público; de una plaza y de marco H; así como las estructuras de comunicación.

Las referencias a las especificaciones y organización en conjunto con los planos y diagramas de carga, deberán ser consideradas como parte de esta especificación. Los diseños de la base, la descarga y colocación de los postes en áreas de trabajo, no se consideran parte de esta especificación.

Los postes compuestos elaborados bajo esta especificación, tendrán la mejor apariencia posible de acuerdo con la fuerza y la capacidad de servicio. En general, los postes serán circulares en secciones transversales.

2.3.1.2. Excepciones o desviaciones

En el momento de someter a licitación, el fabricante deberá presentar un escrito anexo en donde se detallan las necesidades y excepciones relativas a esta especificación.

2.3.2. Definiciones y símbolos

Los símbolos, siglas y acrónimos utilizados en este apartado se encuentran incluidos en el Glosario.

2.3.3. Normas de referencia

Se refiere a las normas o especificaciones aquí mostradas y que deberán ser interpretadas en el sentido de las revisiones más recientes, a menos que se indique lo contrario. Las siguientes referencias aplican para esta especificación.

- ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles): Manual No 104 Prácticas recomendadas para el reforzamiento de fibras de productos de polímero para las estructuras de las líneas de transmisión elevada de los postes de servicio público.
- ASTM (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales): ASTM D 1036.- Pruebas estándares de métodos de estática para postes de madera.
- ASTM G 154: Práctica estándar para el funcionamiento de aparatos de luces fluorescentes para materiales no metálicos con exposición a rayos ultravioleta.
- CSA (Asociación Canadiense de estándares):
- CSA C22.3 No. 1 Sistemas Elevados.
- CAN / CSA -015 Postes de madera para uso eléctrico y tocones reforzados.
- CAN / CSA-C22.3 No. 60826 Criterios para el diseños de líneas de transmisión elevadas.
- CSA S37. Antenas, Torres y estructuras para soporte de antenas.

La autorización para modificar estas especificaciones o normas deberá ser por escrito por el Ingeniero responsable. De otra manera, estas modificaciones deberán ser indicadas en la Lista de excepciones para esta especificación.

2.3.4. Productos

RStandard se especializa en diversos productos fabricados con compuesto de fibra y material de polímero, por razones obvias en este apartado solo se tomarán en consideración los postes de compuesto de resina reforzados con material de polímero.

2.3.4.1. Diseño

El diseño de los materiales, los procedimientos de fabricación, envío y ensamble de los postes compuestos, deberán ajustarse conforme a las buenas prácticas de Ingeniería más recientes, estipuladas en el Manual No. 104 Practicas recomendadas para el reforzamiento de fibras de productos de polímero para las estructuras de líneas de transmisión elevada de los postes de servicio público, deberá ser utilizado como guía de referencia general, cuando sea adecuado.

Para comprobar que los postes compuestos cubren con las cargas establecidas de deflexión y otros requerimientos aplicables, se puede utilizar un programa de análisis estructural. Un análisis no lineal se requiere para tomar en consideración los efectos P- Delta (deflexión no equilibrada o desbalanceada) así como toda la estabilidad de la estructura (pandeada o curva), bajo las combinaciones de carga. También se pueden tomar como referencia los códigos nacionales o regionales como guía, y basándose en una metodología de análisis comparativo.

Los postes compuestos tendrán la mejor apariencia posible coherente con la fuerza, costo y capacidad de servicio. Los postes compuestos deberán tener simetría en los ejes transversales y longitudinales, y cualquier daño o filamento cónico tendrá una tasa de disminución gradual y relativamente constante de la punta al fondo.

El fabricante certifica que los postes compuestos cumplen o superan los requerimientos de carga y otras especificaciones indicadas por el Ingeniero, de acuerdo con las disposiciones aplicables por la CSA o de otras normas pertinentes y verificadas por los cálculos de diseño y pruebas de escalas completas. Los cálculos del diseño se consideran y son propiedad del fabricante, pero pueden ser proporcionados al Ingeniero previa solicitud y posterior aprobación del fabricante.

Los postes compuestos de clase estándar de longitud mayor a 40 pies (12.19 m) son insertados a una profundidad del 10% del total del largo del poste más 2 pies (0,61 m). Los postes compuestos de una longitud menor a 40 pies (12.19 m) se insertan a una profundidad del 10% del total del largo del poste más 2.5 pies (0,76 m). El Ingeniero tiene la opción de insertar el poste a una profundidad diferente de acuerdo a las condiciones del suelo o de los cimientos.

2.3.4.2. Material

En este apartado se describirá el tipo y proceso de fabricación de los materiales utilizados para la fabricación de postes de compuesto de fibra reforzados con material de polímero.

2.3.4.2.1. Encarpetamiento de resina

Solamente se podrán utilizar capas de resina termo fijada en la fabricación de los postes compuestos. El único material autorizado es la resina de poliuretano. No se aceptan materiales como resinas termoplásticas, resinas de poliéster o resinas de vinil estearato para la fabricación de los postes compuestos.

2.3.4.2.2. Reforzamiento de fibras

La fibra reforzada utilizada en la fabricación de los postes compuestos deberá ser E – Glass con formaciones aceptables y continuas de filamento y tejido.

2.3.4.3. Fabricación

La fabricación de los postes compuestos deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en los planos. Cualquier sustitución de material o cambio en la manufactura de los postes conforme a los planos autorizados deberá ser con autorización previa y por escrita del Ingeniero o propietario.

2.3.4.3.1. Métodos de fabricación aceptados

Los postes compuestos deberán ser producidos por el proceso de filamento continuo o el método de poltrusión adecuado. Si los postes se elaboran con el método de filamento continuo, el proceso incluirá tanto colocación de fibra en la circunferencia como en los ejes de la pared laminada del poste.

2.3.4.3.2. Orificios para colocación de herramientas y escalones de ascenso

A menos que sea especificado, los postes compuestos no llevarán orificios para colocación de herramientas y escalones de ascenso. Cuando sea especificado y se requiera, la perforación de orificios se realizará a manera de crear orificios cilíndricos, perpendiculares y planos en el poste. Los orificios serán circulares y no tendrán una variación de diámetro mayor a 1/16 pulgadas (2 mm).

2.3.5. Marcado

Cada una de las secciones de los postes compuestos deberá ser identificada con la información pertinente incluyendo número de módulo, número de serie de producción, y peso del módulo.

Cuando se vayan a entregar varios módulos para formar un poste de longitud específica, se deberá agregar además una etiqueta de identificación que incluirá más no limitará la siguiente información: Fabricante, longitud de poste, clase, mes y año de fabricación. Información adicional podrá ser incluida previo acuerdo entre el solicitante y el fabricante. La etiqueta de información deberá estar localizada a una altura mínima de 3 pies (0,9 m) sobre la superficie.

2.3.6. Suministros especiales

RStandard fabrica materiales y accesorios necesarios y opcionales que se catalogan como suministros especiales, de ser necesarios estos accesorios deberán ser solicitados a la fábrica para su fabricación.

2.3.6.1. Cubiertas de punta y placa base

Los postes compuestos deberán ser equipados con cubiertas en la punta y placa base. La placa base deberá ser entregada con orificios de drenaje.

2.3.6.2. Suministros de ascenso

A menos que se indique lo contrario, no se elaboran suministros en el poste para el ascenso. Cuando se requieren, los suministros para el ascenso generalmente consisten en lo siguiente:

2.3.6.2.1. Orificios para escalones de ascenso

Para todos los postes compuestos que requieren escalones de ascenso, el diámetro máximo de los orificios será de 1 /18 pulgadas (29 mm), y serán adecuados en la pared longitudinal indicada por el Ingeniero. A menos que se indique lo contrario, los orificios deberán comenzar aproximadamente a 9 pies (2,74 m) sobre la superficie y terminar a 4 pies (1,22 m) de la punta del poste. El espacio vertical de los orificios para los escalones de ascenso deberá ser de 15 pulgadas (381 mm). Si se requieren suministros de LADDER el diámetro máximo de los orificios para los dos escalones removibles a 180° deberá ser colocado aproximadamente a 9 pies (2,74m) sobre el nivel del suelo.

2.3.6.2.2. Orificios para escalones de trabajo

Para facilitar el trabajo en la colocación del poste, se harán orificios con un diámetro máximo de 1-1/8 (29mm]) para cuatro escalones a 90° se pueden entregar por separado a la altura deseada (por ejemplo 1,83 m, desde la punta del poste).

2.3.6.2.3. Escalones de ascenso

Cuando se requieran, los escalones de ascenso deberán ser *Senior Industries* SI-0040 o, en su caso, otros con las equivalencias aprobadas.

2.3.7. Protección ultravioleta

La prolongada exposición a la luz solar conduce a la degradación de los materiales plásticos. En particular, la radiación ultravioleta (UV) no visible, caracterizada por longitudes de onda cortas es la responsable de la foto degradación, un proceso que generalmente resulta en la escisión de las cadenas moleculares de los polímeros. Esto resulta frecuentemente en la deterioración de las propiedades físicas, cambios de color o emblanquecimiento de la superficie expuesta al sol.

2.3.7.1. General

Los postes compuestos son fabricados con la mayor protección posible contra la degradación de rayos ultravioletas. El uso de resina alifática Ultra violeta con pigmentos aditivos es el método de protección más adecuado.

Las resinas enriquecidas con inhibidores ultra violetas y pigmentos aditivos estabilizadores de color también son aceptadas. No se acepta el uso de pinturas o cubiertas estándares para protección ultravioleta.

2.3.7.2. Pruebas ultravioletas y climáticas

La resistencia a los rayos ultravioletas y climáticas de los postes compuestos deberá ser verificada a través de pruebas de aceleración de desgaste, de acuerdo con los procedimientos detallados en el manual ASTM G 154 para exposición a rayos ultravioleta (“h” y lámpara fijados a 0,89 W/nm).

Las pruebas se realizan a los postes de muestra y deberán estar expuestos continuamente a los rayos ultravioleta de la luz solar, humedad y calor por un mínimo de 14 000 horas. En los intervalos de las horas establecidas por el ASTM G 154, un reporte de la inspección visual será completado y los postes compuestos se revisan físicamente para identificar daños de despintado, descarapelado, descamación, formación de burbujas, rasgaduras o resquebrajos. Al finalizar la inspección visual, los mismos postes de prueba están sujetos a pruebas para identificar posibles cambios en las propiedades mecánicas

2.3.8. Pruebas físicas

RStandard garantiza que sus productos cumplen con los datos indicados para cada poste con un rango de error de un 5%, para lograr garantizar las características físicas se realizan pruebas físicas a una muestra por lote de fabricación.

2.3.8.1. Pruebas de flexión / doblado

Cada muestra del poste será probada en una viga voladiza en posición horizontal con la punta final del poste asegurada dentro de una estructura rígida de pruebas.

Entonces deberá aplicarse la carga a 2 pies (0,61m) debajo de la punta del poste con medidas de carga y deflexión, y registrarse conforme se incrementa la carga en una proporción de incremento constante, previamente determinada como carga de prueba, y hasta la última carga adecuada.

2.3.8.2. Pruebas de carga combinada

Se realizarán pruebas de carga combinada en los postes de muestra para identificar los efectos de la combinación de cargas verticales y horizontales. Cada poste deberá ser probado en posición vertical y totalmente derecho, con cargas verticales aplicadas en cualquiera de las abrazaderas cruzadas colocadas a 2 pies (0,61m) bajo la punta del poste y con cargas horizontales también aplicadas a 2 pies (0,61m) desde la punta del poste.

2.3.8.3. Conexión de herramientas y pruebas de carga a la pared del poste

Se realizarán pruebas a gran escala en los postes de muestras para producir efectos de carga con el ajuste de las herramientas, las abrazaderas cruzadas, transformadores y otras herramientas en la pared del poste. La conexión de las herramientas y las cargas simuladas a la pared pueden incluir más no limitar lo siguiente:

- Desajuste o salida del tornillo debido a cargas de distorsión axial
- Pernos atravesados y
- Deformación de la pared del poste debido a cargas radiales de compresión

2.3.9. Aseguramiento y control de calidad

RStandard asume un compromiso con sus clientes por lo que está obligado a asegurar la calidad de sus productos, esto implica un minucioso control durante la fabricación y envío.

2.3.9.1. Aseguramiento de calidad

- El fabricante deberá contar con una certificación reconocida de ISO 9001:2008, del programa de Aseguramiento de Calidad
- El fabricante deberá tener la disponibilidad para con el propietario o comprador y sin cargo alguno de darle oportunidad para verificar que los productos y materiales que han sido entregados están apegados a los requerimientos indicados en esta especificación.

2.3.9.2. Control de calidad

Como todo producto manufacturado, los postes de compuesto de resina RStandard pueden sufrir daños durante la fabricación, movilización y envío, por lo que es necesario tener un estricto control de calidad.

2.3.9.2.1. Inspección visual

Cada componente de los postes compuestos deberá ser inspeccionado para validar que han sido elaborados de acuerdo a los planos y patrones solicitados. La inspección incluye, mas no se limita a lo siguiente:

- Revisiones dimensionales para verificar que cumplan con las tolerancias.
- Verificar que los orificios no tengan rasgaduras o residuos en las orillas.

- Apariencia estética tanto en la consistencia del color y la apariencia de la superficie.

2.3.9.2.2. Diámetro de punta y base de las secciones modulares

Para asegurarse de que las uniones de los módulos al ensamblarse son las indicadas, se deberán revisar los siguientes puntos, caso que no se cumplan el producto será rechazado.

- Diámetro externo a la punta del módulo
- Diámetro interno a la base del módulo

2.3.9.3. Rechazo de material

Se refiere a los puntos de cualquier entrega de material bajo esta especificación, en los cuales previo acuerdo entre el fabricante y el propietario/comprador, no cumplan con los requerimientos establecidos para fabricación, embarque y entrega del material, deberán ser resueltos de una manera satisfactoria para ambas partes

2.3.10. Empaque, embarque y entrega

- Se deberá tener especial cuidado para evitar daños en los postes compuestos durante el manejo y la transportación.
- El fabricante deberá considerar los procesos necesarios para asegurar que los postes serán entregados al comprador, en el lugar de almacenaje designado y durante el lapso de tiempo establecido en la propuesta, o de acuerdo a los términos establecidos en la Orden de Compra.

- El ingeniero y el propietario / comprador deberán ser notificados de inmediato si existiera alguna modificación en la fecha de entrega establecida y programada.

2.4. Descripción de pruebas

Para garantizar la calidad y confiabilidad de sus productos, RStandard realiza una serie de pruebas rigurosas en laboratorios y patios de pruebas en fábrica, estas pruebas se describen a continuación.

2.4.1. Pruebas de curvatura o flexión

Para evaluar la dureza y comportamiento de los postes RStandard, bajo carga flexión, RStandard realiza pruebas a escala de destrucción en todos los rangos de las medidas de postes.

Esta prueba fue originalmente desarrollada por EDM *International*, es una industria reconocida y líder en la investigación y pruebas a productos del servicio público. Después del desarrollo y aprobación de las pruebas realizadas dentro de las instalaciones de EDM, las pruebas de curvatura horizontal se realizan en las instalaciones de RStandard en Calgary, Alberta en Canadá, (observe la figura 09 para el establecimiento de pruebas).

El establecimiento y método de pruebas está basado en las pruebas estándar de la norma ASTM D1036: Pruebas estándar de métodos de estática de los postes de madera. Basado en los datos de cada prueba RStandard determina los niveles de carga y deflexión a través de pruebas de flexión, de base a punta incluidos el punto de falla si la prueba fue realizada a destrucción.

Figura 9. **Equipo de pruebas para curvatura horizontal**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 3.

2.4.1.1. Procedimiento

Se sujeta el poste a la base y a la línea a nivel de suelo, y se aplica una carga horizontal a 2 pies o a (61 cm) desde la punta del poste hasta que el nivel de deflexión deseado se alcanza, o hasta que se identifica una falla. Cada prueba comienza con el ensamble del poste en el equipo. El poste se ensambla módulo por módulo utilizando arneses o ganchos, y las uniones son perforadas y sujetadas con pernos como si se estuviera en el campo de instalación.

En el siguiente paso se coloca la placa base o la abrazadera de madera en el fondo de la base modular para simular la restricción del suelo durante la inserción. Utilizando montacargas la base del poste se coloca de manera horizontal.

Para prevenir que quede floja la punta es atada con correas dentro de una rueda de acero colocando las dos terceras partes del poste hacia arriba.

Una vez que el poste es cargado en el marco de pruebas, se asegura con cuerdas opuestas. Una cuerda se ata a la base y la segunda se ata a la línea de localización a nivel del suelo. Estas cuerdas aseguran el poste para ejercer estímulo directo en condiciones de inserción. Después de que el poste es sujetado al marco de pruebas, se registran los datos en donde la carga será aplicada y donde la deflexión será medida. Observe la figura 10 para el procedimiento de fijar el poste.

Figura 10. **Colocación del poste para la prueba**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 4.

Para medir la deflexión durante la prueba, posición transductor (sensores de deflexión) se atan a la punta, la línea a nivel del suelo y la base del poste.

Para propósitos de la prueba, se asume que la base del poste deberá estar rígida. La línea a nivel del suelo y la base de posición transductor proporciona datos sobre cuanto la base del poste cambia el marco (debido al movimiento en las pruebas de flexión, estiramiento en las cuerdas etc.). Estos datos ayudan a la corrección de la deflexión en la punta.

Un cabestrante con capacidad de 12 000 lb (5 442 kg) se conecta al poste al punto de carga de 2 pies (61 cm) debajo de la punta nominal. Una celda de carga en línea con el cabestrante mide la fuerza que está siendo aplicada al poste. La celda de carga y las tres posiciones de los transductores están integradas a un sistema de registro de datos en tiempo real, para grabar los datos de los tres sensores.

Después de una prueba de seguridad, se camina alrededor para verificar que todo está establecido correctamente, se solicita a los testigos que se retiren y solamente quedara personal capacitado para registrar los datos y retirar el cabestrante.

Una vez que el personal está listo para el registro se enciende el estrobo y la sirena para indicar que la prueba está siendo realizada. El cabestrante se apaga y se mide el poste. Después que la prueba está completada, el poste se retira de la celda de carga y se procesan los datos de la deflexión.

2.4.2. Pruebas estructurales

RStandard realiza pruebas a sus postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero para estudiar y garantizar la resistencia estructural especificada para cada poste.

2.4.2.1. Pruebas de carga en la pared del poste

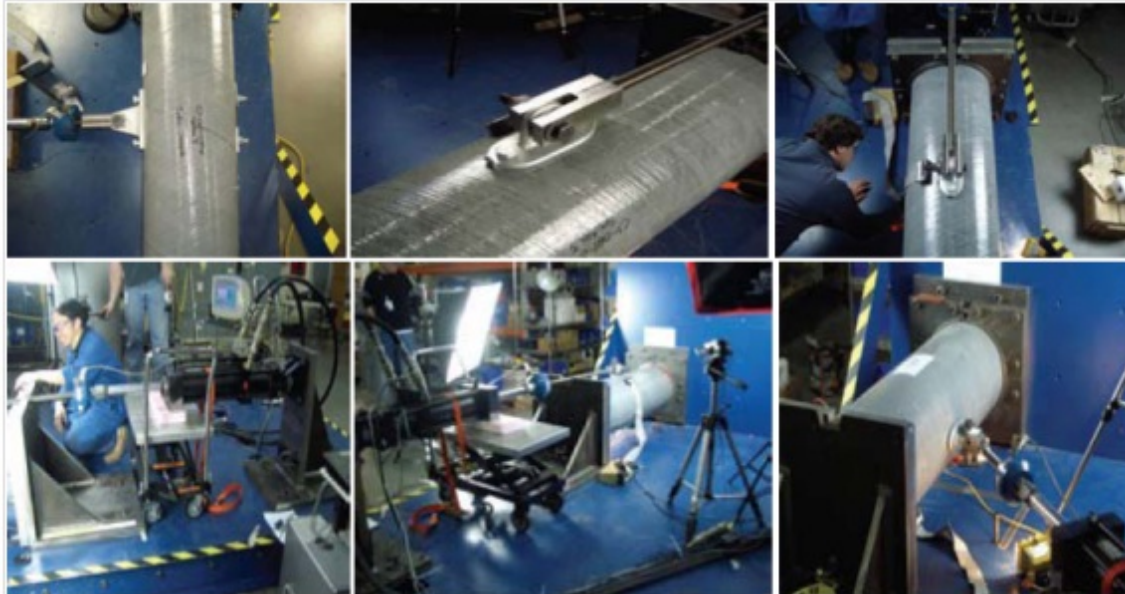
Debido a que los postes FRP se comportan de una manera diferente a los postes de madera, concreto y acero, los lineamientos han sido desarrollados para la conexión de las herramientas. RStandard ha completado una extensiva serie de pruebas para determinar la fortaleza de la pared de los postes RStandard, bajo diferentes escenarios de carga. Estas pruebas fueron realizadas por Intec en Seattle, WA, una compañía que se especializa en realizar pruebas a las estructuras y materiales compuestos. Los datos de estas pruebas han sido utilizados para desarrollar lineamientos entendibles con respecto a la utilización de las herramientas en los postes RStandard.

2.4.2.1.1. Procedimiento

Estas pruebas consisten en la utilización de varias herramientas para las conexiones de los pernos, y probarlas para identificar fallas. Esto se logra mediante la protección de las secciones de los postes a un marco de carga y utilizando accionadores hidráulicos para aplicar varios tipos de carga a la pared del poste compuesto. Esta prueba mostró información acerca de la medida de los pernos, el espacio entre los mismos, patrones de carga adecuados, tamaño de los orificios, espacio de la placa base y medidas parámetros para modificar las conexiones que otorguen seguridad extra para el trabajo de campo.

Observe la figura 11 para el establecimiento de pruebas de carga.

Figura 11. **Establecimiento de pruebas de carga en la pared del poste**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 5.

2.4.2.2. Pruebas climáticas y ultravioleta

Con el paso del tiempo, los postes no protegidos pueden ser propensos a la degradación de los rayos ultravioleta y los efectos del clima. Las resinas aromáticas no estables a los rayos ultravioleta son la resina principal utilizadas para unir las fibras en los postes compuestos. La decoloración y la pelusa de las fibras, así como la degradación potencial de la estructura del postes pueden presentarse si la resina aromática se deja sin protección.

Para combatir estos efectos, los postes compuestos para el servicio público de RStandard tienen una capa en el exterior que consta de resina alifática de poliuretano (por ejemplo libre de disolvente de isocianato).

Esto proporciona a las capas expuestas del poste una estabilidad superior para los rayos ultravioleta, así como resistencia a las inclemencias del tiempo. A diferencia de otros postes, que utilizan velos o recubrimientos, estas capas de resina alifática se unen químicamente (por ejemplo vinculo cruzado) adyacente con la resina aromática de poliuretano, como una parte integral de la pared del poste y no puede ser rayada o descarapelada.

Para determinar la durabilidad a largo plazo y el rendimiento de esta capa exterior protectora de resina alifática, RStandard ha realizado un estudio a largo plazo para determinar los efectos de la exposición a los rayos UV, a la humedad y a los efectos de altas temperaturas. Las muestras de los postes RStandard, han estado expuestas a 14 000 horas de rayos UV acelerados y expuestos al clima, esta prueba fue realizada por el Laboratorio de Pruebas Climáticas y Servicios de Investigación (Q-Lab) en Florida, de conformidad con la norma estándar ASTM G 154, Ciclo 1.

Esta exposición simula la longitud de onda corta de los rayos UV, que normalmente causa la degradación del polímero, así como pérdida de brillo, pérdida de fuerza, color amarillento, grietas, resquebrajaduras y pérdida de flexibilidad. Esta prueba incluye además un mecanismo único de condensación utilizado por Q-Lab para reproducir condiciones al aire libre y de humedad. Después de ciertos intervalos de exposición acelerada a los rayos UV, las muestras se inspeccionan visualmente por Q-Lab y los resultados de las observaciones son enviados a RStandard.

2.4.2.2.1. Procedimiento

Las muestras fueron secciones de corte de la pared del poste RStandard, con medidas de 1 x 0,5 pies (0,35 m x 0,15 m).

La medida de las muestras fue calculada con el objetivo de obtener un promedio de cuatro muestras para fuerza flexura, módulo flexión y fuerza de distorsión interlaminado, de conformidad con los estándares de la norma ASTM D 790 (6) y la norma ASTM D 2344 (7), respectivamente. Las muestras fueron cortadas del bloque expuesto a 1 pulgada (2.5 cm) del borde, para no tener los efectos del borde en los resultados. En el Laboratorio Q- Lab, las muestras fueron expuestas a aceleraciones de rayos UV con lámparas, utilizando lámparas UV A de 340 nm, equivalentes a 0,77 W/m² (calibración v 1,0) durante 8 horas a luz UV a 140 °F (60 °C), y a 4 horas de condensación a 122 °F (50 °C). Hasta la fecha los laboratorios Q –Lab, han proporcionado reportes de informes de observación visual con pruebas de exposición de 500, 1 000, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000, 10 000, 12 000 y 14 000 horas de exposición.

Dado que las muestras se devolvieron después de cada prueba de exposición, se les realizaron pruebas mecánicas en condiciones climáticas y de exposición de rayos UV en los laboratorios de pruebas de RStandard.

Se incluyeron pruebas de flexión de acuerdo a la norma ASTM D 2344 y pruebas de corte laminar de conformidad con la norma ASTM D 2344.

2.4.3. Pruebas eléctricas

RStandard ha realizado varias pruebas eléctricas a través de la empresa Kinectrics, un laboratorio independiente localizado en Toronto, Ontario, Canadá, que se especializa en pruebas eléctricas a los postes del servicio público. El objetivo de esta prueba fue determinar las propiedades dieléctricas y aislantes de los postes RStandard en diversas situaciones de exposición eléctrica.

2.4.3.1. Pruebas de resistencia a 60 Hz de voltaje en condiciones secas

Las pruebas de resistencia en condiciones secas se realizaron utilizando las clausulas 4.2 y 4.4 de la norma ANSI C29.1 como guía. La resistencia del poste fue establecida en un principio a 97% del valor del voltaje y verificadas posteriormente con pruebas. La resistencia de los postes a la prueba fue de un minuto. La prueba se realizó nuevamente en un nivel inferior de voltaje para ver si ocurrían descargas. La prueba mostró que bajo condiciones secas los postes son un buen aislante (observe la figura 12).

Figura 12. **Prueba en condiciones secas**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 7.

2.4.3.2. Pruebas de resistencia a 60 Hz de voltaje en condiciones húmedas

Las pruebas de resistencia en condiciones húmedas incluyeron secciones verticales del poste a 45° de orientación horizontal. Las muestras se evaluaron de acuerdo a las cláusulas 4.3 y 4.5 de la norma ANSI C29, con una tasa de precipitación de 1mm / minuto. (2.36 pulgadas / hora) para la cláusula 9.1 de la norma Estándar IEC 60060-1 (observe la figura 13).

Figura 13. Prueba en condiciones húmedas



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 7.

2.4.3.3. Medidas de transmisión de corriente

Los postes RStandard cumplen y superan los requisitos de las medidas de transmisión de corriente de los fusibles aprobados o las barreras aislantes.

La transmisión de corriente máxima en una sección del poste RStandard fue de 54 uA con un voltaje de 240 kV (observe la figura 14).

Figura 14. Pruebas de transmisión de corriente



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 8.

2.4.3.4. Pruebas dieléctricas antes y después de exposición a humedad

Antes de la exposición a humedad, las muestras de los postes RStandard fueron probadas con una transmisión de corriente máxima de 50 kV por un minuto. Después de 168 horas de exposición a la humedad, las muestras fueron probadas nuevamente. Los resultados mostraron que no hubo llamaradas, punciones o signos visuales de daño (observe la figura 15).

Figura 15. **Pruebas dieléctricas**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 8.

2.4.3.5. Pruebas de perforación con voltaje de 60 Hz

Se realizaron tres pruebas para evaluar la fortaleza de perforación dieléctrica de los postes RStandard, utilizando niveles de perforación de voltaje de 240 kV y 250 kV. Los resultados fueron un promedio de fortaleza dieléctrica de perforación de aproximadamente 774 kV / pulgada (30 kV / 7 mm) en la dureza de la pared del poste, basado en una dureza de la pared de 0,32 pulgadas (8 mm) (observe la figura 16).

Figura 16. **Prueba de perforación con voltaje de 60 Hz**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 8.

2.4.3.6. Pruebas de resistencia de fallas de corriente

Se realizaron varias pruebas en los alambres de cobre del número 4 y del número 2/0. Las fallas que se presentaron fueron de 3.0 kA a 27.3 kA, la duración de las pruebas variaron desde 1/20 segundo hasta 4.5 segundos. Además, las temperaturas utilizadas en los conductores fueron de 1 981 °F (1 083 °C). En el peor de los casos la falla en la superficie del poste experimentó ligera carbonización sin ningún daño estructural aparente (observe la figura 17).

Figura 17. **Prueba de resistencia a fallas**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 8.

2.4.3.7. Pruebas de contaminación

Las muestras de los postes RStandard fueron expuestas a niveles de contaminación de hasta $240 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, para simular la contaminación de un aislante de porcelana. Una mezcla de agua salada y arcilla fina se utilizó como medida de contaminación, la cual no logró adherirse a la pared del poste, debido a las excelentes características de repelencia al agua. La prueba mostró al menos la misma fuerza aislante como los aisladores de porcelana, bajo el mismo ambiente de contaminación pesada (observe la figura 18).

Figura 18. **Prueba de contaminación en superficie y cámara**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 9.

2.4.3.8. Resumen de los indicadores obtenidos de las pruebas eléctricas

- Bajo las pruebas estándares, de los fusibles, las secciones de los postes RStandard son buenas o mejores que las de los de barrera aislante.
- Los postes RStandard tienen una fortaleza de resistencia dieléctrica mayor de aproximadamente 774 kV/pulgadas (30 kV/mm) de grosor en la pared del poste.
- La superficie del poste es repelente al agua, haciendo difícil la contaminación por adherencia.
- En el caso de que haya falla en la conducción de los cables de cobre, la superficie del poste no mostrara efectos adversos o daños en la estructura.

2.4.4. Pruebas de Resinas de poliuretano

Los postes RStandard son fabricados con una resina de poliuretano desarrollada por RStandard. Para comprender las capacidades de la resina de poliuretano RStandard ha realizado numerosas pruebas a través del Consejo de Investigación de Alberta, un Grupo Independiente de Pruebas establecido en Edmonton, Alberta, Canadá.

2.4.4.1. Propiedades y características del material de poliuretano

RStandard ha realizado una variedad de pruebas en la resina de poliuretano para evaluar las propiedades del material y sus características. Estas pruebas han sido utilizadas para entender mejor las capacidades del sistema de resina utilizado en los postes RStandard.

2.4.4.1.1. Pruebas de tensión

Las pruebas de tensión se realizaron en conformidad con la norma ASTM D 3039. Esta prueba mostró la fortaleza de la tensión y la rigidez o dureza de los módulos con el material compuesto con las fibras orientadas en una sola dirección.

2.4.4.1.2. Pruebas de flexión

Las pruebas de flexión o curvatura se realizan de conformidad con la norma ASTM D790, en donde un travesaño rectangular de material es colocado al final y cargado en el centro.

2.4.4.1.3. Pruebas de compresión

Estas pruebas fueron realizadas de conformidad con la norma ASTM D695 y norma estándar BSS 7620 de Estándares de Soporte y Especificación para equipos Boeing. Las pruebas realizadas fueron en dirección transversal y longitudinal.

2.4.4.1.4. Pruebas de impacto de Izod (péndulo)

Las pruebas de impacto de Izod (péndulo) fueron realizadas de conformidad con la norma ASTM D256. Las muestras fueron preparadas con cortes en dirección transversal y longitudinal, utilizando una máquina cortadora de aire frío. El corte de muestra sufrió daños de grietas y rasgaduras causadas por el impacto, así que es más representativo para los registros de las propiedades en el material.

2.4.4.1.5. Pruebas de impacto sin cortes

Estas pruebas se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D4812. Esta es una muestra limpia y pulida la cual obviamente no sufrió impactos de grietas o rasgaduras. Las muestras fueron preparadas en dirección longitudinal y transversal.

2.4.4.1.6. Pruebas de absorción de agua

Estas pruebas fueron realizadas de acuerdo a la norma ASTM D570-98, se tomaron seis ejemplares con medidas de 3 x 1 pulgada (76 x 2,5 cm) para ser evaluadas de conformidad con (a) una inmersión de 24 horas a temperatura ambiente, (b) inmersión de largo plazo a temperatura ambiente y (c) inmersión a 122 °F (50 °C).

2.4.4.1.7. Pruebas de corte interlaminado

Estas pruebas fueron realizadas de acuerdo a la norma ASTM D2344, en donde las muestras se prepararon en dirección transversal y longitudinal. La prueba se realizó en un pequeño travesaño al que se le aplicó una fuerza de doblado en el centro. Los corte entre la lamina permanecieron, generando presión entre los cortes interlaminados.

2.4.4.1.8. Gravedad específica

La determinación de la gravedad específica se realizó de conformidad con la norma ASTM D792, con el Método de Prueba A. La gravedad específica es un método para establecer la densidad del material.

2.4.4.1.9. Pruebas de pérdida por incendio

Las pérdidas por incendio generan una cantidad de fibra en la muestra en base al porcentaje del peso. Las pruebas de pérdida por incendio se realizaron en conformidad con la norma ASTM D 2584-02. Cada muestra se probó por triplicado con un resultado promedio que indica la pérdida por incendio (contenido de vidrio).

2.4.4.1.10. Coeficiente de expansión lineal térmica

El coeficiente de expansión térmica se refiere a que tanto el material se expande para un rango determinado de temperatura. Este método se realiza de conformidad a la norma ASTM E 831-00. El coeficiente de expansión fue calculado por el rango de temperatura de 32 °F (10 °C) a 392 °F (200 °C). El instrumento utilizado en esta prueba fue un analizador termo mecánico modelo TMA 2940. Los análisis de prueba fueron realizados a muestras en un rango de calentamiento de 41 °F / minuto (5 °C / minuto) desde 22 °F hasta 401 °F (-30 °C a 205 °C).

2.4.4.1.11. Temperatura de transición del vidrio

Se refiere a la temperatura a la cual el material sufre cambios moleculares. Se muestra un ligero cambio en la densidad, la forma y la expansión térmica. La determinación de la temperatura de transición del vidrio fue realizada de conformidad con la norma ASTM E1640-94. El instrumento utilizado fue un analizador mecánico dinámico modelo DMA 983. Las muestras fueron realizadas a temperatura ambiente de 257 °F (125 °C).

2.4.4.1.12. Calor específico

Se refiere a la cantidad de calor por unidad de masa que se requiere para alcanzar la temperatura de un grado Celsius. Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma ASTM E1269, utilizando un calorímetro de escaneo diferencial (DSC por sus siglas en inglés). Los valores de calor específico fueron utilizados para calcular la conductividad térmica.

2.4.4.1.13. Pruebas de tensión de desgaste

Estas pruebas se realizan de acuerdo a la norma ASTM D3479. Las muestras son sujetas a ciclos de tensión y tensión de carga incrementando los rangos de variación de 40-90% y disminuyéndolos en 10%. El número de ciclos en donde se presentan fallas es registrado. La frecuencia de los rangos de carga es de 2 a 4 Hz.

2.4.4.1.14. Pruebas de deformación

Se refiere a las pruebas de deformación de flexión y se realizan de conformidad con la norma ASTM D2990. Las muestras son sostenidas al final y se aplica una carga en medio que corresponde al porcentaje de la tensión de falla. Los rangos de carga para las fallas de tensión han sido de 90 a 45%.

El tiempo en el que ocurre la falla se registra. Si la muestra no presenta falla la prueba termina después de un mínimo de 3 600 horas.

2.4.4.2. Evaluación de resistencia y dureza de la resina de poliuretano

RStandard ha realizado una gran variedad de pruebas mecánicas para determinar la dureza de la resina de poliuretano. Estas pruebas se realizaron en las resinas de poliuretano y en una mezcla alternativa de base resina isoptálica poliéster, para comparar la dureza de cada una. Esta comparación es relevante para analizar el desempeño de los poste RStandard, los cuales utilizan un sistema de resina de poliuretano, dado que las resinas de base poliéster son comúnmente utilizadas en otros postes compuestos de uso público que existen en el mercado.

Se realizaron 5 pruebas mecánicas para evaluar la dureza

- a. Pruebas de tensión basadas en la norma ASTM D638M.
- b. Pruebas de impacto de Izod (péndulo) basadas en la norma ASTM D256.
- c. Pruebas de impacto de caída a velocidades de 4,92 pies /seg (1,5 m/seg), 9,84 pies / seg, (3m/ seg) y 16,4 pies/ seg (5m/seg) utilizando el aparato para medida de caídas Instron Dynatup 8250H.
- d. Modelo 1, doble viga voladiza basada en la norma ASTM D5529-9 a; y.
- e. Modelo 2, flexión al final con corte, basado en el protocolo de la Sociedad Europea de Integridad de Estructuras (ESIS por sus siglas en inglés) publicado en 1993.

Los resultados muestran que la resina de poliuretano de RStandard es más resistente que las resinas base de isoptalica de poliéster, especialmente en la resistencia del impacto de carga en la separación de la lámina.

2.4.4.2.1. Propiedades del impacto de la resina de poliuretano

Se han realizado una gran variedad de pruebas a la resina de poliuretano de RStandard para determinar si afecta sus propiedades. Estas pruebas fueron realizadas en la resina de poliuretano, en la resina de poliéster, en la resina de vinil estearato y en la epóxica. Debido a los costos limitados, las resinas de poliuretano y las de poliéster son las más utilizadas en la fabricación de postes compuestos para el servicio público y son normalmente reservadas para aplicaciones de alto rendimiento.

Las pruebas realizadas incluyeron:

- a. Cortes inter-laminados.
- b. Impacto de Izod o péndulo con cortes de muestra / sin cortes de muestra.
- c. Tensión de fuerza transversal.

Estas series de pruebas indican que las resinas de poliuretano de RStandard tienen un desempeño significativo contra el impacto que otras resinas de poliéster. Estas pruebas también mostraron que el desempeño al impacto de las resinas de poliuretano es bueno, pero no mejor que el de las resinas epóxicas y de vinil estearato.

2.4.5. Pruebas diversas

Para certificar las capacidades de carga estática de los escalones de ascenso de *Senior Industries* SI- 0040, RStandard recomendó a *Senior Industries* una opción de ascenso y desarrollar pruebas en las secciones de los postes compuestos RStandard.

Senior Industries realizó dos pruebas para evaluar la capacidad de carga estática de los escalones de ascenso SI-0040, utilizado en los postes compuestos de RStandard.

- a. Fuerza descendiente de 750-1 100 lb. (340-499 kg), comenzando desde 0 lb.; y
- b. Fuerza descendiente a 2500 lb. (1 134 kg), comenzando desde 0 lb.

2.4.5.1. Procedimiento

Ambas pruebas incluyeron el montaje de un escalón de ascenso SI-0040, en una prueba de flexión, al cual le fue ensamblado un probador de tensión Tinius –Olsen. El probador de tensión está diseñado para simular las cargas a un rango no mayor de 3 pulgadas / minuto.

- Muestra 1:

El probador de tensión Tinius-Olsen se colocó en el orificio del escalón instalado en una sección del poste RStandard a 1 pulgada (2.5 cm), con una fuerza descendiente de 750-1 100 lb. (340-499 kg), comenzando de 0 libras.

Se colocó una cadena a 5 pulgadas de la sección del poste y a 1 pulgada (2,5 cm) del interior del escalón. La muestra 1 resistió una fuerza de deformación menor a 1 pulgada (2,5 cm) en el escalón de *Senior Industries* donde la fuerza fue aplicada, mostrando una deformación permanente de ¼ de pulgada (0,6 cm) donde se ejercieron cargas de 1 000 a 1 200 libras (454 a 499 kg). La pared del poste no mostró señales de desgaste.

- Muestra 2:

El probador de Tensión Tinius-Olsen se colocó en el orificio del escalón instalado en la sección del poste RStandard en a 1 pulgada (2.5 cm) con una fuerza descendiente de 2 500 lb. (1 034 kg), comenzando con 0 lb. Se colocó una cadena a 5 pulgadas (13 cm) de la sección del poste y a 1 pulgada (2.5 cm) del interior del escalón. La muestra 2 sufrió una inclinación hacia debajo de 2 pulgadas (5 cm) en el escalón donde la fuerza fue aplicada. La pared del poste no mostró señales de desgaste o daños.

2.4.5.2. Resumen

En cada variación de las pruebas de carga estática, se encontró que la combinación de los escalones de ascenso de *Senior Industries* SI-0040 y los postes de RStandard tiene un buen desempeño a la resistencia de las cargas de acuerdo con el probador de Tensión Tinius Olsen. Después de cada prueba se identificó que las secciones de los postes no sufrieron ningún daño.

2.4.5.3. Pruebas de caída dinámica de los escalones del poste

Para certificar las capacidades de detención en una caída de los escalones de ascenso de *Senior Industries* SI-0040, RStandard recomendó una opción de ascenso que consiste en una variedad de pruebas de caída dinámica de los escalones del poste.

Estas pruebas fueron realizadas en las instalaciones de pruebas de la empresa Altalink, establecida en Edmonton Alberta en Canadá. Las pruebas fueron diseñadas para simular una situación de caída en donde un instalador

cae del poste mientras va en ascenso o está trabajando en el poste, y sus cinturones u otro equipo de protección fallan y al caer se atora en uno de los escalones de ascenso.

Altalink realizo tres pruebas diferentes:

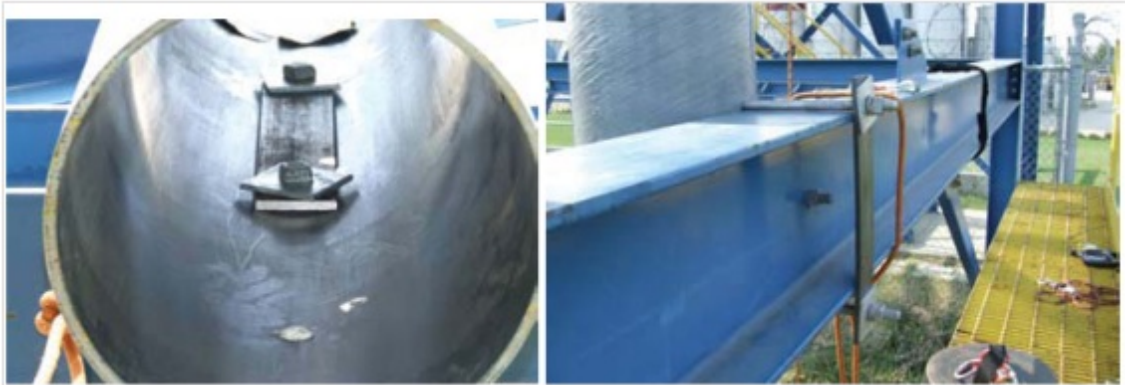
- a. Caída con un peso de 220 lb. (100kg) a una distancia de 2,3 pies (0,7 m), desde la punta de un poste sencillo, y en condiciones de temperatura ambiente (se realizó 3 veces).
- b. Caída con un peso de 220 lb. (100kg) a una distancia de 2,3 pies (0,7 m), desde la punta de un poste sencillo, y en condiciones de frío extremo (se realizó 3 veces).
- c. Caída con un peso de 220 lb. (100kg) a una distancia de 4,6 pies (1,42 m). El peso estaba estableció en los puntos de sujeción del poste (correas de ascenso) el cual fue sujetado alrededor del poste y balanceado en ambos lado (se realizo una vez).

2.4.5.3.1. Procedimiento

Se montó una sección del poste RStandard de 5 pies (1,5 m) en una viga de acero a aproximadamente 16,4 pies (5 m) sobre el suelo. (Observe la figura 19). Esta configuración fue utilizada en todas las pruebas. Previo a cada prueba la pila de carga fue elevada a una altura predeterminada utilizando cuerdas y un sistema de polea para ser asegurada en el lugar.

Todas las pruebas de temperatura ambiente y de clima frío utilizarán la misma medida de orificio para la instalación de los escalones de ascenso de prueba, la cual fue de 0,75 pulgada (19 mm). Este orificio se localizó a 23 pulgadas (584 mm) desde la punta de la sección del poste, y fue revisada después de cada prueba para identificar daños. Observe la figura 20 sobre el montaje de las pruebas.

Figura 19. **Montaje de la sección del poste**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 13.

Figura 20. **Establecimiento de pruebas de caída en temperatura ambiente y frío**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 14.

- Método de prueba I.- Caída de carga a temperatura ambiente
Temperatura ambiente: 77 °F (25 °C)
Altura de caída: 2,3 pies (0,7 m)

Para la prueba de caída de carga a temperatura ambiente, se instaló un cable de acero de 4pies (1,2 m) con ganchos y se colocó la pila de carga en la punta del escalón. El gancho fue asegurado al escalón con cinta para evitar que se resbalara. Observe la figura 21, resultado en los escalones después de la prueba realizada a temperatura ambiente.

Figura 21. **Resultados de caída en temperatura ambiente**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 14.

- Método de prueba II Caída de carga a temperatura de frío extremo
Temperatura ambiente: 77 °F (25 °C)
Altura de caída: 2,3 pies (0,7 m)

Tiempo de enfriamiento de la muestra 1: 1 minuto 05 segundos

Tiempo de enfriamiento de la muestra 2: 1 minuto 13 segundos

Tiempo de enfriamiento de la muestra 3: 0 minutos 47 segundos

Para esta prueba de caída de carga, se simuló temperatura de frío extremo, cada escalón había sido enfriado por una semana. La temperatura más fría fue de -58 °F (-50 °C). El procedimiento fue el mismo utilizado en el método 1. Observe la figura 22 para el resultado en ambientes fríos.

Figura 22. **Resultados de la prueba en ambientes fríos**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 15.

Método de prueba III	Caída de carga en ascenso y sujeta
Temperatura ambiente:	77 °F (25 °C)
Altura de caída:	4,7 pies (1,42 m)

Esta prueba se realizó simulando a un trabajador en ascenso, y utilizando cuerdas de sujeción. Un escenario típico de trabajo fue probado para determinar en el peor de los casos el impacto de una caída.

Los escalones se instalaron en los lados opuestos del poste, con el escalón del lado izquierdo colocado a 30 pulgadas (762 mm) desde la punta de la sección del poste, y el del lado derecho a 18 pulgadas (457 mm) balanceado y debajo de una configuración de ascenso ordinaria. Las cuerdas del poste fueron ancladas alrededor, debajo del escalón superior y sujetadas a la pila de carga con un cable de acero de 2 pies (0,6 m). Observe la figura 23. Después de atestiguar los resultados de las pruebas de los postes, se determinó que no era necesario realizar más pruebas.

Figura 23. **Colocación de correas para pruebas**



Fuente: RS Technologies. Descripción de Pruebas (CDN). p. 15.

2.4.5.3.2. Resumen

En cada variación de las pruebas de caída de carga, la combinación de los escalones de *Senior Industries* SI-0040 y los postes RStandard, se llegó a la conclusión de que tienen un desempeño significativo con cargas dinámicas. No hubo fallas en ninguno de los escalones en las pruebas realizadas a temperatura ambiente y en condiciones de frío extremo. Después de cada prueba, las secciones de los postes se revisaron y no se encontraron daños.

2.4.5.4. Pruebas con vientos o tormentas de arena

En todas las regiones del mundo existen las tormentas de arena. Los productos requieren ser probados para identificar la resistencia de la abrasión y la exposición a estas condiciones.

Se realizaron pruebas de muestras de los postes RStandard, utilizando equipos para aplicaciones militares en climas extremos. Estas pruebas se realizaron en los laboratorios Dayton T Brown (Nueva York), utilizando la especificación militar MIL-STD-810.

- Condiciones de la prueba

Velocidad del aire: 50 mph (80 km/h)

Temperatura: 140 °F (60 °C)

Humedad Relativa: < 2%

Concentración de arena: 2,15 g /m³

Duración de la prueba: 90 minutos

2.4.5.4.1. Resultados

- Apariencia

Las superficies de muestra de los postes RStandard expuestas a la tormenta de arena se opacaron, pero no mostraron señales de abrasión. En la superficie quedaron diminutas partículas de arena ocasionando una ligera decoloración. Una ligera pulida les devolvió el brillo y las superficies retomaron su color original.

- Propiedades Físicas y mecánicas

Las muestras de prueba de los postes RStandard no mostraron degradación de las propiedades físicas dentro de los rangos de desviación registrados.

Tabla XX. **Propiedades físicas de las muestras de los postes RStandard, antes y después de las pruebas**

	Density (g/cc)		Density (g/cc)		Void Percent	
	Actual	StDev	Actual	StDev	Actual	StDev
Before	1.87	0.01	70.80%	0.65%	3.75%	0.45%
After	1.88	0.02	71.30%	1.18%	3.99%	0.49%

	Flexural Strength (MPa)		Flexural Modulus (GPa)		Interlaminar Shear Strength (MPa)	
	Actual	StDev	Actual	StDev	Actual	StDev
Before	435	43	13.5	0.9	39.9	2.9
After	428	67	14.0	1.5	41.5	1.1

Fuente: RS Technologies. Descripción de Pruebas (CDN). p. 16.

2.4.5.4.2. Resumen

Las muestras de los postes compuestos RStandard no mostraron desgaste o degradación de las propiedades cuando son expuestos a pruebas de tormenta de arena y viento.

2.4.5.5. Pruebas de provocación de incendio o llamarada

Para simular los efectos de un incendio o llamarada, se tomaron dos juegos de muestras de los postes compuestos RStandard para realizar pruebas de inflamabilidad, después de que el Departamento de Ingeniería Forestal y protección de fuego de California (DFFP por sus siglas en inglés), evaluó los registros de protección de sobrevivencia. Estas pruebas simularon fuego controlando con temperaturas de 2 012 °F (1 000 °C).

2.4.5.5.1. Procedimiento

Dos muestras de poste RStandard fueron sujetas a prueba. La prueba estuvo sujeta a las siguientes condiciones:

- a. 27,6 pulgadas (70 cm) de pasto permanente o, 3 pulgadas (75 cm) de grosor del pasto.
- b. 30° de pendiente.
- c. Brisa ascendente de 9 a 12 mph (15 a 20 km/h).

Estos parámetros son el resultado de fuegos controlados con temperaturas de hasta 2012 °F (1100 °C), y 6,6 a 9,8 pies (2 a 3 m) de altura de las llamas y moviéndose a 9,8 pies /segundo (3 m/segundo). El incendio provocado dio un perfil de temperatura (el cual se muestra en la figura 24) de que el laboratorio de modelado de RStandard utiliza una antorcha permanente con una temperatura de flama de 2 372 °F (1300 °C). La antorcha fue fijada para producir una flama en posición vertical, un par de cables térmicos fue utilizado para medir la temperatura de la flama en distancias específicas desde la punta de la flama a la exposición de las piezas de muestra, así como la duración del fuego.

Las muestras que fueron expuestas al fuego contenían formulaciones de resina aromática y de resina alifática.

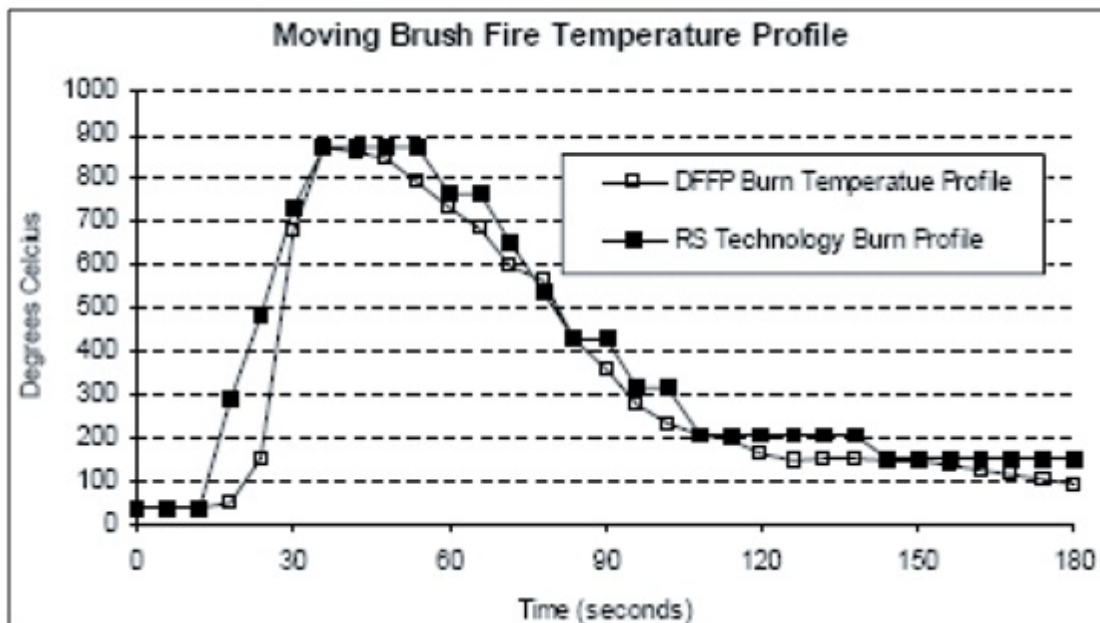
Las muestras de prueba fueron:

- a. Capas exteriores de resina alifática con interiores de resina aromática (postes regulares).
- b. Capas 100% de resina aromática.

2.4.5.5.2. Resultados

En la información de la figura 24, se puede observar que las muestras que fueron probadas en el laboratorio de RStandard, cumplen o exceden las expectativas de control de fuego, de acuerdo con las pruebas realizadas por el DFFP.

Figura 24. Comparación de perfiles de temperatura

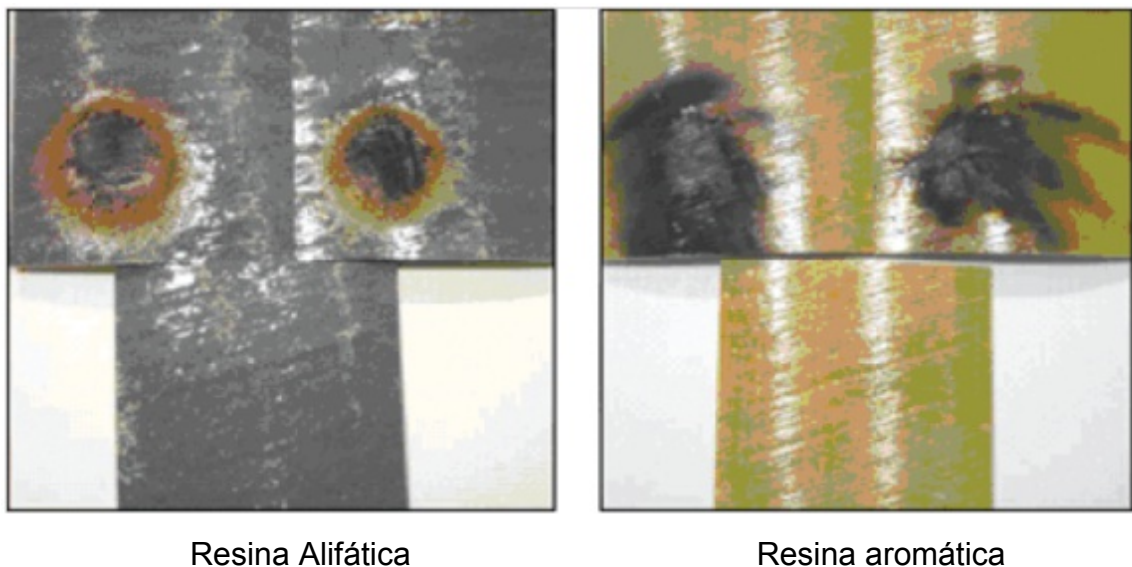


Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 17.

Ninguna de las muestras de postes de resina alifática se incendió durante la prueba. El exterior de los postes de resina se incendia después de 36 segundos, aproximadamente, de que la llama alcanza su temperatura máxima, pero la flama fue inconsistente, y cada muestra de prueba auto extingue el fuego en cuanto se reduce la temperatura 752 °F (400 °C).

Es importante mencionar que los postes con exterior de resina aromática no son creados para utilizarse en el servicio público. Observe la figura 25 donde aparecen muestras de resina alifática y de resina aromática.

Figura 25. **Muestras del exterior de postes sin quemaduras**



Fuente: RS Technologies. Descripción de Pruebas (CDN). p. 18.

2.4.5.5.3. Resumen

Con estas pruebas se puede concluir de que los postes compuesto RStandard resisten el fuego, de acuerdo con lo que describe el DFFP. Se presenta algo de carbonización en la superficie por los efectos del calor, pero la profundidad de la quemadura se restringe a tan solo 0,02 a 0,04 pulgadas (0,5 a 1,0 mm). El material compuesto de la superficie inferior a la quemadura no se ve afectado por el calor.

2.5. Guía de herramientas

RStandard desarrolló una guía de herramientas en la cual indica recomendaciones y prácticas recomendadas para el uso y manipulación de los postes de compuesto de resina reforzados con material de polímero.

2.5.1. Introducción a la guía de herramientas de RStandard

Los postes compuestos de RStandard son construidos con un sistema de fibra reforzada de polímero (FRP por su siglas en inglés) utilizando resina de poliuretano. El uso de este material compuesto, en combinación con un diseño modular, proporciona postes ligeros para usos en comunicación, transmisión y distribución. Incrementando la fuerza y duración por un período mayor que los postes tradicionales. Esta guía de herramientas ha sido diseñada para darle recomendaciones generales y buenas prácticas, así como escenarios de carga que pueden utilizarse para seleccionar las herramientas adecuadas para cada uno de los postes RStandard. Cualquier consulta sobre esta guía y el uso de herramientas deberá ser enviada al Departamento de Servicio al Cliente de RStandard Technologies.

2.5.2. Características básicas de resistencia

Esta sección le muestra las cargas recomendadas para la configuración básica de herramientas. El diseño de las cargas no toma en cuenta herramientas geométricas adecuadas u otros factores que puedan afectar la capacidad de carga. Estas cifras deberán utilizarse solo como guía general para considerar la herramienta a utilizar. Consultas sobre el uso de herramientas deberán realizarse directamente a RStandard Technologies.

Los escenarios de carga mostrados están dirigidos al uso de cargas Grado 1 y Grado 2 de acuerdo con los estándares de CSA. La aplicación de herramientas para cargas en condiciones extremas como nieve o viento, deberán analizarse caso por caso. Para orientación sobre la selección de la herramienta adecuada para estas aplicaciones, póngase en contacto con RStandard Technologies.

2.5.2.1. Carga horizontal recomendada para el diseño de cargas

- Carga de 4 x 4 pulgadas x $\frac{1}{4}$ de pulgada (102 mm x 102 mm x 6 mm) rondana de acero galvanizada PULLED con un perno de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada A325 (19 mm).
- Diseño de la carga = 5 000 libras / pies (22 kN).
- Carga de dos 4 x 4 pulgadas x $\frac{1}{4}$ de pulgada (102 mm x 102 mm x 6mm) arandela de acero jalada uniformemente por dos pernos de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada A 325 (19 mm) espaciados a 6 pulgadas (152 mm).
- Diseño de la carga = 7000 libras / pies (32 kN).

2.5.2.2. Relación de orificios verticales recomendados para el diseño de carga

- Carga vertical de poste de una pared con un perno de acero A325 de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- Diseño de la carga (para un perno de diámetro $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm) = 4 000 lb/pies (18 kN).

2.5.2.3. Torsión del perno

La torsión aplicada en el perno es esencial para obtener conexiones resistentes y durables en los pernos. Para pernos galvanizados de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm) UNC, RStandard recomienda una torsión de perno entre 30 y 50 libras/ pie (40 a 60 N/m).

Torsión excesiva puede dañar la pared del poste. Los valores de torsión indicados son recomendados para pernos estándar UNC galvanizados de $\frac{3}{4}$ pulgada (19 mm). Torsiones recomendadas varían de acuerdo al diámetro del perno y el acabado de las superficies.

2.5.3. Recomendaciones generales y buenas prácticas

Las siguientes recomendaciones fueron desarrolladas por RStandard con el fin de maximizar la vida útil de los postes de compuesto de fibra evitando la mala utilización de herramientas y herrajes de sujeción.

2.5.3.1. Recomendaciones generales de herramientas

En general, la herramienta convencional puede ser utilizada con los postes RStandard. En algunos casos deben realizarse pruebas para asegurarse que la herramienta es la adecuada. Las siguientes recomendaciones reflejan las prácticas comunes que pueden realizarse en conjunta con la verificación de las herramientas para el diseño de cargas. Cualquier duda o preguntas relacionadas a este tema deberán ser canalizadas al Departamento de Servicio al cliente de RStandard.

- Empaques o arandelas curvas

Los empaques o arandelas curvos funcionan adecuadamente para distribuir la fuerza y reducir la concentración de presión en los puntos de unión. Se recomienda que todas las conexiones con pernos para los postes RStandard se realicen con empaques curvos de al menos $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 mm), para distribuir la carga y maximizar la durabilidad de la conexión.

Como práctica, en general se recomienda un mínimo de 4 x 4 cm (102 mm x 102 mm), se deben utilizar en todas las conexiones arandelas curvas siempre que sea posible.

- Soluciones de banda

Herramientas como bandas o cuerdas de montaña utilizando sujetadores de metal alrededor del poste funcionan muy bien con los postes RStandard. La inclinación natural de los postes RStandard, ayuda a minimizar el uso de bandas o cuerdas de montaña. Las soluciones de banda funcionan muy bien para repartir la carga sobre un área más grande y minimizan la concentración de presión en los pernos y otras herramientas. No se recomienda el uso de bandas con accesorios que se ajusten con pernos

- Tornillos auto ajustables

En cualquier situación donde se puedan utilizar las uñas o grapas se pueden utilizar este tipo de tornillos auto ajustable en los postes RStandard. Estos tornillos son fáciles de manejar y se permanecen bien en postes compuestos.

2.5.3.2. Herramienta adecuada

El uso de herramienta adecuada es crítico para el buen funcionamiento y larga duración de las conexiones de los postes RStandard. La herramienta debe ser adecuada para evitar daños en la superficie del poste durante el manejo. Las abrazaderas que se clavan a los postes de madera no deben ser utilizadas en los postes RStandard (observe la figura 26).

Figura 26. Ejemplos de abrazaderas que no deben utilizarse



Fuente: RS Technologies. Guía de herramientas (CDN). p. 4.

Para considerar la conicidad gradual en la punta de los postes RStandard, se pueden utilizar diferentes herramientas curvadas, dependiendo de la localización en el poste (observe las figuras 27 y 28).

Figura 27. **Herramienta curva adecuada**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 5.

Figura 28. **Herramienta curva no adecuada**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 5.

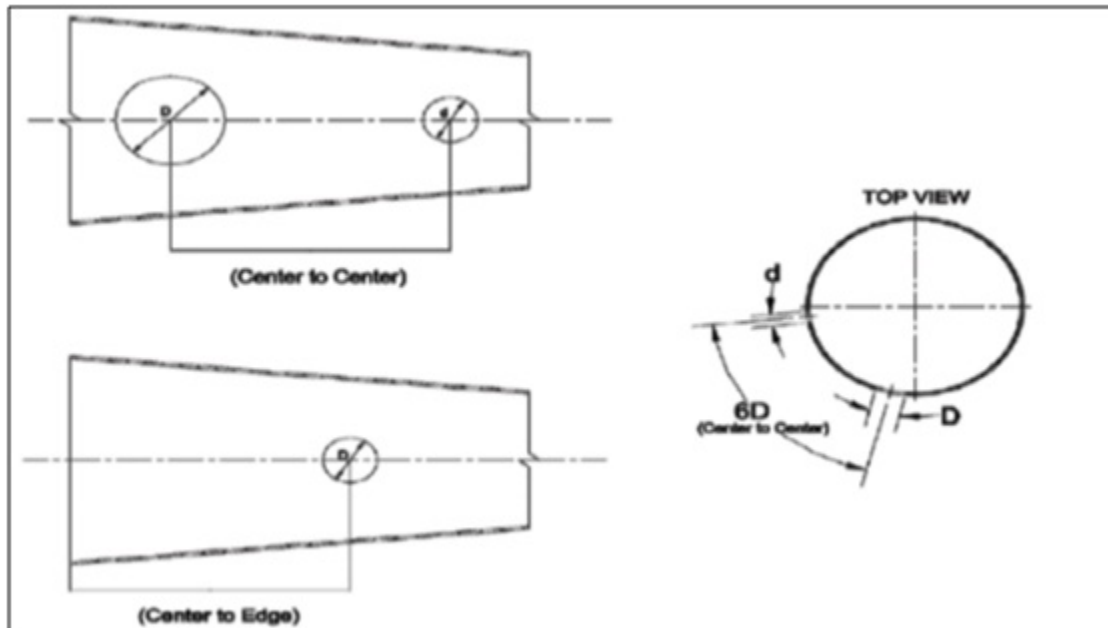
2.5.3.3. Espacios adecuados entre orificios

Asegurar un espacio adecuado en los orificios del poste es sumamente importante para lograr conexiones duraderas a la pared del poste.

A continuación observe los lineamientos generales para la medida y espacio de los orificios, la cual deberá ser conservada (observe la figura 29).

- Espacio mínimo de orificios: la distancia de centro a centro de cualquiera de los dos orificios deberá ser de un mínimo de $6D$ (seis veces D), en donde D corresponde al diámetro del orificio mas grande.
- Distancia mínima del borde: una distancia mínima de $5D$ (cinco veces D) en donde D es el diámetro del orificio, y deberá mantenerse del borde del módulo al centro del orificio.
- Medida máxima de orificio: los orificios de un diámetro mayor a $2,5 T$, en donde T es el grosor o espesor de la pared del poste (aproximadamente 1,25 pulgadas, 32 mm de diámetro) no son recomendados.

Figura 29. **Espacios mínimos convencionales entre orificios**



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 5.

2.5.4. Rangos específicos de herramientas

Esta sección le proporciona información de los rangos de carga para conexiones específicas. Estos rangos fueron obtenidos por RStandard durante el desarrollo de un programa de pruebas físicas.

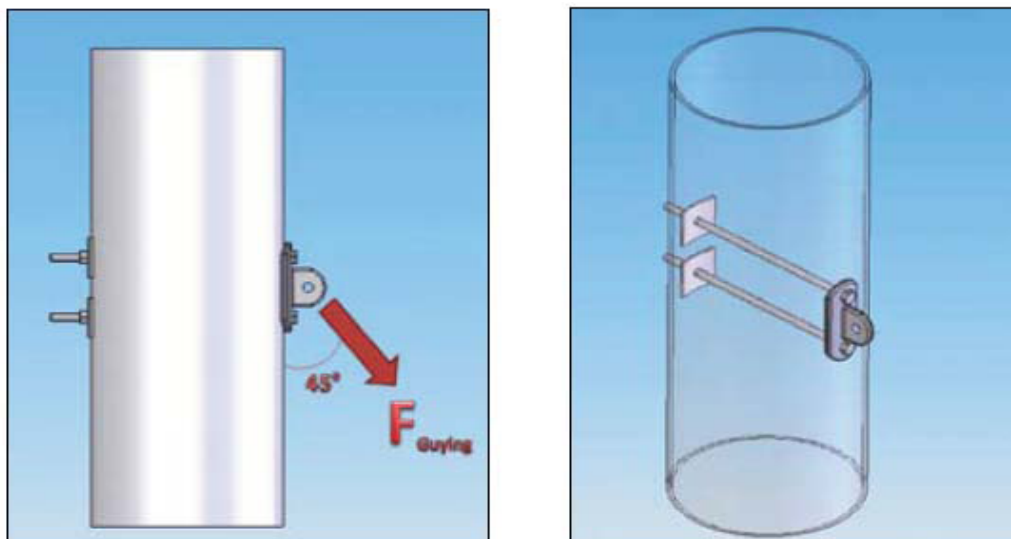
2.5.4.1. Ajustar tensores

A continuación se muestra el ensamble del ajuste de tensores de 2 y 3 pernos (observe las figuras 30 y 31). Estas se muestran como indicadores de planeación de las herramientas. Para confirmar la viabilidad de otras opciones o soluciones póngase en contacto con RStandard Technologies.

2.5.4.1.1. Ajuste de tensión de pernos

La tensión de ajuste utilizando dos pernos es utilizada para instalar retenidas al suelo, se recomienda la instalación de tensores con un ángulo no menor de 45° con respecto a la vertical para maximizar su tensión mecánica.

Figura 30. Ejemplo de ajuste de tensión de dos pernos



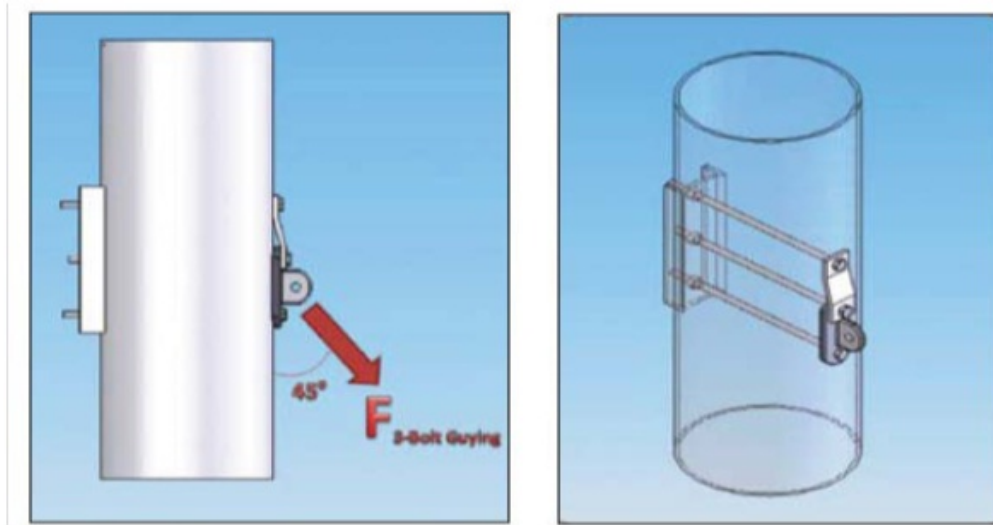
Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 6.

- Punto de salida: Hughes Brothers 2817R4.5-13-15.
- Herramienta de apoyo: rondana cuadrada de acero galvanizada de 4 x 4 pulgadas, 1/4 de ancho, (102 mm x 102 mm x 6 mm de ancho).
- Número de pernos: 2 pernos de diámetro 3/4 de pulgada (19 mm).
- Diámetro de orificios: 7/8 de pulgada (22 mm)
- Espacio de pernos: 6 pulgadas (152 mm)
- Torsión del perno: 30 libras / pies (40 N-m)
- Fuerza máxima de salida: $F@ 45^\circ = 7\ 500$ libras / pies (33,4 kN) 7

2.5.4.1.2. Ajuste de tensión de 3 pernos

En este tipo de ajuste se utiliza una placa frontal extendida, para agregar el 3er perno. También se utiliza una placa canaleta de extensión en la pared posterior del poste para expandir la carga más adecuadamente.

Figura 31. Ejemplo de colocación del tercer perno



Fuente: RS Technologies. Descripción de pruebas (CDN). p. 7.

Punto de salida	Hughes Brothers 2817R4.5-13-15, con placa de extensión de ½ pulgada (13 mm) de ancho.
Herramienta de apoyo:	placa de extensión C, de ½ pulgada (13 mm) 16 pulgadas de ancho (406 mm de largo).
Número de pernos:	3 pernos de diámetro ¾ de pulgada (19 mm).
Diámetro de orificio:	7/8 pulgadas (22 mm).
Espacio de pernos:	6 pulgadas (152 mm) entre todos los pernos.
Torsión del perno:	30 libras / pies (40 N-m).
Fuerza máxima de salida:	$F@ 45^\circ = 12\,500$ libras / pies (55,6 kN).

3. ESTUDIO DE LÍNEA GUATE ESTE - RODRÍGUEZ BRIONES CON CONDUCTOR 740,8 AAAC FLINT

3.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el cambio de conductor del doble circuito entre la subestación Guatemala Este y la subestación Rodríguez Briones.

La línea actualmente se encuentra construida con conductor 336,4 ACSR y se sustituirá con cable 740,8 AAAC, para lo cual se necesita modificar las características del diseño original agregando estructuras y, lógicamente, replanteado las tablas de flechas y tensiones, cumpliendo así los requerimientos mínimos establecidos en las normas vigentes de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y sus normas NTDOID y NTDOST.

3.1.1. Conductores de fase

Los conductores de fase son de aleación de aluminio AAAC con las características generales que se describen a continuación:

Denominación:	740,8 kcmil, 37 alambres, Flint.
Composición:	37 alambres de aleación de aluminio.
Diámetro total:	0,991 pulgadas.
Carga de rotura:	24 400 lb.
Peso:	0,695 lb/pie.
Área:	0,5818 pulgadas cuadradas.

3.1.2. Conductor de Guarda

El conductor de Guarda es de acero con las características generales que se describen a continuación:

Denominación:	Cable de acero de 5/16.
Composición:	7 alambres de acero.
Diámetro total:	0,312 pulgadas.
Carga de rotura:	8 000 lb.
Peso:	0,205 lb/pie.
Área:	0,0595 pulgadas cuadradas.

3.1.3. Aislamiento y herrajes

Se utilizará el mismo aislamiento existente en la línea y los herrajes se modificarán para acomodar el conductor ya indicado.

3.1.4. Estructuras

El diseño original de la línea contempló la utilización de torres de celosía con conductor ACSR 266,8 kcmil, luego de algunos reforzamientos en algunas estructuras, el diseñador autorizó la utilización de conductor ACSR 336,4 kcmil.

Simplemente, por razones de estudio, se diseñará una línea completamente nueva utilizando apoyos tipo poste en la totalidad de la línea, esto para poder comparar desde puntos de vista técnico y económico la implementación de nuevas tecnologías en apoyos para líneas de transmisión.

3.2. Cálculo mecánico de conductores

En este apartado se indican los cálculos de los esfuerzos mecánicos sobre conductores utilizados en este diseño.

Para realizar estos cálculos se utilizó toda la información vista en el capítulo 1 de este trabajo de graduación.

3.3. Distancias de seguridad

Las distancias mínimas de seguridad aplicadas son tomadas del artículo 18 de las normas NTDROID, las cuales son utilizadas para limitar la posibilidad de contacto por personas con las líneas; asegurarse que las instalaciones eléctricas guarden sus respectivas distancias con edificios, caminos, cruces de líneas, etc.

3.3.1. Distancia de seguridad vertical sobre el nivel de suelo

Los requisitos de este numeral se refieren a la altura mínima que deben guardar los conductores y cables de líneas aéreas, respecto del suelo, agua y parte superior de rieles de vías férreas.

Las distancias verticales deben ser como mínimo las indicadas en la tabla XXI y se aplican con las condiciones que ocasionen la mayor flecha final, que en este caso es para condición final y temperatura de 75 °C.

Tabla XXI. **Libranzas verticales al suelo de líneas de 69 kV**

Ítem	Descripción	NTDOID + 0,6m
1	Vías de ferrocarril	8,90m
2	Calles, carreteras, parqueos, calzadas, autopista	6,40m
3	Tierra de cultivo en donde puede circular maquinaria	6,40m
4	Caminos reservados para peatones	5,20m

Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Distancias adicionales para conductores de la línea de 69 kV

Para tensiones de 69 kV (72,5 kV), la altura básica de los conductores especificada en la tabla XXI de las normas NTDOID se deberá incrementar 0,01m por cada kV arriba de 22 kV.

Voltaje máximo de fase a tierra de la línea: 42 kV

Voltaje de fase a tierra por arriba de 22 kV: 20 kV

Incremento de distancia por nivel de voltaje de la línea: 0,20 m

Para tensiones mayores de 69 kV, la distancia por cada 300 m de altura en exceso de 1 000 m sobre el nivel del mar y dejando un margen de 0,6 m por errores de topografía se recomienda la distancia vertical al suelo de 6,40 m.

3.3.3. Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras

La distancia en cualquier dirección entre conductores que se crucen o sean adyacentes, soportados en diferentes estructuras, no deberá ser menor que la distancia requerida según las normas NTDOID, las cuales se tabulan en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras**

Ítem	Descripción	NTDOID (ajustada)
1	Sobre neutrales, retenidas aéreas	0,80
2	Cables y conductores mensajeros, retenidas de comunicación	1,70
3	Conductores suministradores de línea abierta de 0 – 750 V	0,80
4	Conductores suministradores de línea abierta de 13,8 kV	0,80
5	Conductores suministradores de línea abierta de 69 kV	1,00
6	Conductores suministradores de línea abierta de 138 kV	1,42
7	Conductores suministradores de línea abierta de 230 kV	1,98

Fuente: elaboración propia.

3.3.4. Distancia a edificaciones y otras instalaciones

Las distancias mínimas de seguridad verticales y horizontales a edificaciones y otras instalaciones se muestran en las tablas XXIII y XXIV.

Tabla XXIII. **Libranzas verticales a otras instalaciones**

Ítem	Descripción	NESC (m)
1	Apoyos de luminarias, semáforos o de líneas de 13,8 kV	1,70
2	Edificios	
2.1	Proyecciones de techos no accesibles a personas	3,80
2.2	Balcones o techos accesibles a personas	4,20
2.3	Techos accesibles a tráfico liviano (no camiones)	4,20
2.4	Techos accesibles a camiones	5,70
3	Anuncios, chimeneas, antenas, tanques	
3.1	Cornisas y otras superficies donde caminan personas	4,20
3.2	Otras partes de esas instalaciones	2,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Libranzas horizontales a otras instalaciones**

Ítem	Descripción	NESC sin viento (m)	NESC con viento (m)
1	Apoyos de luminarias, semáforos o de líneas de 13,8 kV	1,50	1,70
2	Edificios		
2.1	Proyecciones de techos no accesibles a personas	1,50	1,70
2.2	Balcones o techos accesibles a personas	1,50	1,70
2.3	Techos accesibles a tráfico liviano (no camiones)	1,50	1,70
2.4	Techos accesibles a camiones	1,50	1,70
3	Anuncios, chimeneas, antenas, tanques		
3.1	Cornisas y otras superficies donde caminan personas 4,20	1,50	1,70
3.2	Otras partes de esas instalaciones	1,50	1,70

Fuente: elaboración propia.

3.4. Resultados del estudio

Se realizó un estudio mecánico para establecer las alturas de postes y clases necesarias para la repotenciación de la línea Guate Este – Rodríguez Briones con cable Flint AAAC 740,8 kcmil.

3.4.1. Lista de tramos

En la tabla XXV se muestra el listado de los tramos considerados para el cambio de conductor.

Tabla XXV. Listado de tramos considerados en diseño

	# de Estructura	Vano Adelante		Ángulo	Altura	Clase	Configuración	Cantidad de postes	Vano Medio	
		metros	pies	Grados	metros	lbf			metros	pies
Estructura 3 a 4	3	183	600.39	83	27	10000	Doble remate	2		
	3A	133	436.35	0	24	4000	suspensión	1	163.82	537.49
Estructura 4 a 6	4	202	662.73	10	21	3000	Doble remate	2		
	5	214	702.1	3	21	6000	suspensión	1	208.25	683.27
Estructura 6	6	203	666.01	25	21	4000	Doble remate	2	203	666.01
Estructura 7 a 8	7	162	531.5	12	24	4000	Doble remate	2		
	7A	110	360.89	0	21	3500	suspensión	1	143.26	470.02
Estructura 8 a 10	8	219	718.5	10	21	3000	Doble remate	2		
	9	117	383.86	0	24	4000	suspensión	1	189.8	622.73
Estructura 10 a 12	10	169	554.46	23	30	4000	Doble remate	2		
	11	122	400.26	4	18	4000	suspensión	1	151.08	495.69
Estructura 12 a 15	12	163	534.78	39	21	5000	Doble remate	2		
	13	143	469.16	0	24	4000	suspensión	1		
	14	152	498.69	0	18	3500	suspensión	1	153.32	503.03
Estructura 15 a 18	15	188	616.8	19	24	4000	Doble remate	2		
	16 y 17	20	65.617	0	21	2500	suspensión	2	178.84	586.75
Estructura 18	18	75	246.06	18	21	2500	Doble remate	2	75	246.06
Estructura 19	19	15	49.213	33	21	7000	Doble remate	2	15	49.21
Longitud total		2590	8497.38							

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Tablas de tensión y flecha

Las tablas de tensión y flecha fueron calculadas utilizando según lo visto en el capítulo 1 de éste trabajo de graduación, para ello se utilizaron los datos generales mostrados en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Datos generales**

Conductor de guarda (Code Word)	acero 5/16"	Área de sección transversal (kcmil)	97,656
Conductor de fase (Code Word)	Flint	Diámetro (m)	0,0079248
		Tensión de ruptura (kg)	3628,739
		Peso por unidad de longitud (kg/m)	0,305
		Tensión de diseño (kg)	525,079
		Área de sección transversal (kcmil)	740,8
		Diámetro (m)	0,0251460
		Tensión de ruptura (kg)	11067,654
		Peso por unidad de longitud (kg/m)	1,028
		Tensión de diseño (kg) 5 °C	2420,822
Vano viento (m)	Indicado	Presión viento en conductores (kg/m ²)	81,458
velocidad del viento (km/h)	100		
POSTE	Indicado	Altura (m)	Indicado
velocidad del viento (km/h)	100	Clase (lb)	Indicado
		Presión del viento en el poste (kg/m ²)	81,458
Ángulo (grados)	Indicado	Ángulo (radianes)	Indicado
% tensión de ruptura (hilo de guarda)	14,47	Tensión de Ruptura (kgf)	3628,739
% tensión de ruptura (conductores)	16,15	Tensión de Ruptura (kgf)	11067,654

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Tablas de tensión y flecha

De estructura 3 a estructura 4									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
164	tensión horizontal (lb)	5338	4580	3938	3418	3006	2684	2428	2224
	% Tensión de ruptura	21.88%	18.77%	16.14%	14.01%	12.32%	11.00%	9.95%	9.11%
	flecha a medio vano (m)	1.43	1.66	1.93	2.23	2.53	2.84	3.14	3.43
	Vano 1	183.00	1.78	2.07	2.41	2.78	3.16	3.53	3.91
Vano 2	133.00	0.94	1.09	1.27	1.47	1.67	1.87	2.06	2.25

De estructura 4 a estructura 6									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
208	tensión horizontal (lb)	5036	4438	3940	3532	3202	2932	2710	2526
	% Tensión de ruptura	20.64%	18.19%	16.15%	14.48%	13.12%	12.02%	11.11%	10.35%
	flecha a medio vano (m)	2.43	2.76	3.11	3.47	3.83	4.18	4.52	4.85
	Vano 3	202.00	2.30	2.60	2.93	3.27	3.61	3.94	4.27
Vano 4	214.00	2.58	2.92	3.29	3.67	4.05	4.42	4.79	5.14

De estructura 6 a estructura 7									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
203	tensión horizontal (lb)	5068	4451	3939	3521	3182	2907	2681	2494
	% Tensión de ruptura	20.77%	18.24%	16.14%	14.43%	13.04%	11.91%	10.99%	10.22%
	flecha a medio vano (m)	2.30	2.62	2.96	3.32	3.67	4.02	4.35	4.68
	Vano 5	203.00	2.30	2.62	2.96	3.32	3.67	4.02	4.35

Continuación de la tabla XXVII.

De estructura 7 a estructura 8									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
143	tensión horizontal (lb)	5491	4657	3938	3350	2889	2536	2264	2052
	% Tensión de ruptura	22.50%	19.09%	16.14%	13.73%	11.84%	10.39%	9.28%	8.41%
	flecha a medio vano (m)	1.06	1.24	1.47	1.73	2.01	2.28	2.56	2.82
Vano 6	162.00	1.35	1.60	1.89	2.22	2.57	2.93	3.28	3.62
Vano 7	110.00	0.62	0.74	0.87	1.02	1.19	1.35	1.51	1.67

De estructura 8 a estructura 10									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
190	tensión horizontal (lb)	5154	4491	3939	3489	3128	2838	2603	2410
	% Tensión de ruptura	21.12%	18.41%	16.14%	14.30%	12.82%	11.63%	10.67%	9.88%
	flecha a medio vano (m)	1.98	2.28	2.60	2.93	3.27	3.60	3.93	4.24
Vano 8	219.00	2.64	3.03	3.45	3.89	4.34	4.79	5.22	5.64
Vano 9	117.00	0.75	0.86	0.98	1.11	1.24	1.37	1.49	1.61

De estructura 10 a estructura 12									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
151	tensión horizontal (lb)	5432	4627	3938	3377	2936	2594	2329	2120
	% Tensión de ruptura	22.26%	18.96%	16.14%	13.84%	12.03%	10.63%	9.55%	8.69%
	flecha a medio vano (m)	1.19	1.40	1.64	1.91	2.20	2.49	2.77	3.05
Vano 10	169.00	1.49	1.75	2.05	2.40	2.76	3.12	3.47	3.82
Vano 11	122.00	0.78	0.91	1.07	1.25	1.44	1.63	1.81	1.99

Continuación de la tabla XXVII.

De estructura 12 a estructura 15									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
153	tensión horizontal (lb)	5418	4620	3938	3383	2947	2608	2344	2136
	% Tensión de ruptura	22.20%	18.93%	16.14%	13.86%	12.08%	10.69%	9.61%	8.75%
	flecha a medio vano (m)	1.22	1.44	1.68	1.96	2.25	2.54	2.83	3.10
Vano 12	163.00	1.39	1.63	1.91	2.22	2.55	2.89	3.21	3.52
Vano 13	143.00	1.07	1.25	1.47	1.71	1.97	2.22	2.47	2.71
Vano 14	152.00	1.21	1.42	1.66	1.93	2.22	2.51	2.79	3.06

De estructura 15 a estructura 18									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
179	tensión horizontal (lb)	5230	4527	3938	3460	3079	2776	2532	2335
	% Tensión de ruptura	21.43%	18.55%	16.14%	14.18%	12.62%	11.38%	10.38%	9.57%
	flecha a medio vano (m)	1.74	2.01	2.31	2.62	2.95	3.27	3.59	3.89
Vano 15	188.00	1.91	2.21	2.54	2.89	3.25	3.61	3.95	4.29
Vano 16	20.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05

De estructura 18 a estructura 19									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
75	tensión horizontal (lb)	5940	4909	3936	3071	2376	1881	1550	1326
	% Tensión de ruptura	24.34%	20.12%	16.13%	12.59%	9.74%	7.71%	6.35%	5.43%
	flecha a medio vano (m)	0.27	0.32	0.40	0.52	0.67	0.85	1.03	1.20
Vano 17	75.00	0.27	0.32	0.40	0.52	0.67	0.85	1.03	1.20

Continuación de la tabla XXVII.

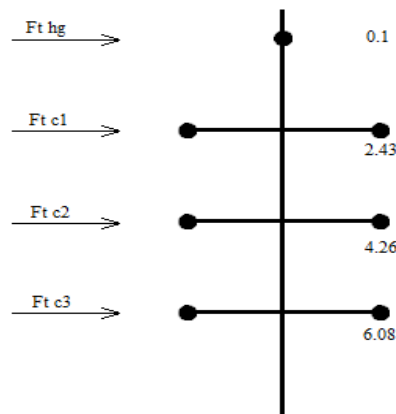
De estructura 19 a pórtico y de estructuras 1 y 2 a estructura 3									
longitud de vano medio (m)	temperatura °C	5	15	25	35	45	55	65	75
	temperatura °F	41	59	77	95	113	131	149	167
15	tensión horizontal (lb)	6140	5036	3936	2843	1781	893	484	345
	% Tensión de ruptura	25.16%	20.64%	16.13%	11.65%	7.30%	3.66%	1.98%	1.41%
	flecha a medio vano (m)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	0.13	0.18
Vano 18	15.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	0.13	0.18

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Árboles de carga para apoyos en la línea

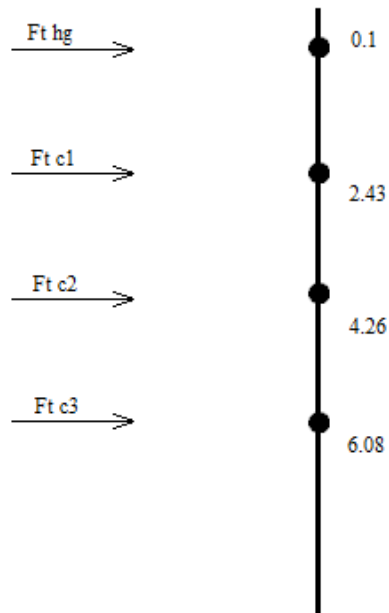
En las figuras 32 y 33 se muestran los árboles de carga para las diferentes configuraciones de líneas utilizadas en el diseño, los cuales serán utilizados para el cálculo mecánico de las estructuras.

Figura 32. **Árbol de cargas para estructuras de paso con doble circuito lado a lado**



Fuente: ilustración propia.

Figura 33. **Árbol de carga para estructuras de remate con un circuito**



Fuente: ilustración propia.

Utilizando los datos específicos para cada estructura se realizó el cálculo mecánico por estructura cuyos resultados se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla XXVIII. Cálculo mecánico de la estructura No. 3

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
27C10000		Altura (m) : 27		Clase (lbs) : 10000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	23.6	0.0079248	99	81.458	1	1508.23582
Cond. Superior	1	22.2	0.025146	99	81.458	1	4501.84796
Cond. Medio	1	19.95	0.025146	99	81.458	1	4045.57958
Cond. Inferior	1	18.15	0.025146	99	81.458	1	3680.56488
Momento total debido al viento en los cables							13736.2282
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
10000	23.8	0.525	0.683666667	81.458	1	13332.2057	
Momento total debido al viento en el poste							13332.2057
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	23.6	83	3628.73896	13.88	0.3	4725.77476
Cond. Superior	1	22.2	83	11067.65383	21.88	0.3	21374.4259
Cond. Medio	1	19.95	83	11067.65383	21.88	0.3	19208.0989
Cond. Inferior	1	18.15	83	11067.65383	21.88	0.3	17475.0374
Momento total debido a la deflexión de la línea							62783.337
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	23.6	3628.73896	13.88	1	11886.58764	
Cond. Superior	1	22.2	11067.65383	21.88114756	1	53762.39857	
Momento total debido a la rotura del conductor							65648.98621
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						13736.22824	
Momento debido al viento en el poste						13332.2057	
Momento debido a la deflexión de la línea						62783.33695	
Momento por rotura de conductor						65648.98621	
Momento total actuante en el poste						111279.513	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
10000	4535.9237	23.8	1.2	127913.0483			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
10000	127913.0483	111279.5135	87.00%				
Vano máximo (m)						242.64	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Cálculo mecánico de la estructura No. 3A

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C4000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	158	81.458	1	2131.69677
Cond. Superior	2	19.5	0.025146	158	81.458	1	12621.8888
Cond. Medio	2	17.25	0.025146	158	81.458	1	11165.517
Cond. Inferior	2	15.45	0.025146	158	81.458	1	10000.4196
Momento total debido al viento en los cables							35919.522
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	21.1	0.3	0.6165	81.458	1	7352.91451	
Momento total debido al viento en el poste							7352.91451
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	19.5	0	11067.65383	19.89	0.3	0
Cond. Medio	2	17.25	0	11067.65383	19.89	0.3	0
Cond. Inferior	2	15.45	0	11067.65383	19.89	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	19.5	11067.65383	19.88524592	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						35919.52204	
Momento debido al viento en el poste						7352.914505	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						43272.4365	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	21.1	1.2	45286.66222			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	45286.66222	43272.43655	95.55%				
Vano máximo (m)							166.86

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Cálculo mecánico de la estructura No. 4

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C3000		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 3000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	168	81.458	1	1973.79808
Cond. Superior	1	16.8	0.025146	168	81.458	1	5781.24291
Cond. Medio	1	14.55	0.025146	168	81.458	1	5006.96931
Cond. Inferior	1	12.75	0.025146	168	81.458	1	4387.55042
Momento total debido al viento en los cables							17149.5607
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
3000	18.4	0.255	0.531	81.458	1	4784.85595	
Momento total debido al viento en el poste							4784.85595
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	10	3628.73896	13.88	0.3	479.362261
Cond. Superior	1	16.8	10	11067.65383	19.56	0.3	1901.81478
Cond. Medio	1	14.55	10	11067.65383	19.56	0.3	1647.10744
Cond. Inferior	1	12.75	10	11067.65383	19.56	0.3	1443.34157
Momento total debido a la deflexión de la línea							5471.62606
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	16.8	11067.65383	19.55942625	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						17149.56073	
Momento debido al viento en el poste						4784.855953	
Momento debido a la deflexión de la línea						5471.626061	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						27406.0427	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
3000	1360.77711	18.4	1.2	29556.07883			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
3000	29556.07883	27406.04274	92.73%				
Vano máximo (m)						189.06	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Cálculo mecánico de la estructura No. 5

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C6000		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 6000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	208	81.458	1	2443.75001
Cond. Superior	2	16.8	0.025146	208	81.458	1	14315.4586
Cond. Medio	2	14.55	0.025146	208	81.458	1	12398.2097
Cond. Inferior	2	12.75	0.025146	208	81.458	1	10864.4106
Momento total debido al viento en los cables							40021.8289
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
6000	18.4	0.435	0.435	81.458	1	5998.30645	
Momento total debido al viento en el poste							5998.30645
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	3	3628.73896	13.88	0.3	143.974921
Cond. Superior	2	16.8	3	11067.65383	18.40	0.3	1074.90476
Cond. Medio	2	14.55	3	11067.65383	18.40	0.3	930.944298
Cond. Inferior	2	12.75	3	11067.65383	18.40	0.3	815.775932
Momento total debido a la deflexión de la línea							2965.59991
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	16.8	11067.65383	18.40368854	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						40021.82893	
Momento debido al viento en el poste						5998.306454	
Momento debido a la deflexión de la línea						2965.599907	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						48985.7353	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
6000	2721.55422	18.4	1.2	59112.15766			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
6000	59112.15766	48985.73529	82.87%				
Vano máximo (m)						260.63	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Cálculo mecánico de la estructura No. 6

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C4000		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	209	81.458	1	2455.49881
Cond. Superior	1	16.8	0.025146	209	81.458	1	7192.14148
Cond. Medio	1	14.55	0.025146	209	81.458	1	6228.90824
Cond. Inferior	1	12.75	0.025146	209	81.458	1	5458.32166
Momento total debido al viento en los cables							21334.8702
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	18.4	0.3	0.576	81.458	1	5405.37041	
Momento total debido al viento en el poste							5405.37041
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	25	3628.73896	13.88	0.3	1190.43197
Cond. Superior	1	16.8	25	11067.65383	18.38	0.3	4437.8953
Cond. Medio	1	14.55	25	11067.65383	18.38	0.3	3843.53432
Cond. Inferior	1	12.75	25	11067.65383	18.38	0.3	3368.04554
Momento total debido a la deflexión de la línea							12839.9071
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	16.8	11067.65383	18.37909838	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						21334.87019	
Momento debido al viento en el poste						5405.370414	
Momento debido a la deflexión de la línea						12839.90713	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						39580.1477	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	18.4	1.2	39408.10511			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	39408.10511	39580.14774	100.44%				
Vano máximo (m)							207.31

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Cálculo mecánico de la estructura No. 7

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C4000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	183	81.458	1	2468.99056
Cond. Superior	1	19.5	0.025146	183	81.458	1	7309.51152
Cond. Medio	1	17.25	0.025146	183	81.458	1	6466.10635
Cond. Inferior	1	15.45	0.025146	183	81.458	1	5791.38221
Momento total debido al viento en los cables							22035.9906
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	21.1	0.3	0.6165	81.458	1	7352.91451	
Momento total debido al viento en el poste							7352.91451
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	12	3628.73896	13.88	0.3	660.2027
Cond. Superior	1	19.5	12	11067.65383	19.10	0.3	2584.79131
Cond. Medio	1	17.25	12	11067.65383	19.10	0.3	2286.54616
Cond. Inferior	1	15.45	12	11067.65383	19.10	0.3	2047.95004
Momento total debido a la deflexión de la línea							7579.4902
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	19.5	11067.65383	19.09631149	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						22035.99064	
Momento debido al viento en el poste						7352.914505	
Momento debido a la deflexión de la línea						7579.490198	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						36968.3953	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	21.1	1.2	45286.66222			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	45286.66222	36968.39534	81.63%				
Vano máximo (m)							252.08

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Cálculo mecánico de la estructura No. 7A

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C3500		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 3500			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	136	81.458	1	1597.83654
Cond. Superior	2	16.8	0.025146	136	81.458	1	9360.10757
Cond. Medio	2	14.55	0.025146	136	81.458	1	8106.52173
Cond. Inferior	2	12.75	0.025146	136	81.458	1	7103.65307
Momento total debido al viento en los cables							26168.1189
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
3500	18.4	0.255	0.531	81.458	1	4784.85595	
Momento total debido al viento en el poste							4784.85595
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	16.8	0	11067.65383	20.63	0.3	0
Cond. Medio	2	14.55	0	11067.65383	20.63	0.3	0
Cond. Inferior	2	12.75	0	11067.65383	20.63	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	16.8	11067.65383	20.63114756	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						26168.11891	
Momento debido al viento en el poste						4784.855953	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						30952.9749	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
3500	1587.5733	18.4	1.2	34482.09197			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
3500	34482.09197	30952.97487	89.77%				
Vano máximo (m)						154.34	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Cálculo mecánico de la estructura No. 8

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C3000		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 3000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	165	81.458	1	1938.55169
Cond. Superior	1	16.8	0.025146	165	81.458	1	5678.00643
Cond. Medio	1	14.55	0.025146	165	81.458	1	4917.55914
Cond. Inferior	1	12.75	0.025146	165	81.458	1	4309.20131
Momento total debido al viento en los cables							16843.3186
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
3000	18.4	0.255	0.531	81.458	1	4784.85595	
Momento total debido al viento en el poste							4784.85595
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	10	3628.73896	13.88	0.3	479.362261
Cond. Superior	1	16.8	10	11067.65383	19.66	0.3	1911.1794
Cond. Medio	1	14.55	10	11067.65383	19.66	0.3	1655.21787
Cond. Inferior	1	12.75	10	11067.65383	19.66	0.3	1450.44865
Momento total debido a la deflexión de la línea							5496.20819
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	16.8	11067.65383	19.65573772	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						16843.31857	
Momento debido al viento en el poste						4784.855953	
Momento debido a la deflexión de la línea						5496.208188	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						27124.3827	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
3000	1360.77711	18.4	1.2	29556.07883			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
3000	29556.07883	27124.38271	91.77%				
Vano máximo (m)							188.82

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Cálculo mecánico de la estructura No. 9

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C4000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	168	81.458	1	2266.61428
Cond. Superior	2	19.5	0.025146	168	81.458	1	13420.7425
Cond. Medio	2	17.25	0.025146	168	81.458	1	11872.1953
Cond. Inferior	2	15.45	0.025146	168	81.458	1	10633.3575
Momento total debido al viento en los cables							38192.9095
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	21.1	0.3	0.6165	81.458	1	7352.91451	
Momento total debido al viento en el poste							7352.91451
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	19.5	0	11067.65383	19.56	0.3	0
Cond. Medio	2	17.25	0	11067.65383	19.56	0.3	0
Cond. Inferior	2	15.45	0	11067.65383	19.56	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	19.5	11067.65383	19.55942625	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						38192.90951	
Momento debido al viento en el poste						7352.914505	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						45545.824	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	21.1	1.2	45286.66222			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	45286.66222	45545.82402	100.57%				
Vano máximo (m)						166.86	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Cálculo mecánico de la estructura No. 10

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
30C4000		Altura (m) : 30		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	26.3	0.0079248	143	81.458	1	2427.80521
Cond. Superior	1	24.9	0.025146	143	81.458	1	7293.53445
Cond. Medio	1	22.65	0.025146	143	81.458	1	6634.48013
Cond. Inferior	1	20.85	0.025146	143	81.458	1	6107.23668
Momento total debido al viento en los cables							22463.0565
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	26.5	0.26	0.692833333	81.458	1	11563.1288	
Momento total debido al viento en el poste							11563.1288
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	26.3	23	3628.73896	13.88	0.3	1584.55567
Cond. Superior	1	24.9	23	11067.65383	20.39	0.3	6722.15277
Cond. Medio	1	22.65	23	11067.65383	20.39	0.3	6114.72933
Cond. Inferior	1	20.85	23	11067.65383	20.39	0.3	5628.79057
Momento total debido a la deflexión de la línea							20050.2283
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	26.3	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	24.9	11067.65383	20.39139346	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						22463.05647	
Momento debido al viento en el poste						11563.12884	
Momento debido a la deflexión de la línea						20050.22834	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						54076.4137	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	26.5	1.2	57043.77645			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	57043.77645	54076.41366	94.80%				
Vano máximo (m)							161.89

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. Cálculo mecánico de la estructura No. 11

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
18C4000		Altura (m) : 18		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	0.0079248	146	81.458	1	1460.85331
Cond. Superior	2	14.1	0.025146	146	81.458	1	8433.43726
Cond. Medio	2	11.85	0.025146	146	81.458	1	7087.67599
Cond. Inferior	2	10.05	0.025146	146	81.458	1	6011.06698
Momento total debido al viento en los cables							22993.0335
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	15.7	0.255	0.569	81.458	1	3610.79841	
Momento total debido al viento en el poste							3610.79841
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	4	3628.73896	13.88	0.3	163.473479
Cond. Superior	2	14.1	4	11067.65383	20.29	0.3	1325.97192
Cond. Medio	2	11.85	4	11067.65383	20.29	0.3	1114.38066
Cond. Inferior	2	10.05	4	11067.65383	20.29	0.3	945.107648
Momento total debido a la deflexión de la línea							3548.93371
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	15.5	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	14.1	11067.65383	20.28893444	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						22993.03353	
Momento debido al viento en el poste						3610.798405	
Momento debido a la deflexión de la línea						3548.93371	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						30152.7656	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	15.7	1.2	33529.54799			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	33529.54799	30152.76565	89.93%				
Vano máximo (m)						167.44	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Cálculo mecánico de la estructura No. 12

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C5000		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 5000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	143	81.458	1	1680.07813
Cond. Superior	1	16.8	0.025146	143	81.458	1	4920.93891
Cond. Medio	1	14.55	0.025146	143	81.458	1	4261.88459
Cond. Inferior	1	12.75	0.025146	143	81.458	1	3734.64113
Momento total debido al viento en los cables							14597.5428
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
5000	18.4	0.435	0.711	81.458	1	7266.9138	
Momento total debido al viento en el poste							7266.9138
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	39	3628.73896	13.88	0.3	1835.95947
Cond. Superior	1	16.8	39	11067.65383	22.50	0.3	8379.7956
Cond. Medio	1	14.55	39	11067.65383	22.50	0.3	7257.50155
Cond. Inferior	1	12.75	39	11067.65383	22.50	0.3	6359.6663
Momento total debido a la deflexión de la línea							23832.9229
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	16.8	11067.65383	22.5020492	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						14597.54276	
Momento debido al viento en el poste						7266.913796	
Momento debido a la deflexión de la línea						23832.92292	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						45697.3795	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
5000	2267.96185	18.4	1.2	49260.13138			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
5000	49260.13138	45697.37947	92.77%				
Vano máximo (m)							177.90

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. Cálculo mecánico de la estructura No. 13

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C4000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	153	81.458	1	2064.23801
Cond. Superior	2	19.5	0.025146	153	81.458	1	12222.4619
Cond. Medio	2	17.25	0.025146	153	81.458	1	10812.1778
Cond. Inferior	2	15.45	0.025146	153	81.458	1	9683.95058
Momento total debido al viento en los cables							34782.8283
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	21.1	0.3	0.6165	81.458	1	7352.91451	
Momento total debido al viento en el poste							7352.91451
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	19.5	0	11067.65383	22.20	0.3	0
Cond. Medio	2	17.25	0	11067.65383	22.20	0.3	0
Cond. Inferior	2	15.45	0	11067.65383	22.20	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	19.5	11067.65383	22.20081969	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						34782.82831	
Momento debido al viento en el poste						7352.914505	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						42135.7428	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	21.1	1.2	45286.66222			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	45286.66222	42135.74281	93.04%				
Vano máximo (m)						166.86	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Cálculo mecánico de la estructura No. 14

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
18C3250		Altura (m) : 18		Clase (lbs) : 3250			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	0.0079248	148	81.458	1	1480.86499
Cond. Superior	2	14.1	0.025146	148	81.458	1	8548.96379
Cond. Medio	2	11.85	0.025146	148	81.458	1	7184.76744
Cond. Inferior	2	10.05	0.025146	148	81.458	1	6093.41036
Momento total debido al viento en los cables							23308.0066
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
3250	15.7	0.255	0.4905	81.458	1	3348.10362	
Momento total debido al viento en el poste							3348.10362
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	15.5	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	14.1	0	11067.65383	22.35	0.3	0
Cond. Medio	2	11.85	0	11067.65383	22.35	0.3	0
Cond. Inferior	2	10.05	0	11067.65383	22.35	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	15.5	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	14.1	11067.65383	22.35245904	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						23308.0066	
Momento debido al viento en el poste						3348.103619	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						26656.1102	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
3250	1474.1752	15.7	1.2	27242.75774			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
3250	27242.75774	26656.11021	97.85%				
Vano máximo (m)							151.73

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Cálculo mecánico de la estructura No. 15

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C4000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 4000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	170	81.458	1	2293.59779
Cond. Superior	1	19.5	0.025146	170	81.458	1	6790.25661
Cond. Medio	1	17.25	0.025146	170	81.458	1	6006.76546
Cond. Inferior	1	15.45	0.025146	170	81.458	1	5379.97254
Momento total debido al viento en los cables							20470.5924
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
4000	21.1	0.3	0.6165	81.458	1	7352.91451	
Momento total debido al viento en el poste							7352.91451
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	19	3628.73896	13.88	0.3	1042.44214
Cond. Superior	1	19.5	19	11067.65383	19.50	0.3	4166.71679
Cond. Medio	1	17.25	19	11067.65383	19.50	0.3	3685.94178
Cond. Inferior	1	15.45	19	11067.65383	19.50	0.3	3301.32177
Momento total debido a la deflexión de la línea							12196.4225
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	19.5	11067.65383	19.49590166	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						20470.5924	
Momento debido al viento en el poste						7352.914505	
Momento debido a la deflexión de la línea						12196.42248	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						40019.9294	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
4000	1814.36948	21.1	1.2	45286.66222			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
4000	45286.66222	40019.92938	88.37%				
Vano máximo (m)						213.74	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Cálculo mecánico de las estructuras No. 16 y 17

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C2500		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 2500			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	104	81.458	1	1221.875
Cond. Superior	2	16.8	0.025146	104	81.458	1	7157.72932
Cond. Medio	2	14.55	0.025146	104	81.458	1	6199.10486
Cond. Inferior	2	12.75	0.025146	104	81.458	1	5432.20529
Momento total debido al viento en los cables							20010.9145
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
2500	18.4	0.255	0.531	81.458	1	4784.85595	
Momento total debido al viento en el poste							4784.85595
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0	3628.73896	13.88	0.3	0
Cond. Superior	2	16.8	0	11067.65383	21.72	0.3	0
Cond. Medio	2	14.55	0	11067.65383	21.72	0.3	0
Cond. Inferior	2	12.75	0	11067.65383	21.72	0.3	0
Momento total debido a la deflexión de la línea							0
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	2	16.8	11067.65383	21.71926231	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						20010.91446	
Momento debido al viento en el poste						4784.855953	
Momento debido a la deflexión de la línea						0	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						24795.7704	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
2500	1133.98093	18.4	1.2	24630.06569			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
2500	24630.06569	24795.77042	100.67%				
Vano máximo (m)							103.14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. Cálculo mecánico de la estructura No. 18

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
21C2500		Altura (m) : 21		Clase (lbs) : 2500			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	0.0079248	48	81.458	1	563.94231
Cond. Superior	1	16.8	0.025146	48	81.458	1	1651.78369
Cond. Medio	1	14.55	0.025146	48	81.458	1	1430.56266
Cond. Inferior	1	12.75	0.025146	48	81.458	1	1253.58584
Momento total debido al viento en los cables							4899.87449
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
2500	18.4	0.255	0.531	81.458	1	4784.85595	
Momento total debido al viento en el poste							4784.85595
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	18.2	18	3628.73896	13.88	0.3	860.399746
Cond. Superior	1	16.8	18	11067.65383	23.22	0.3	4051.89916
Cond. Medio	1	14.55	18	11067.65383	23.22	0.3	3509.23409
Cond. Inferior	1	12.75	18	11067.65383	23.22	0.3	3075.10204
Momento total debido a la deflexión de la línea							11496.635
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	18.2	3628.73896	13.88	0	0	
Cond. Superior	1	16.8	11067.65383	23.21721313	0	0	
Momento total debido a la rotura del conductor							0
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						4899.874493	
Momento debido al viento en el poste						4784.855953	
Momento debido a la deflexión de la línea						11496.63504	
Momento por rotura de conductor						0	
Momento total actuante en el poste						21181.3655	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
2500	1133.98093	18.4	1.2	24630.06569			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
2500	24630.06569	21181.36549	86.00%				
Vano máximo (m)							81.78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. Cálculo mecánico de la estructura No. 19

CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN UN POSTE							
24C7000		Altura (m) : 24		Clase (lbs) : 7000			
Momento debido al viento en los cables							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Diámetro de conductor (m)	Vano viento (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	0.0079248	45	81.458	1	607.128826
Cond. Superior	1	19.5	0.025146	45	81.458	1	1797.42087
Cond. Medio	1	17.25	0.025146	45	81.458	1	1590.02615
Cond. Inferior	1	15.45	0.025146	45	81.458	1	1424.11038
Momento total debido al viento en los cables							5418.68622
Momento debido al viento en el poste							
Clase	Altura útil (m)	Diámetro en punta (m)	Diámetro en base a nivel de suelo (m)	Presión viento (kg/m ²)	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
7000	21.1	0.45	0.792875	81.458	1	10232.2771	
Momento total debido al viento en el poste							10232.2771
Momento debido a la deflexión de la línea							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Ángulo (grados)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)
Guarda	1	20.9	33	3628.73896	13.88	0.3	1793.84343
Cond. Superior	1	19.5	33	11067.65383	23.27	0.3	8558.32541
Cond. Medio	1	17.25	33	11067.65383	23.27	0.3	7570.82632
Cond. Inferior	1	15.45	33	11067.65383	23.27	0.3	6780.82706
Momento total debido a la deflexión de la línea							24703.8222
Momento debido a la rotura del conductor							
Cable	Cables por fase	Altura (m)	Tensión de Ruptura (kg)	% tensión de ruptura	Factor de sobrecarga	Momento (kg-m)	
Guarda	1	20.9	3628.73896	13.88	1	10526.68142	
Cond. Superior	1	19.5	11067.65383	23.27049182	1	50222.20084	
Momento total debido a la rotura del conductor							60748.88226
Nota: en el caso de tratarse de una estructura tipo AAF el factor de sobrecarga es 1							
Momento total actuante en el poste							
Momento						Subtotal (kg-m)	
Momento debido al viento en los cables						5418.686223	
Momento debido al viento en el poste						10232.27714	
Momento debido a la deflexión de la línea						24703.82222	
Momento por rotura de conductor						60748.88226	
Momento total actuante en el poste						72931.0319	
Momento último resistente del poste							
Clase (libras)	Clase (kgf)	Altura útil (m)	Factor seg. Fab	Momento resistente último (kg-m)			
7000	3175.14659	21.1	1.2	79251.65889			
Porcentaje de utilización del poste							
Clase (libras)	Momento resistente último (kg-m)	Momento actuante en el poste (kg-m)	Porcentaje de utilización (%)				
7000	79251.65889	72931.03192	92.02%				
Vano máximo (m)						132.54	

Fuente: elaboración propia.

3.4.4. Planos en vista de planta y perfil

Los planos en vista de planta y perfil del diseño de repotenciación de línea Guate Este – Rodríguez Briones pueden observarse en el Anexo 4, las catenarias están dibujadas con una temperatura del conductor de 75 °C en el estado inicial sin viento.

4. COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69 KV GUATE ESTE - RODRÍGUEZ BRIONES UTILIZANDO ESTRUCTURAS CONVENCIONALES CONTRA LA IMPLEMENTACIÓN DE POSTES DE COMPUESTO DE FIBRA REFORZADA CON MATERIAL DE POLÍMERO

4.1. Introducción

El costo total del proyecto de la repotenciación de una línea de transmisión se conforma esencialmente de dos grandes grupos de costos, los costos de material y equipo y los costos de mano de obra.

El primer grupo abarca los costos de los distintos materiales y equipos que se utilizan en la construcción de la línea, entre ellos se encuentran:

- Estructuras.
- Conductor (para fases, hilo de guarda y bajadas a tierra).
- Conectores y empalmes.
- Aislamiento.
- Herrajes de fijación (tornillos, abrazaderas, eslabones, arandelas, grapas, entre otros).
- Materiales para conexión a tierra (varillas de cobre, materiales para soldadura exotérmica y químicos especiales para preparación del suelo, si fuera necesario).
- Apartarrayos de línea.
- Detectores de falla.
- Seccionadores de línea.

Para lograr una mejor comparación entre los costos de estructuras será necesario estandarizar el tipo de materiales y equipo que se utilizará en la repotenciación de la línea, con esto no se estará cometiendo ningún error ya que como se puede observar en la Guía de herramientas en el numeral 2.5 de éste trabajo de graduación, el herraje y herramientas que se utilizan en los postes de compuesto de fibra reforzada con material de polímero se pueden utilizar de la misma forma en postes de concreto centrifugado.

Los materiales y equipos como conductores, aislamiento, conectores, empalmes, apartarrayos, detectores de falla, seccionadores de línea y materiales para bajadas tierra son indiferentes al tipo de estructura que los soporta.

El segundo grupo de costos abarca todo lo referente a costos de mano de obra, en este grupo se desglosan los costos de:

- Instalación de estructuras.
- Instalación de aislamiento.
- Tendido de conductor e hilo de guarda.
- Instalación y conexión de tierras físicas.
- Instalación de equipos.

Al igual que para los costos de materiales para realizar una mejor comparación económica, se deben estandarizar los costos de mano de obra a excepción del costo de instalación de estructuras. Esto no implica ningún error en el cálculo ya que al estandarizar los materiales y equipos, los costos de instalación de aislamiento, tendido de conductor, tendido de hilo de guarda, instalación y conexión de tierras físicas, e instalación de equipos, no deberán tener ninguna variación si las estructuras poseen similar altura y grosor.

4.2. Costos de las estructuras

En este apartado se incluirán los costos de fabricación y envío de las estructuras.

Las estructuras requeridas para la repotenciación de la línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones, obtenidas de los cálculos mostrados en las tablas XXVIII a la XLV, se muestran en la tabla XLVI:

Tabla XLVI. **Estructuras necesarias para repotenciación de línea Guate Este – Rodríguez Briones**

Cantidad de estructuras	Altura metros	Clase lbf
2	27	10000
1	24	4000
2	21	3000
1	21	6000
2	21	4000
2	24	4000
1	21	3500
2	21	3000
1	24	4000
2	30	4000
1	18	4000
2	21	5000
1	24	4000
1	18	3500
2	24	4000
1	21	2500
2	21	2500
2	24	7000

Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Postes de concreto centrifugado

En la tabla XLVII se muestran los costos de fabricación y envío de los postes de concreto centrifugado necesarios para la repotenciación de la línea Guate Este – Rodríguez Briones.

Tabla XLVII. **Cotización de postes de Productos Atlas**

Cantidad de estructuras	Altura metros	Clase lb	Costo unitario		Subtotal	
			estructura	envío	estructura	envío
2	27	10000	Q87 741,25	Q10 184,25	Q175 482,50	Q20 368,50
1	24	4000	Q32 511,27	Q5 092,13	Q32 511,27	Q5 092,13
2	21	3000	Q17 234,89	Q5 092,13	Q34 469,78	Q10 184,25
1	21	6000	Q38 386,80	Q5 092,13	Q38 386,80	Q5 092,13
2	21	4000	Q19 585,10	Q5 092,13	Q39 170,20	Q10 184,25
2	24	4000	Q32 511,27	Q5 092,13	Q65 022,53	Q10 184,25
1	21	3500	Q18 409,99	Q5 092,13	Q18 409,99	Q5 092,13
2	21	3000	Q17 234,89	Q5 092,13	Q34 469,78	Q10 184,25
1	24	4000	Q32 511,27	Q5 092,13	Q32 511,27	Q5 092,13
2	30	4000	Q41 912,11	Q5 092,13	Q83 824,23	Q10 184,25
1	18	4000	Q7 834,04	Q5 092,13	Q7 834,04	Q5 092,13
2	21	5000	Q25 090,47	Q5 092,13	Q50 180,94	Q10 184,25
1	24	4000	Q32 511,27	Q5 092,13	Q32 511,27	Q5 092,13
1	18	3500	Q10 575,95	Q5 092,13	Q10 575,95	Q5 092,13
2	24	4000	Q32 511,27	Q5 092,13	Q65 022,53	Q10 184,25
2	21	2500	Q16 059,78	Q5 092,13	Q32 119,56	Q10 184,25
2	21	2500	Q16 059,78	Q5 092,13	Q32 119,56	Q10 184,25
2	24	7000	Q44 262,33	Q5 092,13	Q88 524,65	Q10 184,25
Total					Q873 146,85	Q157 855,91

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero

En la tabla XLVIII se muestran los costos de fabricación y envío de los postes de fibra reforzados con material polímero *RStandard Composite Utility Poles*, necesarios para la repotenciación de la línea Guate Este – Rodríguez Briones.

Tabla XLVIII. Cotización de RStandard Composite Utility Poles

Cantidad de estructuras	Código RStandard	Costo unitario		Subtotal	
		estructura	envío	estructura	envío
2	Poste especial	Q310 582,63	Q2 810,85	Q621 065,27	Q5 621,71
1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q96 688,74	Q702,71	Q96 688,74	Q702,71
2	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q66 416,73	Q1 405,43	Q132 833,46	Q2 810,85
1	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q66 416,73	Q702,71	Q66 416,73	Q702,71
2	RSP-0700-F-0509-C-0000-GY-004	Q96 688,74	Q1 405,43	Q193 377,47	Q2 810,85
2	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q96 688,74	Q1 405,43	Q193 377,47	Q2 810,85
1	RSP-0700-F-0509-C-0000-GY-004	Q96 688,74	Q702,71	Q96 688,74	Q702,71
2	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q66 416,73	Q1 405,43	Q132 833,46	Q2 810,85
1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q96 688,74	Q702,71	Q96 688,74	Q702,71
2	RSP-1000-F-0511-C-0000-GY-008	Q155 291,32	Q1 405,43	Q310 582,63	Q2 810,85
1	RSP-0600-F-0407-C-0000-GY-000	Q58 602,58	Q702,71	Q58 602,58	Q702,71
2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-006	Q141 618,32	Q1 405,43	Q283 236,64	Q2 810,85
1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q96 688,74	Q702,71	Q96 688,74	Q702,71
1	RSP-0600-F-0709-C-0000-GY-001	Q83 015,74	Q702,71	Q83 015,74	Q702,71
2	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q96 688,74	Q1 405,43	Q193 377,47	Q2 810,85
2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-007	Q141 618,32	Q1 405,43	Q283 236,64	Q2 810,85
2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-007	Q141 618,32	Q1 405,43	Q283 236,64	Q2 810,85
2	Poste especial	Q193 377,47	Q1 405,43	Q386 754,94	Q2 810,85
		Total		Q3 608 802,10	Q38 649,24

Fuente: elaboración propia.

4.3. Costos de construcción

Para la cotización de mano de obra en la instalación de postes de concreto centrifugado e instalación de postes de compuesto de fibra reforzada con material polímero, se recurrió a una empresa constructora guatemalteca.

El costo de instalación de postes incluye las siguientes actividades:

- Excavación de agujeros.
- Elaboración de cimentaciones.
- Traslado de poste desde el punto de entrega hacia punto de instalación.
- Izado de poste.
- Instalación de retenidas (en este caso se consideraron postes autosoportados, es decir que no necesitan retenidas).

4.3.1. Excavación de agujeros y elaboración de cimentaciones

Existe una gran similitud de diámetros y alturas entre los postes de compuesto de fibra y los postes de concreto centrifugado, debido a esto la excavación de agujeros y elaboración de cimentaciones será similar, por lo que no se tomarán en cuenta en los costos de construcción.

4.3.2. Traslado de postes

Una práctica común en el medio de la construcción de líneas de transmisión es que el proveedor de postes de concreto transporta cada poste hasta el punto accesible más cercano al punto donde se instalará el mismo. Esta práctica se realiza con el objetivo de minimizar costos de almacenaje, que debido al peso de los postes de concreto es relativamente costoso.

Sin embargo, al utilizar postes de compuesto de fibra reforzada con material polímero el costo de almacenaje y traslado es mucho menor por lo que se prefiere pagar el almacenaje y reducir así el costo de envío del proveedor de postes.

El constructor deberá transportar el poste, ya sea de concreto o de compuesto de fibra, desde el punto de entrega del proveedor de postes hasta el lugar donde se instalará. Para efectos de éste trabajo de graduación se tomará como punto de entrega el punto accesible más cercano al punto donde se instalará el poste, es decir, que el proveedor deberá transportar la misma distancia tanto los postes de concreto como los postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero.

4.3.2.1. Cálculo de distancias

Para realizar el cálculo de las distancias de entrega de cada poste y la ubicación final de cada poste se realizó un levantamiento según el diseño de la línea de transmisión Guate Este – Rodríguez Briones. Para ello se utilizó el programa *Google Earth*.

En la figura 34 se muestra el trazo completo de la línea en vista de planta.

Figura 34. Vista satelital de trazo de línea de transmisión Guate Este – Rodríguez Briones



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana. Registro geográfico de la red de transporte.

Se realizó un recorrido de la línea buscando los puntos accesibles más cercanos para la entrega de postes y utilizando el programa *Google Earth*, se calcularon las distancias para cuantificar el costo del traslado de cada poste. Estas distancias se muestran en la tabla XLIX:

Tabla XLIX. **Distancias aproximadas para traslado de postes.**

Estructura No.	Distancia al punto accesible más próximo (m)
3	0
3A	52
4	60
5	0
6	99
7	108
7A	160
8	198
9	221
10	398
11	86
12	185
13	0
14	35
15	85
16 y 17	0
18	23
19	0

Fuente: elaboración propia.

4.3.2.2. Costos de traslado de postes

En las tablas L y LI se muestran los costos de transporte de cada poste, desde el punto de entrega hasta el punto de instalación.

Tabla L. **Costos de traslado de postes de concreto centrifugado.**

Estructura No.	Cantidad de estructuras	Altura (m)	Clase (lb)	Distancia al punto accesible más próximo (m)	Costo de traslado por cada metro	Costo total por traslado
3	2	27	10000	0	Q137,45	Q0,00
3A	1	24	4000	52	Q75,42	Q3 921,84
4	2	21	3000	60	Q55,84	Q6 700,80
5	1	21	6000	0	Q75,42	Q0,00
6	2	21	4000	99	Q55,84	Q11 056,32
7	2	24	4000	108	Q75,42	Q16 290,72
7A	1	21	3500	160	Q55,84	Q8 934,40
8	2	21	3000	198	Q55,84	Q22 112,64
9	1	24	4000	221	Q75,42	Q16 667,82
10	2	30	4000	398	Q185,56	Q147 705,76
11	1	18	4000	86	Q55,84	Q4 802,24
12	2	21	5000	185	Q75,42	Q27 905,40
13	1	24	4000	0	Q75,42	Q0,00
14	1	18	3500	35	Q55,84	Q1 954,40
15	2	24	4000	85	Q75,42	Q12 821,40
16 y 17	2	21	2500	0	Q55,84	Q0,00
18	2	21	2500	23	Q55,84	Q2 568,64
19	2	24	7000	0	Q137,45	Q0,00
					Total	Q283 442,38

Fuente: elaboración propia

Tabla LI. **Costos de traslado de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero**

Estructura No.	Cantidad de estructuras	Altura (m)	Clase (lb)	Distancia al punto accesible más próximo (m)	Costo de traslado por cada metro	Costo total por traslado
3	2	27	10 000	0	Q19,41	Q0,00
3A	1	24	4 000	52	Q10,65	Q553,90
4	2	21	3 000	60	Q7,89	Q946,38
5	1	21	6 000	0	Q10,65	Q0,00
6	2	21	4 000	99	Q7,89	Q1 561,53
7	2	24	4 000	108	Q10,65	Q2 300,80
7A	1	21	3 500	160	Q7,89	Q1 261,84
8	2	21	3 000	198	Q7,89	Q3 123,06
9	1	24	4 000	221	Q10,65	Q2 354,06
10	2	30	4 000	398	Q26,21	Q20 861,08
11	1	18	4 000	86	Q7,89	Q678,24
12	2	21	5 000	185	Q10,65	Q3 941,19
13	1	24	4 000	0	Q10,65	Q0,00
14	1	18	3 500	35	Q7,89	Q276,03
15	2	24	4 000	85	Q10,65	Q1 810,82
16 y 17	2	21	2 500	0	Q7,89	Q0,00
18	2	21	2 500	23	Q7,89	Q362,78
19	2	24	7 000	0	Q19,41	Q0,00
					Total	Q40 031,70

Fuente: elaboración propia

4.3.3. Izado de postes

Una vez ubicado cada poste, sea de concreto centrifugado o de compuesto de fibra reforzado con material polímero, se procederá con el izado del mismo.

Previo a esto se debió haber realizado la perforación del agujero y elaboración de cimentaciones, según sea el caso. Los costos de mano de obra de izado de poste varían dependiendo la dificultad de la instalación, la cual varía dependiendo las facilidades de acceso para una grúa y lógicamente por el peso y altura de cada poste siendo más pesados los postes de concreto de mayor clase y mucho más livianos los postes de compuesto de fibra.

En la tabla LII se presentan los costos de mano de obra para el izado de cada poste ya ubicado en el punto de instalación.

Tabla LII. Costo de izado de postes de concreto centrifugado

Estructura No.	Cantidad de estructuras	Altura (m)	Clase (lb)	Costo unitario de instalación	Costo total de instalación
3	2	27	10 000	Q16 588,75	Q33 177,50
3A	1	24	4 000	Q7 171,40	Q7 171,40
4	2	21	3 000	Q6 205,40	Q12 410,80
5	1	21	6 000	Q12 410,80	Q12 410,80
6	2	21	4 000	Q6 205,40	Q12 410,80
7	2	24	4 000	Q7 171,40	Q14 342,80
7A	1	21	3 500	Q6 205,40	Q6 205,40
8	2	21	3 000	Q6 205,40	Q12 410,80
9	1	24	4 000	Q7 171,40	Q7 171,40
10	2	30	4 000	Q22 497,45	Q44 994,90
11	1	18	4 000	Q4 521,80	Q4 521,80
12	2	21	5 000	Q6 205,40	Q12 410,80
13	1	24	4 000	Q7 171,40	Q7 171,40
14	1	18	3 500	Q4 521,80	Q4 521,80
15	2	24	4 000	Q7 171,40	Q14 342,80
16 y 17	2	21	2 500	Q6 205,40	Q12 410,80
18	2	21	2 500	Q6 205,40	Q12 410,80
19	2	24	7 000	Q9 200,00	Q18 400,00
				total	Q248 896,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. Costo de izado de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero

Estructura No.	Cantidad de estructuras	Altura (m)	Costo unitario de instalación	Costo total de instalación
3	2	Poste especial	Q13 859,29	Q27 718,58
3A	1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q5 991,44	Q5 991,44
4	2	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q5 184,38	Q10 368,77
5	1	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q10 368,77	Q10 368,77
6	2	RSP-0700-F-0509-C-0000-GY-004	Q5 184,38	Q10 368,77
7	2	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q5 991,44	Q11 982,88
7A	1	RSP-0700-F-0509-C-0000-GY-004	Q5 184,38	Q5 184,38
8	2	RSP-0700-F-0307-C-0000-GY-002	Q5 184,38	Q10 368,77
9	1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q5 991,44	Q5 991,44
10	2	RSP-1000-F-0511-C-0000-GY-008	Q18 795,79	Q37 591,58
11	1	RSP-0600-F-0407-C-0000-GY-000	Q3 777,80	Q3 777,80
12	2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-006	Q5 184,38	Q10 368,77
13	1	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q5 991,44	Q5 991,44
14	1	RSP-0600-F-0709-C-0000-GY-001	Q3 777,80	Q3 777,80
15	2	RSP-0800-F-0509-C-0000-GY-008	Q5 991,44	Q11 982,88
16 y 17	2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-007	Q5 184,38	Q10 368,77
18	2	RSP-0700-F-0711-C-0000-GY-007	Q5 184,38	Q10 368,77
19	2	Poste especial	Q7 686,26	Q15 372,52
			total	Q207 944,09

Fuente: elaboración propia.

4.4. Comparación de aspectos técnicos

Como todo proyecto de construcción, en este caso de líneas de transmisión de 69 kV, es necesario realizar una comparación de los aspectos técnicos que limitan o facilitan la ejecución del mismo, en éste caso se compararán únicamente los aspectos técnicos propios de la utilización de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero, fabricados por la empresa canadiense RStandard, en sustitución de postes convencionales de madera, acero y concreto centrifugado.

4.4.1. Comparación de productos RStandard contra estructuras comúnmente utilizadas

Los postes de RStandard son hechos de resinas de poliuretano combinados con fibra de vidrio, manufacturados con su propia tecnología de fabricación, estas resinas producen un excepcionalmente duro, durable y ligero compuesto. Este compuesto tiene una fuerza específica de cerca de diez veces mayor que la del acero, lo que da a los postes RStandard más alta resistencia-peso de cualquier otro poste en el mercado.

En la figura 35 se puede apreciar una comparación de fuerzas específicas entre los materiales comúnmente utilizados para la fabricación de postes y los postes de compuesto de fibra RStandard.

Figura 35. Comparación de fuerza específica



Fuente: http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html. Consultado el 15 de octubre de 2011.

En la figura 36 se puede apreciar una comparación de peso de un poste de 75 pies de altura con una resistencia al momento de 22,8 kg aplicados a 1 pie, medido desde la punta. En esta ocasión se comparan postes fabricados con los materiales comúnmente utilizados con los postes de compuesto de fibra RStandard.

Figura 36. **Comparación de peso**

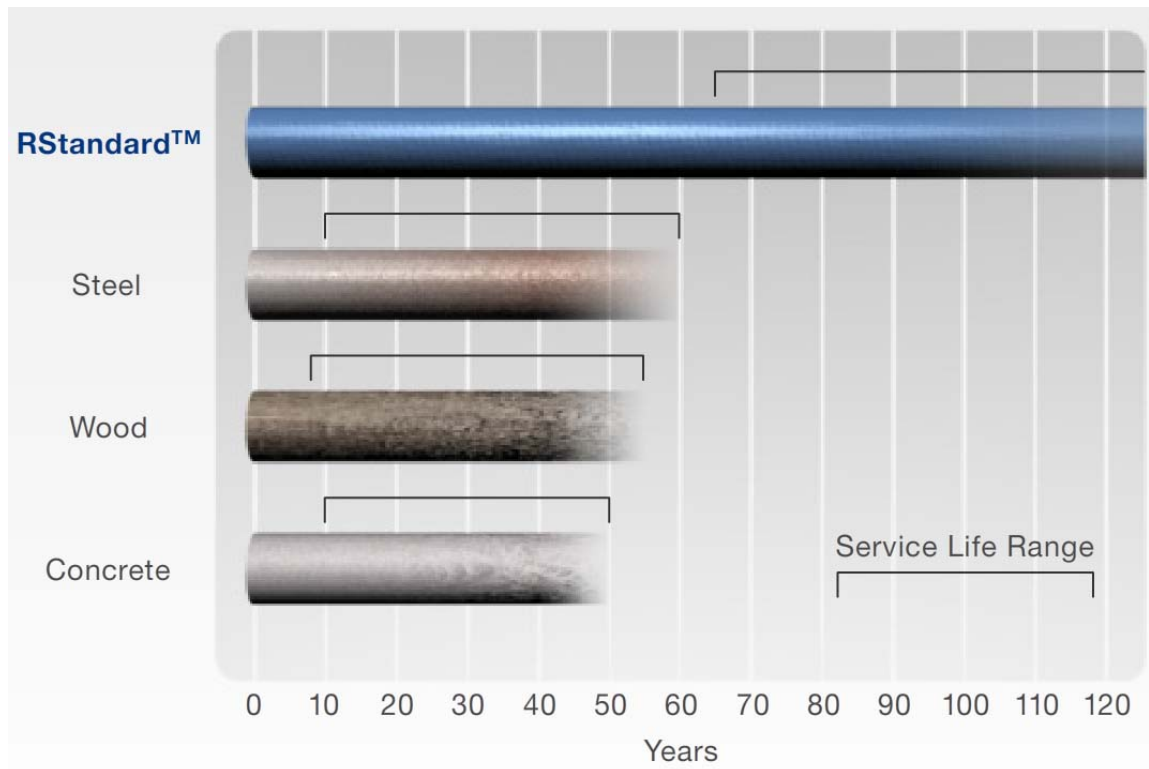


Fuente: http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html. Consultado el 15 de octubre de 2011.

La vida útil de una línea de transmisión la determinan la vida útil de sus componentes, la cual a su vez, está determinada por las condiciones de servicio y atmosféricas a las cuales estarán sometidos todos sus componentes.

En la figura 37 se puede apreciar una comparación de la vida útil entre los materiales comúnmente utilizados para la fabricación de postes y los postes de compuesto de fibra RStandard.

Figura 37. Comparación de tiempo de vida útil de postes



Fuente: http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html. Consultado el 15 de octubre de 2011.

El compuesto específico RStandard también puede absorber muchas veces más la energía de deformación elástica que materiales tradicionales como la madera, acero y concreto. Como consecuencia de ello, los postes RStandard son mucho más propensos a sobrevivir situaciones de alta carga, como las tormentas violentas que las alternativas convencionales.

En la figura 38 se puede apreciar la deformación, tanto de los postes RStandard, como la de un poste de concreto centrifugado durante las pruebas de ruptura.

Figura 38. **Deformación elástica de postes durante pruebas de ruptura**



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana. Pruebas de ruptura de rutina.

El compuesto RStandard es hidrofóbico, no se pudre ni se corroe. Debido a que es no conductor y ligero, los productos a base de compuestos RStandard son más seguros de usar y menos costosos para el transporte. RStandard integra resina alifática en las capas externas de los productos con lo cual ofrece protección permanente UV.

El compuesto específico RStandard también funciona bien en ambientes fríos y calientes. Las pruebas han demostrado que funciona eficazmente en temperaturas que oscilan entre $-76\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $167\text{ }^{\circ}\text{F}$ (-600 a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$). También tiene un muy bajo coeficiente de expansión térmica, lo que evita que una gran cantidad de problemas, tales como las fracturas por estrés, a la que materiales convencionales son susceptibles. Los productos a base de compuestos RStandard son auto-extinguibles, incluso durante la exposición sostenida al fuego.

Los mayores beneficios que provee el compuesto RStandard son sus ventajas medioambientales. Sus procesos de manufactura no liberan compuestos orgánicos volátiles (COV) o contaminantes atmosféricos peligrosos (HAPs).

Para que el valor ambiental del uso de productos RStandard tenga un enfoque claro, es útil citar un ejemplo tal como expresa el hecho de que más de 20 000 000 de árboles que se talan en todo el mundo cada año para hacer postes de electricidad. Para agravar el inmenso daño causado por tales deforestación a gran escala es el hecho de que los postes de madera debe estar saturado conservantes químicos venenosos, que a su vez contaminan el suelo circundante y el agua, y hacen que la eliminación de la madera de postes que han llegado al final de su servicio de corta vida sea difícil y costoso. Este daño ambiental no sucediera si los postes RStandard se utilizaran.

El diseño modular único de los postes RStandard, y el peso ligero de los compuestos de poliuretano ultra-fuerte, se combinan para reducir dramáticamente los costos normalmente asociados con el transporte, instalación, almacenamiento y mantenimiento.

Dado que los módulos que comprenden los postes RStandard se pueden anidar, uno dentro del otro, para formar paquetes compactos, requieren mucho menos espacio de almacenamiento. Los inventarios requeridos también se reducen muy considerablemente por el hecho notable de que un único conjunto de ocho módulos RStandard diferentes se puede utilizar para construir un polo que contengan cualquiera de las especificaciones diferentes de hasta 120 pies (36,58 m) de altura y que abarca casi todas las normas de clase de poste.

La construcción modular y la reducción de peso de los Postes RStandard también hacen posible la eficiencia mucho mayor en el uso de remolques de longitud estándar. Esto elimina el papeleo, demora, gastos y adicionales asociados con el uso de equipos de gran tamaño. Los postes RStandard también pueden ser transportados y almacenados en contenedores intermodales, postes de distribución en contenedores de 20 pies y postes de transmisión en contenedores de 40 pies.

Figura 39. **Comparación de transporte de postes**



Fuente: http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html. Consultado el 15 de octubre de 2011.

Para envíos internacionales o de despliegue rápido de las zonas de desastre, pequeños helicópteros son suficientes para la entrega de polos RStandard a lugares difíciles.

El peso ligero de los polos RStandard también aumenta la flexibilidad y reduce los costos de instalación. Equipo más liviano puede ser utilizado, y la mayoría de los módulos RStandard puede llevarse en la mano por los trabajadores al lugar de instalación. Y en la marcha, los cambios de diseño a la altura del poste y la clase se acomodan fácilmente al cambiar la selección de los módulos.

Figura 40. **Movilización e instalación**



Fuente: http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html. Consultado el 15 de octubre de 2011.

4.4.2. Ventajas y desventajas

A continuación se presenta un listado de las principales ventajas y desventajas técnicas de la utilización de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero comparado con la utilización de postes de concreto centrifugado.

- Ventajas:
 - Diseño Modular.
 - Estructuras de igual altura y clase mucho más livianas.
 - Estructuras con más larga vida útil.
 - Mayor deformación elástica.
 - Pueden ser perforados con facilidad.
 - Material reciclable.
 - Reducción de impacto ambiental.

- Desventajas:
 - Menor resistencia al impacto.
 - Es necesario un kit y herrajes especiales para ensamblar los módulos.
 - Superficie lisa (dificulta el ascenso con manead).
 - Diámetro de estructura mayor (dificulta ascenso con manead e implica utilización de herrajes de fijación mucho más grandes).

4.5. Comparación económica

A continuación se muestra un resumen de los costos totales de estructuras, envío, traslado e instalación tanto de postes de concreto centrifugado como de compuesto de fibra.

Tabla LIV. **Costos de proyecto utilizando postes de concreto centrifugado**

Estructura	Cantidad de	estructura	envío	traslado	izado
3	2	Q175 482,50	Q20 368,50	Q0,00	Q33 177,50
3A	1	Q32 511,27	Q5 092,13	Q3 921,84	Q7 171,40
4	2	Q34 469,78	Q10 184,25	Q6 700,80	Q12 410,80
5	1	Q38 386,80	Q5 092,13	Q0,00	Q12 410,80
6	2	Q39 170 20	Q10 184,25	Q11 056,32	Q12 410,80
7	2	Q65 022,53	Q10 184,25	Q16 290,72	Q14 342,80
7A	1	Q18 409,99	Q5 092,13	Q8 934,40	Q6 205,40
8	2	Q34 469,78	Q10 184,25	Q22 112,64	Q12 410,80
9	1	Q32 511,27	Q5 092,13	Q16 667,82	Q7 171,40
10	2	Q83 824,23	Q10 184,25	Q147 705,76	Q44 994,90
11	1	Q7 834,04	Q5 092,13	Q4 802,24	Q4 521,80
12	2	Q50 180,94	Q10 184,25	Q27 905,40	Q12 410,80
13	1	Q32 511,27	Q5 092,13	Q0,00	Q7 171,40
14	1	Q10 575,95	Q5 092,13	Q1 954,40	Q4 521,80
15	2	Q65 022,53	Q10 184,25	Q12 821,40	Q14 342,80
16 y 17	2	Q32 119,56	Q10 184,25	Q0,00	Q12 410,80
18	2	Q32 119,56	Q10 184,25	Q2 568,64	Q12 410,80
19	2	Q88 524,65	Q10 184,25	Q0,00	Q18 400,00
subtotales		Q873 146,85	Q157 855,91	Q283 442,38	Q248 896,80
total proyecto		Q1 563 341,93			

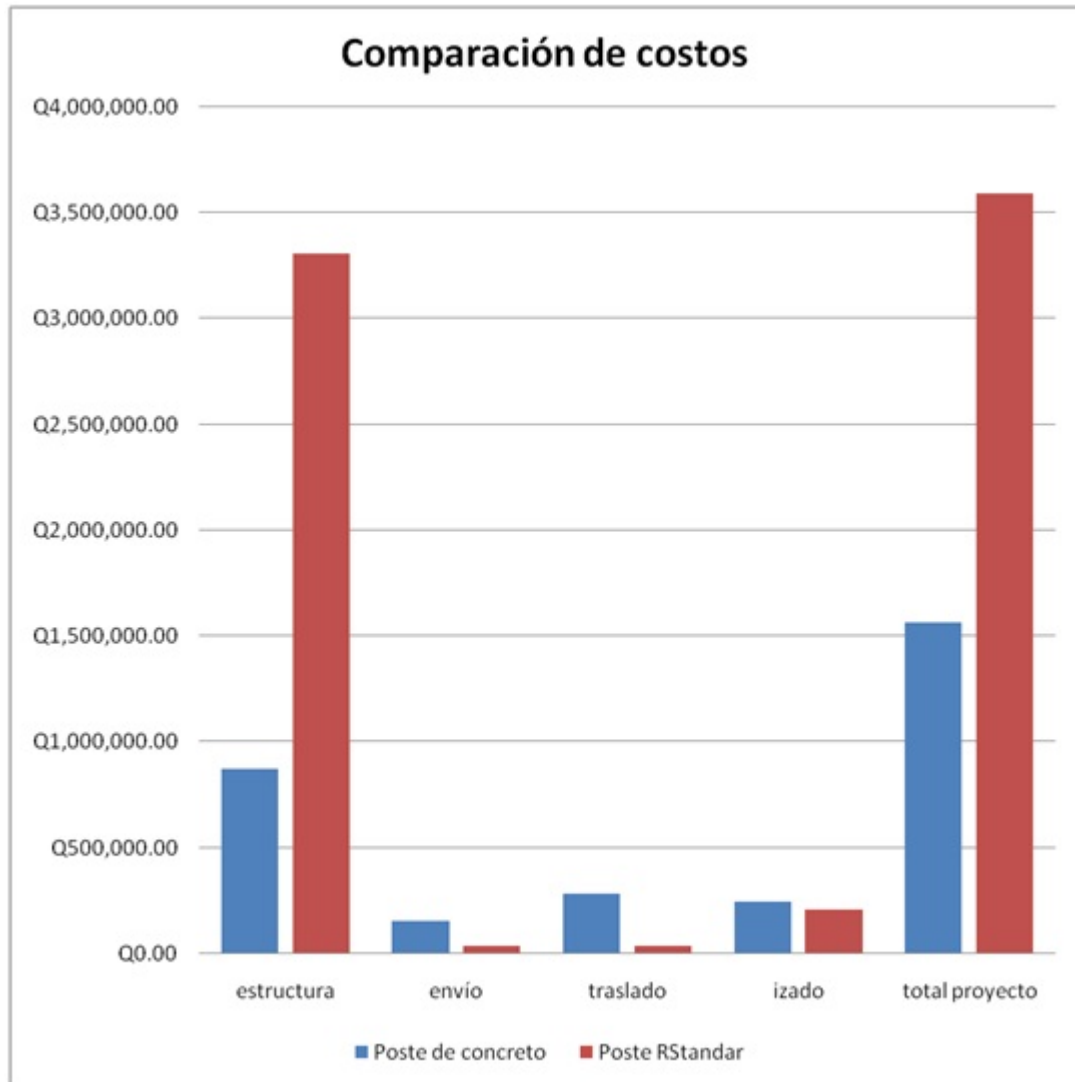
Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Costos de proyecto utilizando postes de compuesto de fibra RStandard**

Estructura No.	Cantidad de estructuras	estructura	envío	traslado	izado
3	2	Q621 065,27	Q5 621,71	Q0,00	Q27 718,58
3A	1	Q96 688,74	Q702,71	Q553,90	Q5 991,44
4	2	Q132 833,46	Q2 810,85	Q946,38	Q10 368,77
5	1	Q66 416,73	Q702,71	Q0,00	Q10 368,77
6	2	Q193 377,47	Q2 810,85	Q1 561,53	Q10 368,77
7	2	Q193 377,47	Q2 810,85	Q2 300,80	Q11 982,88
7A	1	Q96 688,74	Q702,71	Q1 261,84	Q5 184,38
8	2	Q132 833,46	Q2 810,85	Q3 123,06	Q10 368,77
9	1	Q96 688,74	Q702,71	Q2 354,06	Q5 991,44
10	2	Q310 582,63	Q2 810,85	Q20 861,08	Q37 591,58
11	1	Q58 602,58	Q702,71	Q678,24	Q3 777,80
12	2	Q283 236,64	Q2 810,85	Q3 941,19	Q10 368,77
13	1	Q96 688,74	Q702,71	Q0,00	Q5 991,44
14	1	Q83 015,74	Q702,71	Q276,03	Q3 777,80
15	2	Q193 377,47	Q2 810,85	Q1 810,82	Q11 982,88
16 y 17	2	Q283 236,64	Q2 810,85	Q0,00	Q10 368,77
18	2	Q283 236,64	Q2 810,85	Q362,78	Q10 368,77
19	2	Q386 754,94	Q2 810,85	Q0,00	Q15 372,52
subtotales		Q3 608 802,10	Q38 649,24	Q40 031,70	Q207 944,09
total proyecto		Q3 895 427,13			

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Gráfica comparativa de costos totales del proyecto

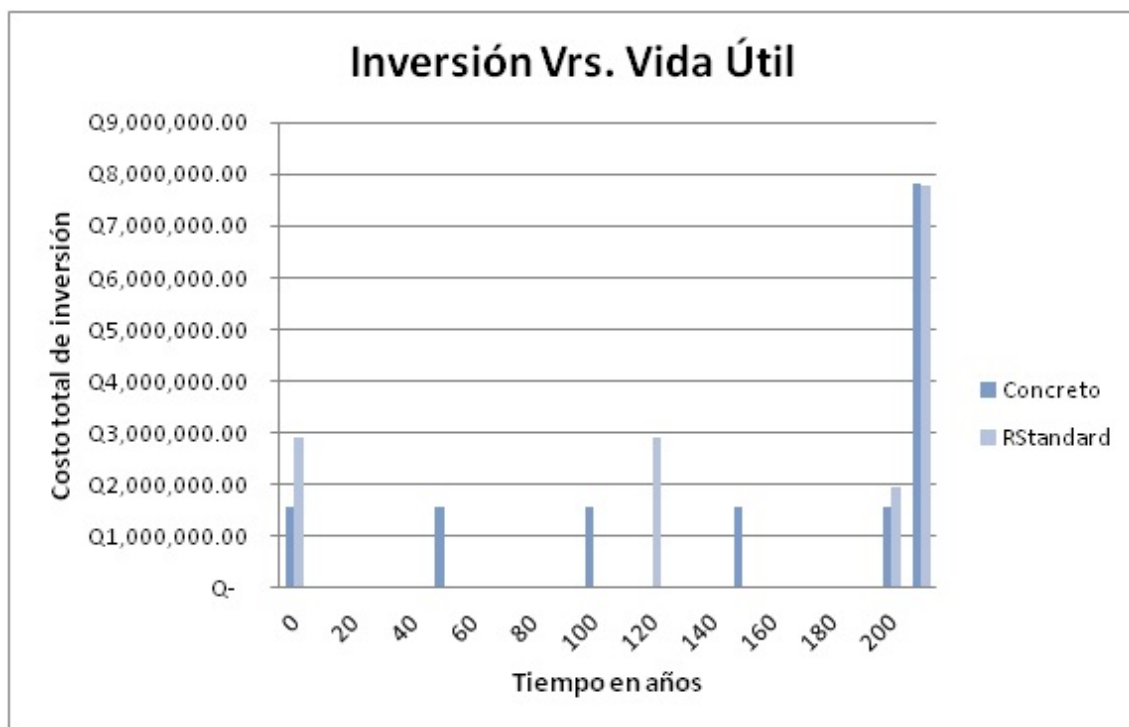


Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, el costo total del proyecto utilizando postes de compuesto RStandard supera en un 249% el costo del mismo utilizando postes de concreto centrifugado, siendo el costo de la estructura el dato más significativo para el costo total del proyecto.

Sin embargo, si se toma en cuenta que la vida útil máxima de un poste de compuesto de fibra reforzado (120 años) es 2.4 veces mayor a la vida útil de un poste de concreto centrifugado (50 años), el costo de reposición de la línea se reducirá en el primer caso.

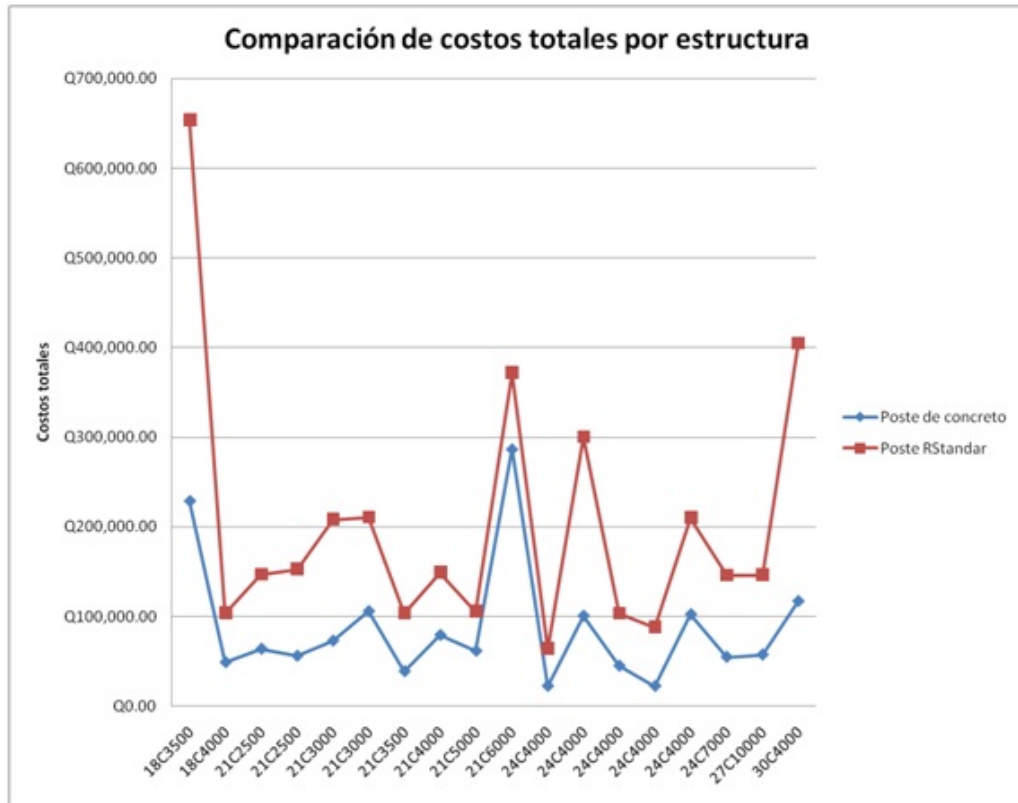
Figura 42. **Comparación de inversión contra vida útil**



Fuente: elaboración propia.

A continuación se realiza un análisis por estructura con el fin apreciar el comportamiento de los costos de las estructuras al incrementarse la altura y clase de los mismos.

Figura 43. Gráfica comparativa de costos por estructura



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la comparación por estructuras, la variación en el costo de cada estructura es mucho más grande en postes de mayor clase sin importar su altura.

Como se ha podido observar, el costo total del proyecto está complementado por costos fijos y costos variables, siendo costos fijos el costo de estructura, costos de envío, costo de izado de postes y como costo variable se tiene únicamente el costo de traslado del poste desde el punto más accesible (punto de entrega) hasta el punto de instalación del mismo, ya que este dependerá de la distancia que se trasladará cada poste.

Se puede modificar este valor variable (distancia de traslado) para encontrar la distancia de traslado a la cual el costo total del proyecto construido con postes de compuesto de resina sea igual al costo del proyecto construido con postes de concreto centrifugado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos, de los cuales se puede concluir y generalizar que la utilización de postes de compuesto de resina puede competir en costos contra la utilización de postes de concreto solamente cuando las distancias de traslado son mayores a 1 000 m.

Tabla LVI. Distancia de traslado necesaria para igualar costos

Estructura	Cantidad de	Altura	Clase	distancia	distancia	diferencia de
3	2	27	10 000	0,00	1 802,30	Q 0,00
3A	1	24	4 000	52,00	904,89	Q 0,00
4	2	21	3 000	60,00	927,44	Q 0,00
5	1	21	6 000	0,00	1 494,56	Q 0,00
6	2	21	4 000	99,00	1 509,71	Q 0,00
7	2	24	4 000	108,00	915,74	Q 0,00
7A	1	21	3 500	160,00	1 519,56	Q 0,00
8	2	21	3 000	198,00	927,44	Q 0,00
9	1	24	4 000	221,00	904,89	Q 0,00
10	2	30	4 000	398,00	665,13	Q 0,00
11	1	18	4 000	86,00	951,65	Q 0,00
12	2	21	5 000	185,00	1 726,47	Q 0,00
13	1	24	4 000	0,00	904,89	Q 0,00
14	1	18	3 500	35,00	1 403,58	Q 0,00
15	2	24	4 000	85,00	915,74	Q 0,00
16 y 17	2	21	2 500	0,00	951,95	Q 0,00
18	2	21	2 500	23,00	951,95	Q 0,00
19	2	24	7 000	0,00	1 219,23	Q 0,00

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestra una gráfica comparativa del costo de ambos proyectos incrementando las distancias según la tabla LVI, con el fin de obtener una mejor visualización, la gráfica de costos de poses RStandard está desplazada Q10 000,00 sobre el eje de costos totales.

Figura 44. **Gráfica de costos con distancias de traslado modificada**



Fuente: elaboración propia.

4.5.1. Ventajas y desventajas

A continuación se presenta un listado de las principales ventajas y desventajas económicas de la utilización de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero RStandard, comparado con la utilización de postes de concreto centrifugado.

- Ventajas:
 - Menor costo de envío
 - Menor costo de traslado
 - Menor costo de almacenaje
 - Menor costo de instalación
 - Menor costo de mantenimiento correctivo

- Desventajas:
 - Costo de estructura un promedio aproximado de cuatro veces mayor.
 - Costo de herraje extra para ensamblar los módulos.

CONCLUSIONES

1. Debido a las muchas ventajas técnicas que los postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero ofrecen sobre los postes de concreto centrifugado, la implementación de dichas estructuras es la mejor alternativa, desde el punto de vista técnico, para la repotenciación de la línea de transmisión de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones.
2. La mejor alternativa, desde el punto de vista económico, para la repotenciación de la línea de transmisión de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones dependerá de la vida útil estimada de la línea, siendo la utilización de postes de concreto centrifugado la mejor alternativa para una vida útil estimada menor a 200 años, mientras que la utilización de postes de compuesto de fibra reforzados con material polímero es la mejor alternativa para una vida útil estimada mayor a 200 años.
3. Debido a las ventajas en peso y al diseño modular, que los postes RStandard ofrecen sobre los postes de concreto centrifugado, para la construcción de líneas de transmisión ubicadas en terrenos montañosos, la utilización de postes RStandard será la mejor alternativa cuando se tenga que trasladar las estructuras una distancia promedio de 1 145 m, desde el punto accesible más cercano hasta el punto de instalación.
4. La utilización de postes RStandard, optimiza los tiempos de ejecución de una línea de transmisión sobre terreno montañoso, debido a su poco peso y a su diseño modular que facilita el traslado e instalación de los mismos.

5. Debido a su bajo costo de almacenaje, es posible almacenar módulos RStandard de reserva para futuros mantenimientos; esto y su facilidad de traslado e instalación, optimiza los tiempos de reposición de una línea cuya falla ha sido provocada por daños a los apoyos de la misma.

RECOMENDACIONES

1. Para diseños de líneas sobre terrenos montañosos, con longitudes de vanos considerablemente grandes, si se desea utilizar postes de compuesto de fibra reforzada con material polímero RStandard, se deberá evaluar detalladamente la resistencia mecánica en los puntos de sujeción, tanto de los postes RStandard, como de los aisladores y herrajes.
2. Para minimizar costos de construcción se recomienda utilizar postes en configuración H, ya sea con dos postes o tres, para sustituir las estructuras de clases elevadas y alturas mayores a 24 metros.
3. En lugares donde se tengan problemas de vandalismo, se deberá instalar la bajada a tierra por la superficie exterior del poste RStandard, y no por el hueco interior, como se acostumbra en los postes de concreto centrifugado, ya que en determinado momento, la estructura puede llegar a ser dañada, premeditadamente, con el objetivo de hurtar el conductor de bajada a tierra.
4. Para estructuras de clases mayores a 3000 libras fuerza, se deberá realizar un estudio de suelos para diseñar la cimentación necesaria para cada poste.
5. Al instalar estructuras a la orilla de calles con tránsito vehicular, se deberán instalar protectores o defensas para disminuir la probabilidad de daños a las estructuras, ya sean de compuesto RStandard o cualquier otro tipo de estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOJ DE LEÓN, Edgar Ubaldo. *Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 133 p.
2. Comisión federal de electricidad. *Coordinación de aislamiento*. México: CFE, 1987. 112 p.
3. Comisión nacional de energía eléctrica. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución -NTDOID-*. Resolución CNEE No. 47-99. Guatemala: CNEE, 1999. 54 p.
4. _____. *Normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte de energía eléctrica -NTDOST-*. Resolución CNEE No. 49-99. Guatemala: CNEE, 1999. 12 p.
5. Conductores AAAC [en línea]. Disponible en <http://www.centelsa.com.co/descargar.php?f=userfiles/catalogos/aaac.pdf>. Consulta: 8 de octubre de 2011.
6. National Electrical Safety Code. *ANSI 1992*. Estados Unidos: NESC, 1992.
7. *Niveles Isoceráunicos de Guatemala* [en línea]. [ref. 5 octubre 2011]. Disponible en Web: <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm>.

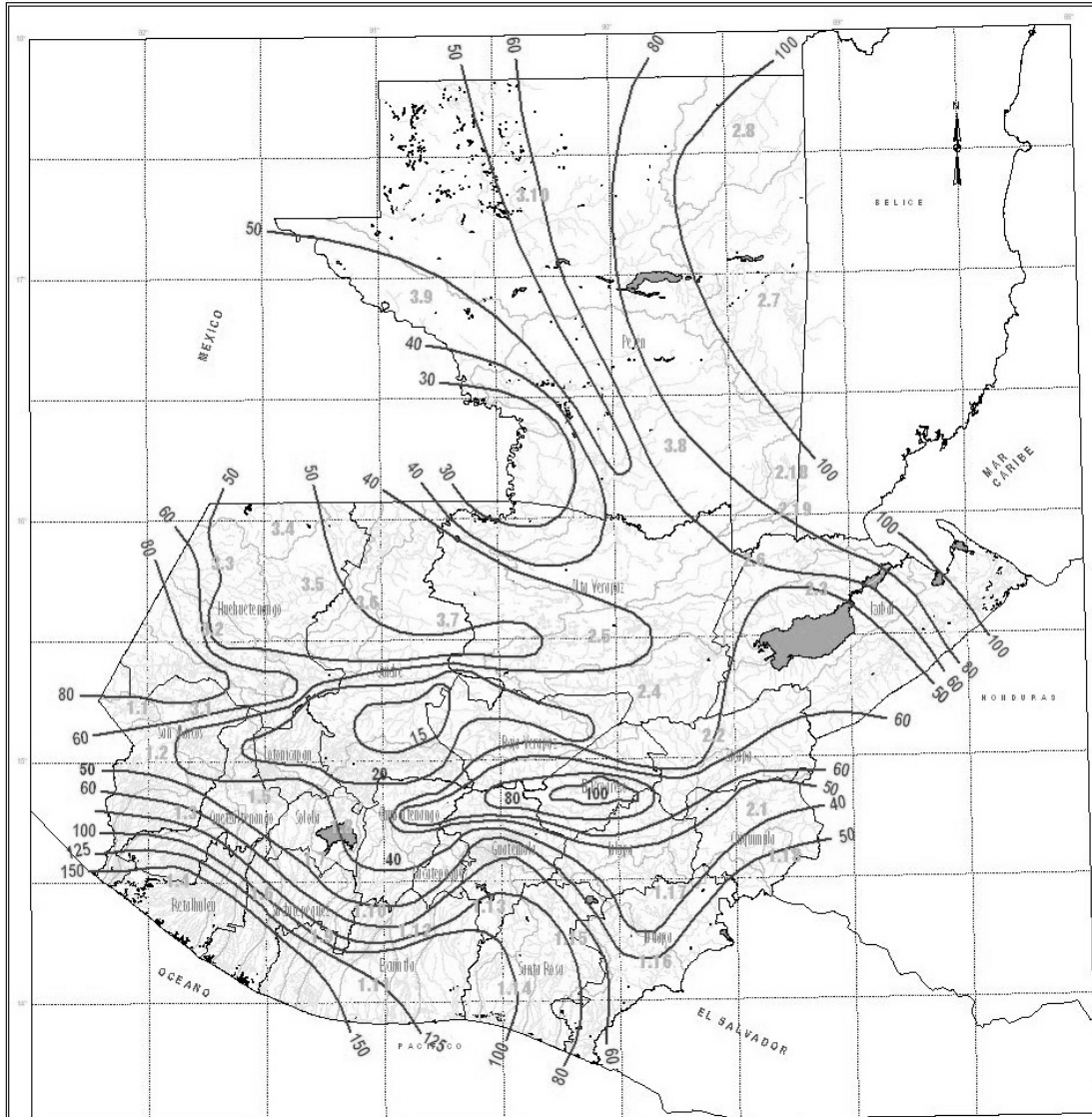
8. RSTANDARD COMPOSITE UTILITY POLES, RESIN SYSTEMS INC.
Descripción de pruebas. Canadá: RStandard, 2010. 22 p.
9. _____. *Especificaciones técnicas*. Canadá: RStandard, 2010. 16 p.
10. _____. *Guía de herramientas*. Canadá: RStandard, 2010. 11 p.
11. _____. *Guía de instalación*. Canadá: RStandard, 2010. 19 p.
12. _____. *Hoja de datos*. Canadá: RStandard, 2010. 107 p.
13. _____. *Preguntas frecuentes*. Canadá: RStandard, 2010. 11 p.
14. Transportista eléctrica centroamericana. *Diseño de la línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones*. Guatemala: Trelec, 2010. 42 p.
15. Utility products [en línea]. [ref. 5 de septiembre de 2011]. Disponible en Web: <http://www.grouprsi.com/products/utilityProducts/poles_overview.html>.

ANEXOS

- Anexo 1. Niveles isoceráunicos de Guatemala.
- Anexo 2. Estructuras compactas consideradas en el diseño.
- Anexo 3. Zonas de viento y temperatura de Guatemala.
- Anexo 4. Planos en planta y perfil.

ANEXO 1

Mapa de niveles isoceráunicos de Guatemala



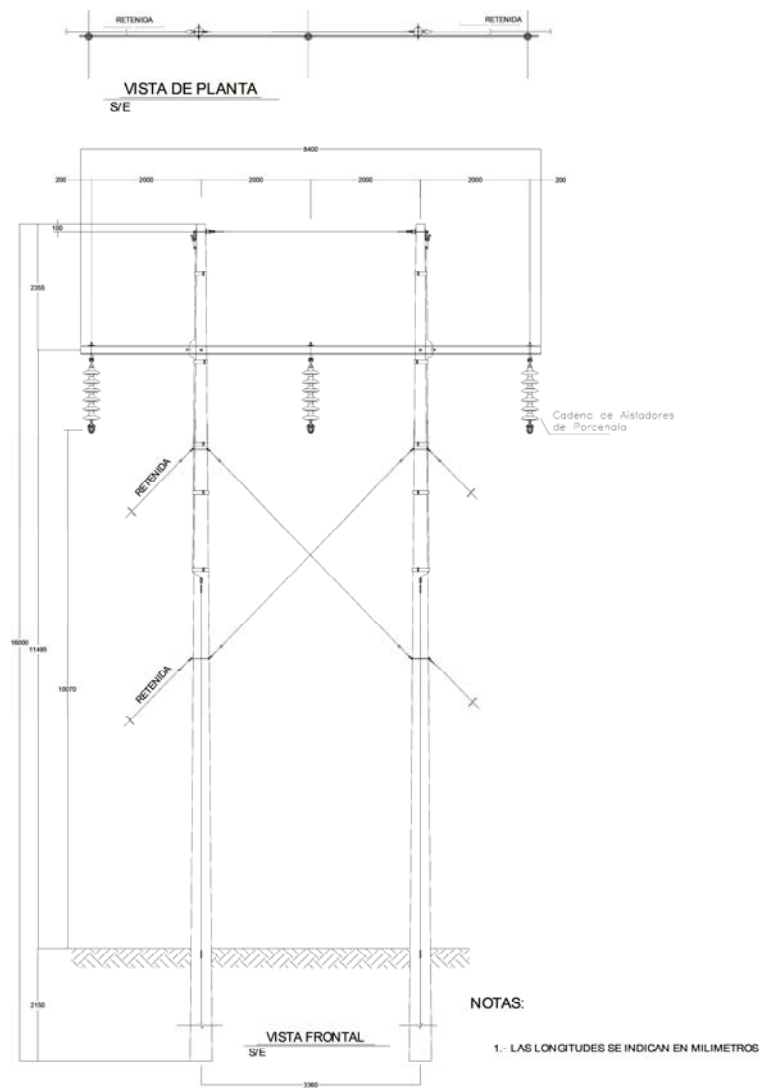
Fuente: Niveles Isoceráunicos De Guatemala.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm.

Consultado el 18 de octubre de 2011.

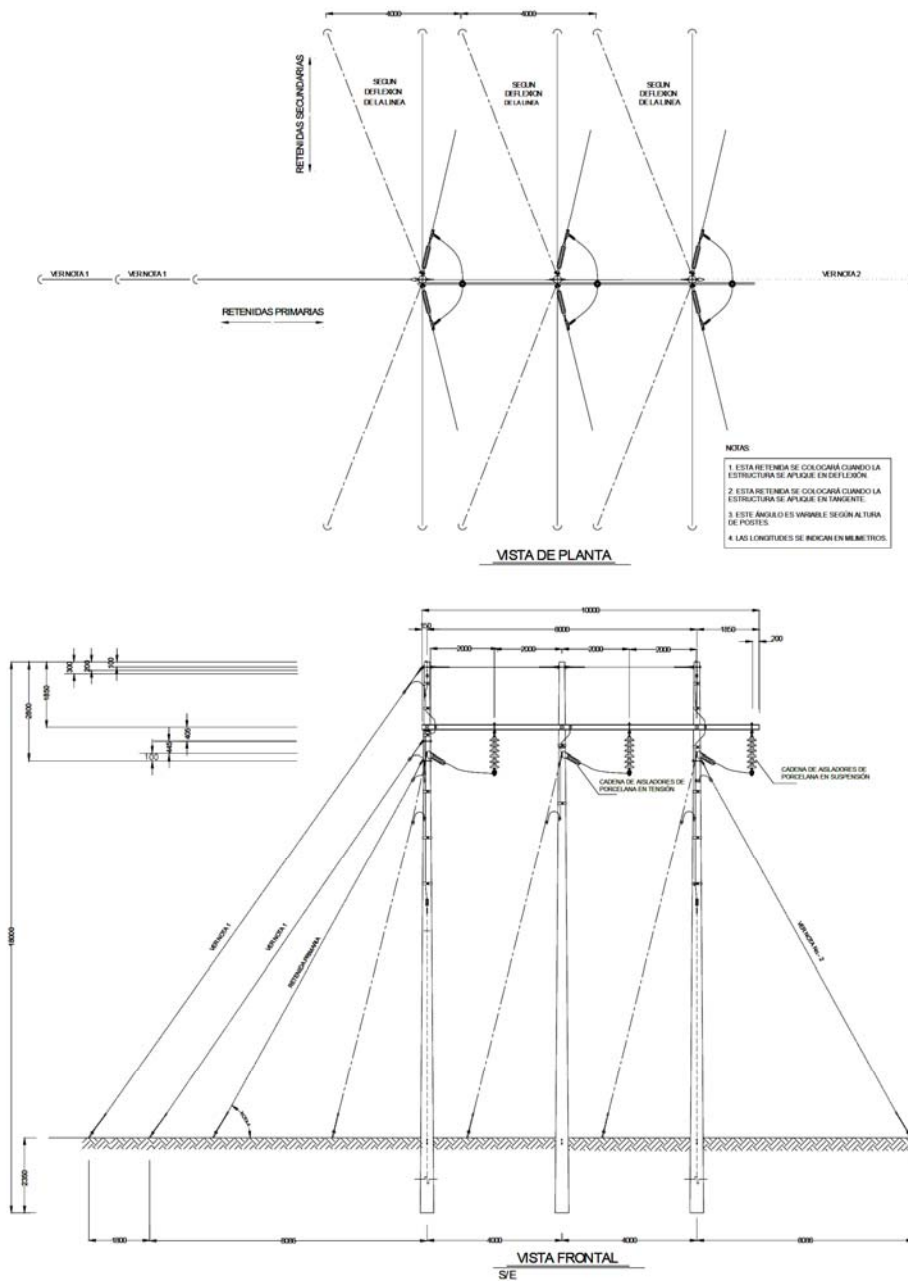
ANEXO 2

Estructura convencional tipo III, deflexión 0°, vano máximo 200 m., en terreno plano.



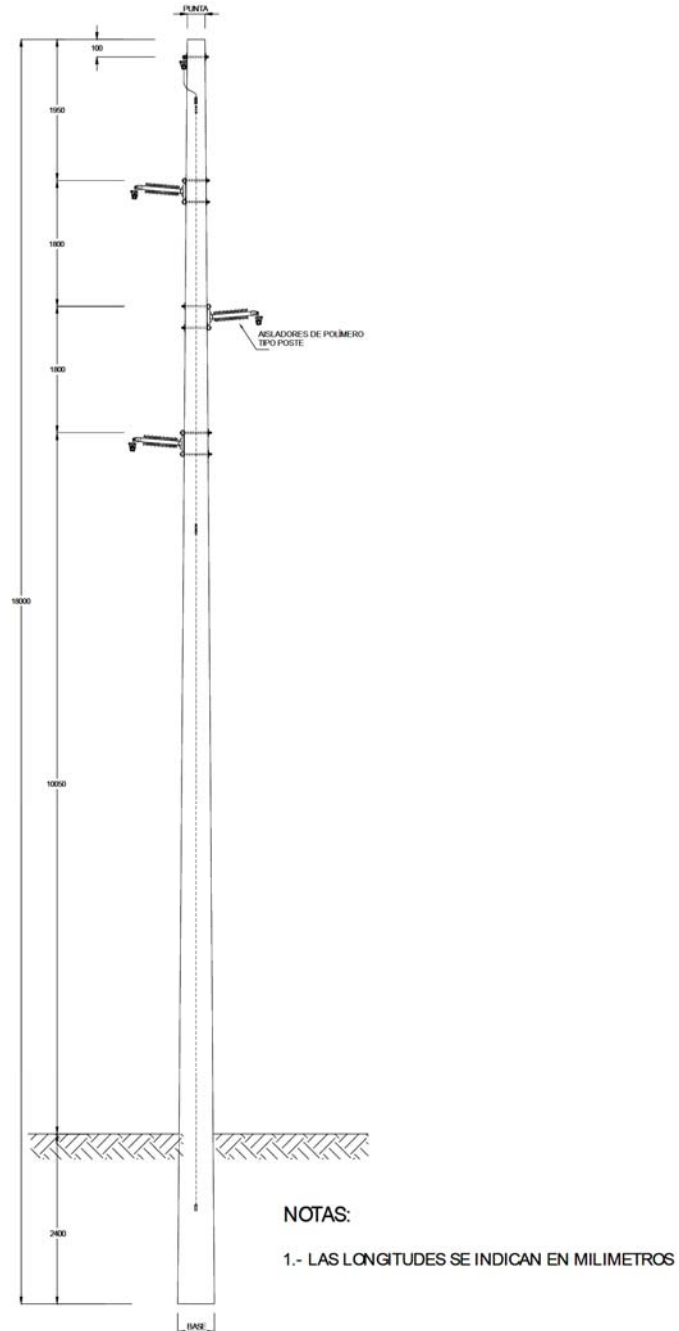
Fuente: Edgar Ubaldo Boj De León. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. Pág. 123.

Estructura convencional tipo IV, deflexión 0° - 90°, vano máximo 225 m., en terreno plano



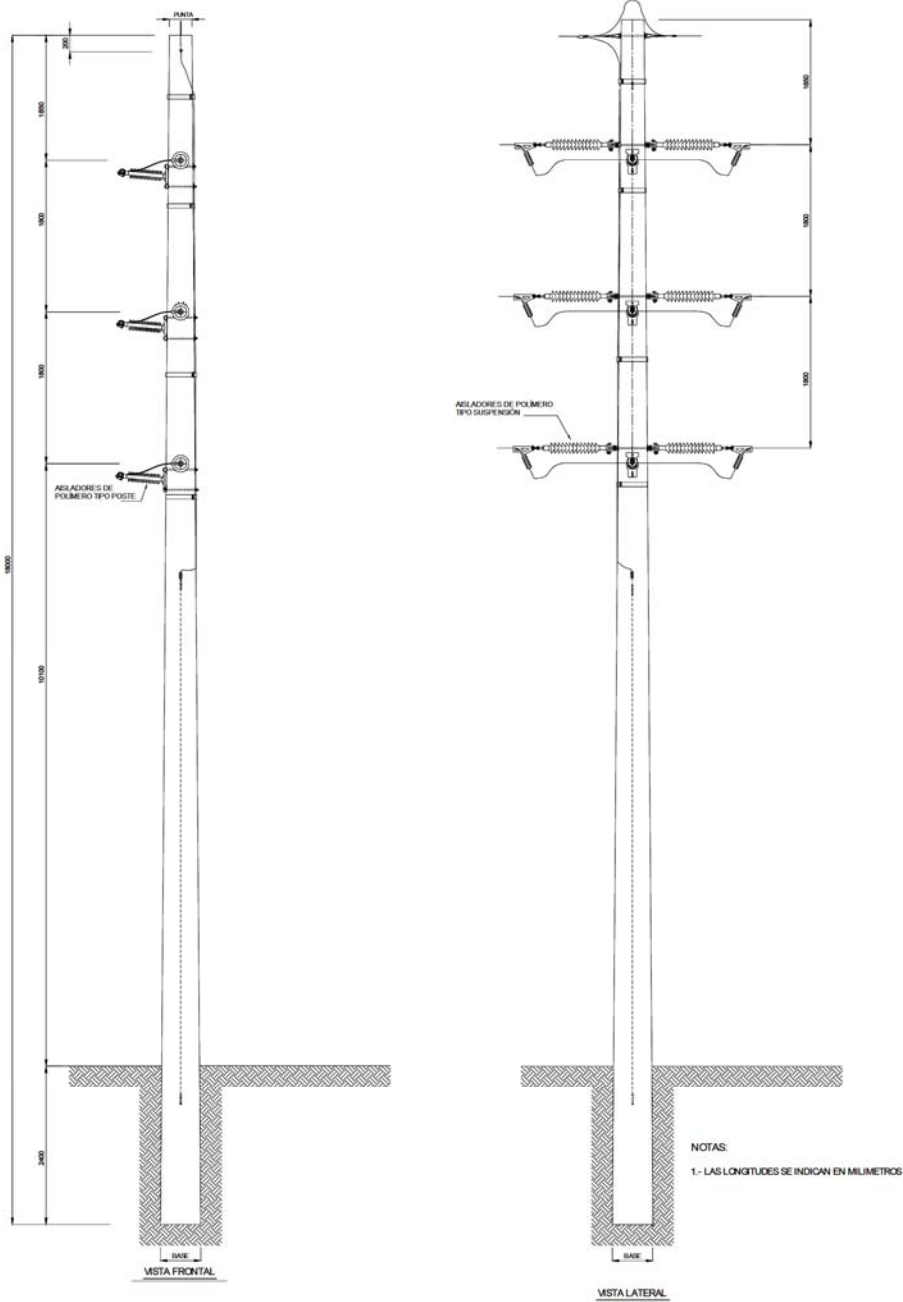
Fuente: Edgar Ubaldo Boj De León. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. Pág. 124.

Estructura compacta tipo SAP, deflexión 0° - 20°, vano máximo 200m., en terreno plano



Fuente: Edgar Ubaldo Boj De León. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. Pág. 125.

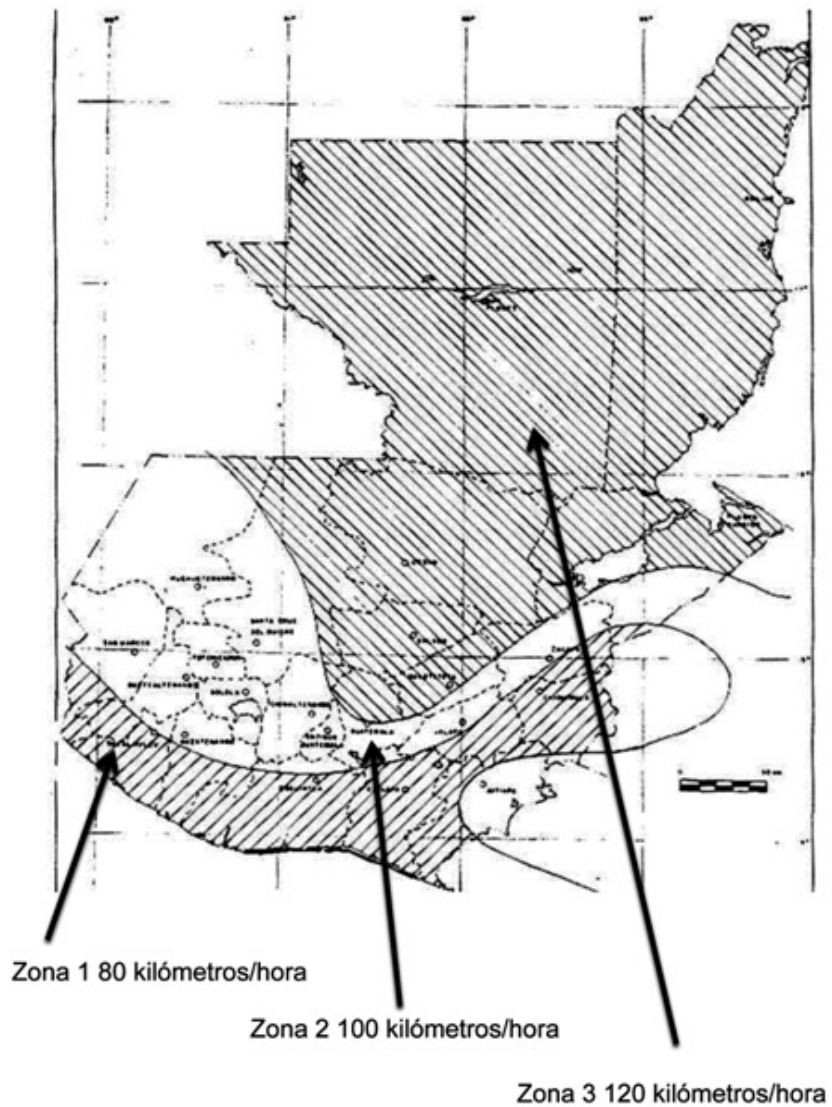
**Estructura compacta tipo AAF, deflexión 0° - 90°, vano máximo 160 m.,
en terreno plano.**



Fuente: Edgar Ubaldo Boj De León. Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas. Pág. 126.

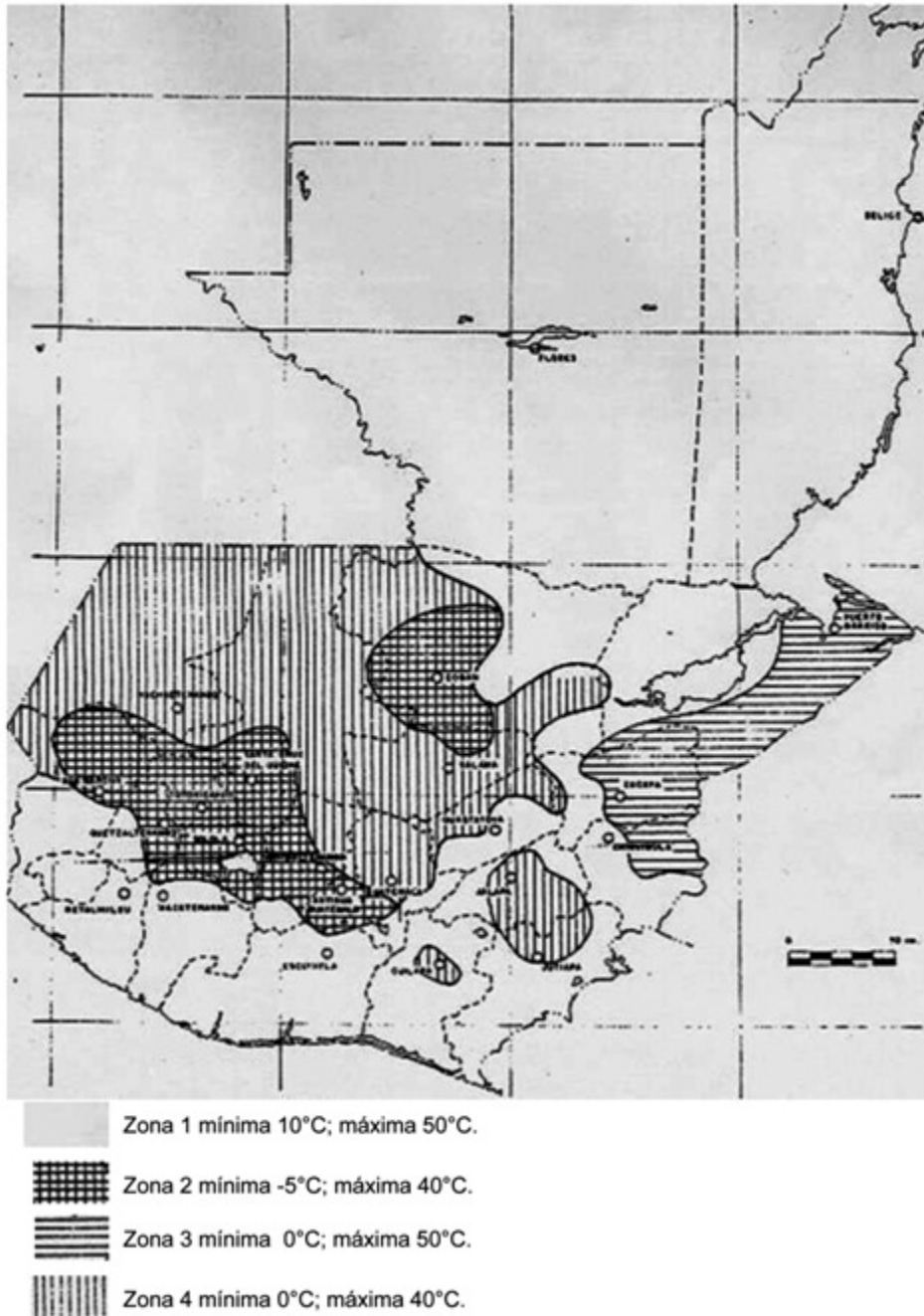
ANEXO 3

Zonas de Viento Máximo



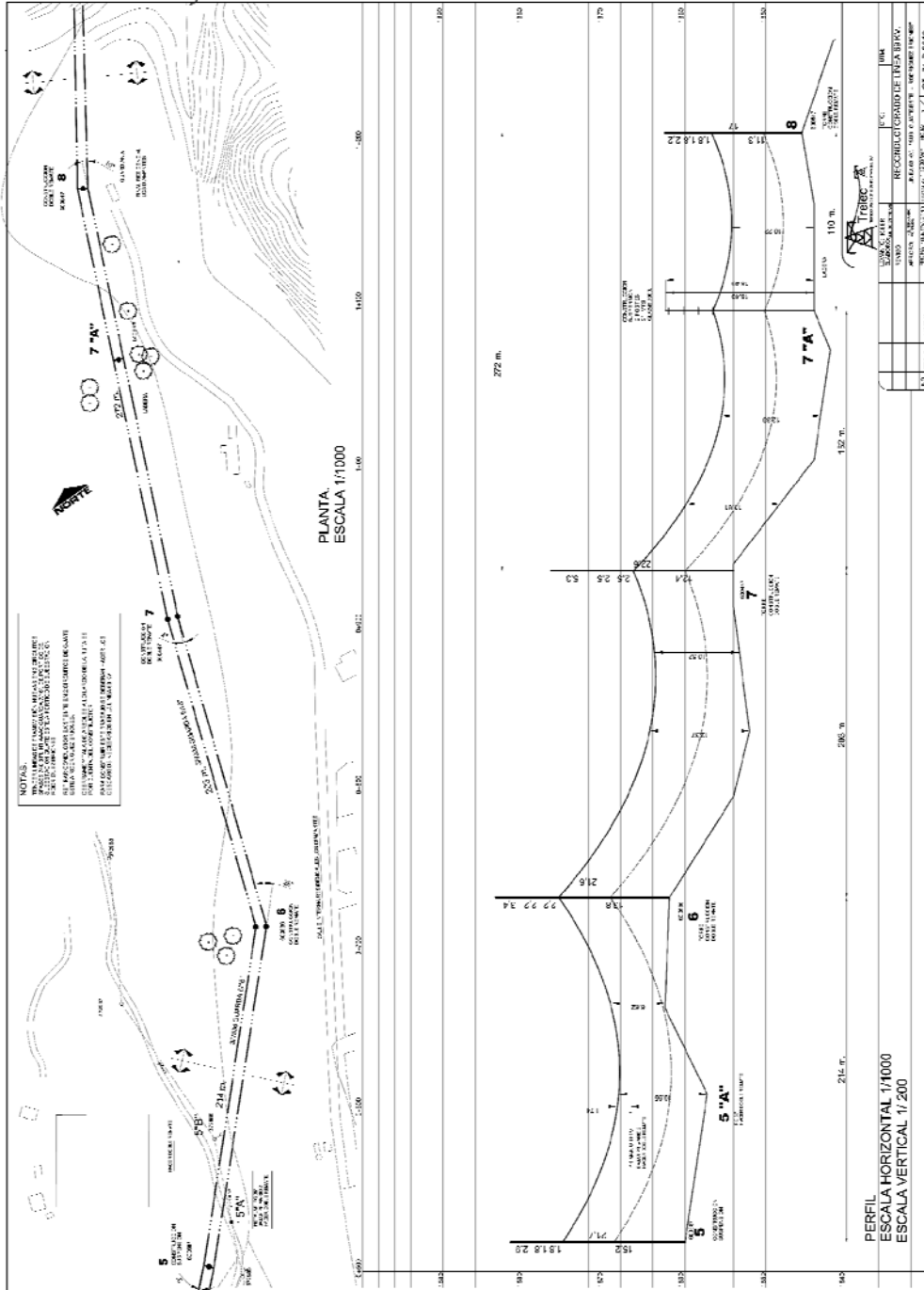
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. Artículo 19.2.

Zonas de Temperatura



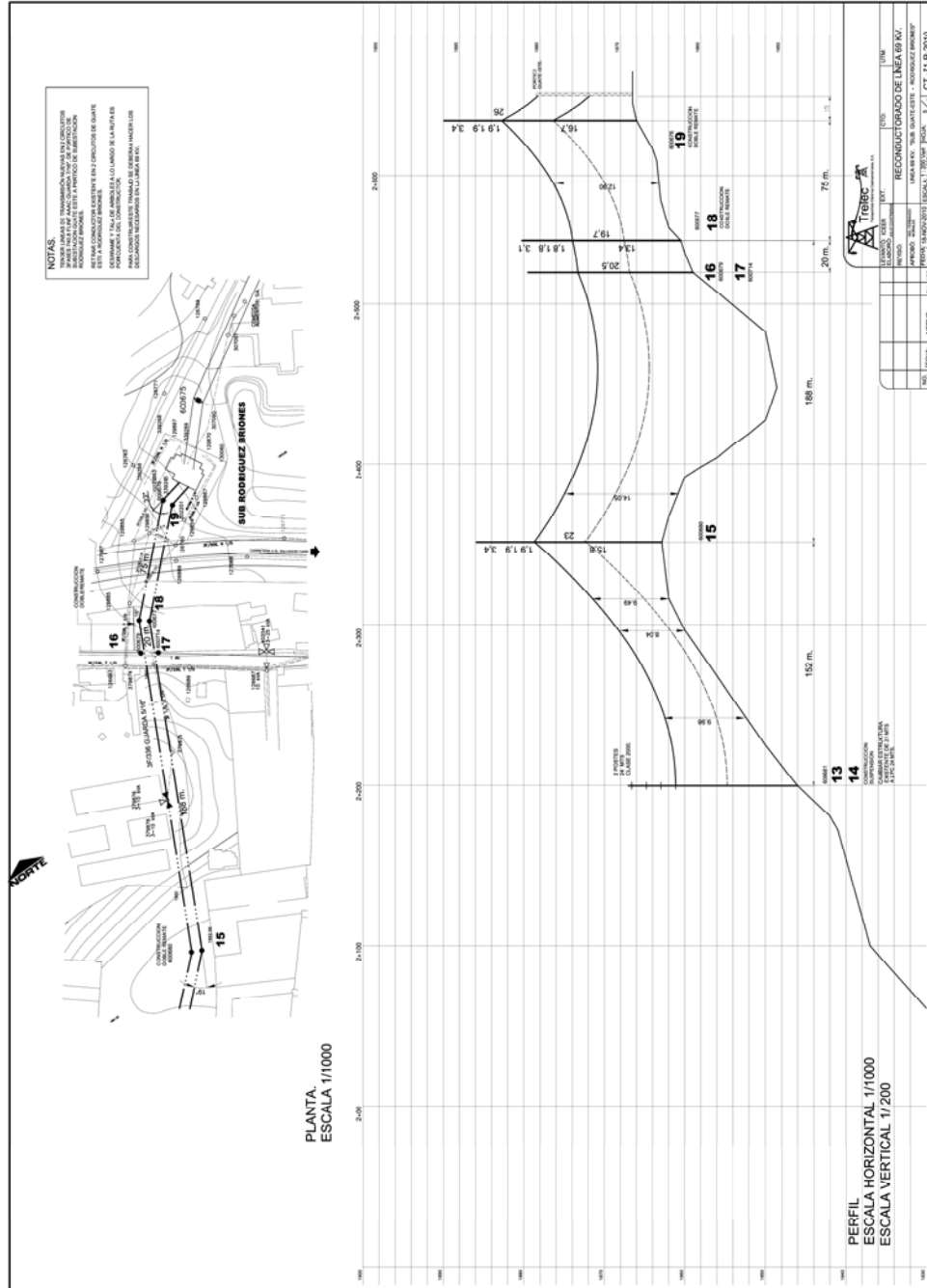
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. Artículo 19.2.

Plano Planta – Perfil, Estructura 5 a Estructura 8



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana. Diseño de línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones.

Plano Planta – Perfil, Estructura 15 a Sub Estación Rodríguez Briones



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana. Diseño de línea de 69 kV Guate Este – Rodríguez Briones.