



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

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO
DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2**

Leonel Augusto Morales Paniagua

Asesorado por el Ing. Manuel Eduardo Arita Sagastume

Guatemala, enero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO
DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LEONEL AUGUSTO MORALES PANIAGUA

ASESORADO POR EL ING. MANUEL EDUARDO ARITA SAGASTUME

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
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 Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de octubre de 2010.


Leonel Augusto Morales Paniagua

Guatemala, 31 de julio del 2012

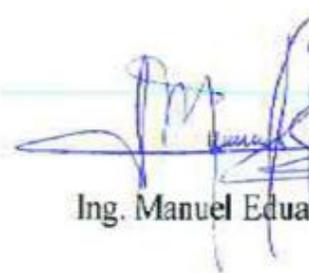
Ingeniero
Guillermo Puente
Director de Escuela
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Puente

Por medio de la presente hago constar que he asesorado, evaluado y aprobado el desarrollo de contenido del trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2”** elaborado por el estudiante de ingeniería eléctrica Leonel Augusto Morales Paniagua con carné 200010528.

Cabe mencionar que el trabajo de graduación satisface los objetivos previstos en la elección del tema, por lo que doy por autorizada la finalización del mismo.

Atentamente,



Ing. Manuel Eduardo Arita Sagastume
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 6012

Ing. Manuel Eduardo Arita Sagastume
Colegiado no.6012



Ref. EIME 59.2012.

Guatemala, 5 de noviembre 2012.

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:
“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL
CABLE COMPRIMIDO DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE
CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GUATE
ESTE-GUADALUPE 1 y 2”, del estudiante Leonel Augusto Morales
Paniagua, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia



FJGL/sro



REF. EIME 64. 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; LEONEL AUGUSTO MORALES PANIAGUA titulado: “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 16 DE NOVIEMBRE 2,012.



DTG. 027.2013

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: **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DEL CABLE COMPRIMIDO DE ALUMINIO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN GUATE ESTE-GUADALUPE 1 Y 2**, presentado por el estudiante universitario **Leonel Augusto Morales Paniagua**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz
Decano



Guatemala, 29 de enero de 2013.

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Por haberme dado la vida y brindado la oportunidad y apoyo en la educación recibida.
Mis hermanos	Por su apoyo y asistencia innegable durante todos los años que hemos estado conviviendo juntos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios superiores líder de Guatemala, que me brindó la oportunidad de alcanzar la meta de volverme un profesional en la rama técnica de la ingeniería.
Mi asesor	Ingeniero Eduardo Arita, por su valiosa guía y asistencia durante el desarrollo de este trabajo de graduación.
Mis compañeros de labor	Sergio Quinto, Juan José Galindo, Alexander Álvarez, Luis Hernández, José Marroquín, Rogelio Guzmán, David Mazariegos, Freddy Vázquez, por toda la ayuda proporcionada durante la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CABLE COMPRIMIDO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO (ACCC)	1
1.1. Historia, desarrollo y ventajas de los materiales compuestos	2
1.2. Desarrollo del ACCC.....	3
1.3. Características físicas y mecánicas del núcleo compuesto del ACCC.....	4
1.3.1. Tensión de trabajo	5
1.3.2. Flexura, dobléz y corte	6
1.3.3. Carga continua	7
1.3.4. Cristalización por calor	7
1.3.5. Coeficiente de expansión térmica.....	7
1.3.6. Ruptura del núcleo.....	8
1.3.7. Resistencia a impactos directos	9
1.3.8. Torsión en el núcleo	10
1.3.9. Humedad	10
1.3.10. Exposición continua a temperaturas moderadas	10
1.3.11. Carga continua a temperatura moderada	11
1.3.12. Cambios térmicos cíclicos	11

1.3.13.	Calor específico.....	11
1.3.14.	Exposición a altas temperaturas	12
1.3.15.	Oxidación térmica.....	13
1.3.16.	Rayos ultravioleta.....	13
1.3.17.	Corrosión salina del núcleo	13
1.4.	Pruebas mecánicas realizadas al conductor ACCC	14
1.4.1.	Carga de fatiga.....	14
1.4.2.	Ruptura del conductor	15
1.4.3.	Vibración eólica	16
1.4.4.	Galope del tendido	17
1.4.5.	Autoamortiguación	17
1.4.6.	Impactos y ruptura radial.....	17
1.4.7.	Flexibilidad en ángulo agudo.....	18
1.4.8.	Torsión del cable	18
1.4.9.	Catenaria a alta temperatura.....	18
1.4.10.	Carga continua a alta temperatura.....	20
1.4.11.	Carga cíclica a alta temperatura.....	20
1.5.	Pruebas eléctricas realizadas al conductor ACCC	20
1.5.1.	Resistividad	21
1.5.2.	Pérdidas de potencia.....	22
1.5.3.	Ampacidad	24
1.5.4.	Medición de campos electromagnéticos.....	26
1.5.5.	Impedancia.....	27
1.5.6.	Efecto corona	29
1.5.7.	Ruido eléctrico.....	30
1.5.8.	Cortocircuito	30
1.5.9.	Descargas electroatmosféricas	32
1.6.	Herrajes utilizados con el conductor ACCC.....	32
1.6.1.	Remates.....	34

1.6.2.	Empalmes al 100%.....	39
1.6.3.	Paletas de conexión	46
1.6.4.	Protectores preformados	48
1.6.5.	Grapas dobles de suspensión	49
1.6.6.	Grapas de sujeción del conductor	49
1.6.7.	Tierras de seguridad.....	50
1.6.8.	Pruebas realizadas a los herrajes.....	50
1.6.8.1.	Ciclo de corriente	50
1.6.8.2.	Carga sostenida.....	51
1.6.8.3.	Corrosión salina en herrajes	52
1.6.8.4.	Resistencia eléctrica	52
1.6.8.5.	Calor estático.....	53
1.6.8.6.	Grapa de suspensión.....	53
1.6.8.7.	Termomecánica	53
1.6.8.8.	Carga mecánica cíclica.....	53
1.6.9.	Manejo e instalación del cable ACCC.....	54
1.6.9.1.	Requerimientos de manejo del carrete.....	54
1.6.9.2.	Almacenaje	56
1.6.9.3.	Tendido del conductor	56
1.6.9.4.	Tensionadores	60
1.6.9.5.	Precauciones a la hora de tender el conductor	65
2.	IMPLEMENTACIÓN DEL ACCC EN LA LÍNEA GUATE ESTE- GUADALUPE 1 Y 2, TRAMO ENTRE LA SUBESTACIÓN GUATE ESTE Y SUBESTACIÓN RODRÍGUEZ BRIONES	67
2.1.	Análisis de la situación actual de las líneas	67
2.2.	Distancias de seguridad.....	74

2.2.1.	Distancias de seguridad vertical.....	74
2.2.2.	Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras y entre otras estructuras.....	76
2.3.	Hilo de guarda	78
2.4.	Aislamiento y herrajes	79
2.5.	Estructuras	79
2.6.	Cálculo mecánico de los conductores	80
2.7.	Cambio de conductor a cable AAAC Flint.....	82
2.7.1.	Conductores de fase AAAC.....	83
2.7.2.	Tablas de tendido AAAC	83
2.8.	Cambio de conductor a cable ACCC Lisboa	87
2.8.1.	Conductores de fase ACCC	87
2.8.2.	Tablas de tendido ACCC.....	88
3.	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ACCC	93
3.1.	Costo del conductor ACCC.....	93
3.2.	Costo de instalación del ACCC.....	93
3.3.	Costo de mantenimiento del ACCC.....	94
3.4.	Comparación del ACCC contra AAAC.....	95
3.5.	Recuperación de la inversión	97
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	APÉNDICES.....	111
	ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Corte transversal del ACCC.....	4
2.	Pronóstico de vida del ACCC.....	5
3.	Arreglo para prueba de flexura en tres puntos.....	6
4.	Gráfica de coeficiente de expansión térmica del núcleo.....	8
5.	Máquina de prueba para evaluar los impactos radiales.....	9
6.	Máquina de prueba de fatiga mecánica.....	15
7.	Máquina de prueba de vibración eólica.....	16
8.	Catenaria de conductores Drake a altas temperaturas.....	19
9.	Conexión para medición de resistencia en CA.....	22
10.	Incremento de la temperatura en conductor tamaño Drake debido a la corriente.....	25
11.	Conexión del ACCC para evaluar el efecto corona.....	29
12.	Temperatura resultante por efectos de cortocircuito en el ACCC.....	31
13.	Temperatura resultante por efecto de cortocircuito en el ACSR.....	31
14.	Decoloración y fusión en el ACCC luego de prueba de descarga electroatmosférica.....	32
15.	Remate del ACCC.....	34
16.	Ubicación de camisa de remate y manga interior.....	35
17.	Fijado de la cuña y protector de cuña.....	37
18.	Longitud del núcleo expuesto en la cuña en el remate.....	37
19.	Ensamble del eslabón.....	38
20.	Dirección de compresiones del remate.....	39
21.	Empalme al 100% del ACCC.....	40

22.	Posicionamiento de las mangas exterior e interior	41
23.	Fijado de la cuña y protector de cuña para el empalme	42
24.	Tramo expuesto de núcleo en la cuña en el empalme	43
25.	Unión de la copla.....	43
26.	Ensamble terminado.....	44
27.	Dirección de compresiones del empalme	45
28.	Paleta de conexión	46
29.	Paleta de conexión terminada	48
30.	Protector preformado usado con ACCC en suspensión	48
31.	Grapas dobles de suspensión	49
32.	Conexión de transductores en los remates del ACCC	51
33.	Cámara usada de prueba de corrosión salina.....	52
34.	Grapa que sujeta al núcleo.....	58
35.	Sobreposición de las capas inferiores en el carrete del ACCC	60
36.	Ángulo de tendido del ACCC.....	61
37.	Grapas y protectores recomendados para tirar el ACCC	64
38.	Relación de distancia del carrete a la estructura.....	66
39.	Ubicación geográfica de las líneas Guate Este- Guadalupe 1 y 2.....	67
40.	Diagrama esquemático de transmisión de las líneas Guate Este- Guadalupe 1 y 2	70
41.	Ubicación de estructura existente entre Guate Este y Rodríguez Briones	73

TABLAS

I.	Parámetros de los conductores evaluados.....	23
II.	Valores de voltaje, corriente y pérdidas de la prueba.....	24
III.	Resultados de temperatura de la prueba de ampacidad para ACCC Bittern.....	25

IV.	Campo magnético cercano al ACCC, ACSS y ACSR (miligauss).	27
V.	Impedancia de los conductores	28
VI.	Longitud del núcleo expuesta para remate	36
VII.	Longitud del núcleo expuesta para empalme.....	41
VIII.	Diámetro recomendado de las poleas para tender el ACCC	59
IX.	Distancias verticales al suelo en líneas de 72,5 kilovoltios	75
X.	Libranzas verticales a otras instalaciones.....	76
XI.	Distancias de seguridad entre conductores soportados por otras estructuras	77
XII.	Libranzas horizontales hacia otras estructuras	78
XIII.	Tramos comprendidos entre Guate Este y Rodríguez Briones	82
XIV.	Tabla de tendido AAAC de estructura 3 a estructura 4.....	83
XV.	Tabla de tendido AAAC de estructura 4 a estructura 6.....	84
XVI.	Tabla de tendido AAAC de estructura 6 a estructura 7.....	84
XVII.	Tabla de tendido AAAC de estructura 7 a estructura 8.....	84
XVIII.	Tabla de tendido AAAC de estructura 8 a estructura 10.....	85
XIX.	Tabla de tendido AAAC de estructura 10 a estructura 12.....	85
XX.	Tabla de tendido AAAC de estructura 12 a estructura 15.....	85
XXI.	Tabla de tendido AAAC de estructura 15 a estructura 18.....	86
XXII.	Tabla de tendido AAAC de estructura 18 a estructura 19.....	86
XXIII.	Tabla de tendido AAAC de estructura 19 a pórtico y de estructuras 1 y 2 a estructura 3.....	86
XXIV.	Tabla de tendido ACCC de estructura 3 a estructura 4	88
XXV.	Tabla de tendido ACCC de estructura 4 a estructura 6	88
XXVI.	Tabla de tendido ACCC de estructura 6 a estructura 7	89
XXVII.	Tabla de tendido ACCC de estructura 7 a estructura 8	89
XXVIII.	Tabla de tendido ACCC de estructura 8 a estructura 10.....	89
XXIX.	Tabla de tendido ACCC de estructura 10 a estructura 12	90
XXX.	Tabla de tendido ACCC de estructura 12 a estructura 15	90

XXXI.	Tabla de tendido ACCC de estructura 15 a estructura 18	90
XXXII.	Tabla de tendido ACCC de estructura 18 a estructura 19	91
XXXIII.	Tabla de tendido ACCC de estructura 19 a pórtico y de estructuras 1 y 2 a estructura 3	91
XXXIV.	Comparación de catenaria entre ACCC y AAAC	92
XXXV.	Costo de cambio de conductor a AAAC Flint.....	95
XXXVI.	Costo de cambio de conductor a ACCC Lisboa	96
XXXVII.	Evaluación económica de la utilización del AAAC Flint	98
XXXVIII.	Evaluación económica de la utilización del ACCC Lisboa	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
cm	Centímetro
CA	Corriente alterna
GPa	Gigapascal
°C	Grados Celsius
g	Gramo
J	Joule
kV	Kilo voltio
kgf	Kilogramo fuerza
psi	Libras por pulgada cuadrada
MVA	Mega voltio amperio
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mcm	Mili circular mil
mm	Milímetro
ms	Milisegundo
N	Newton
%	Porcentaje
plg	Pulgada
Q	Quetzales
V	Voltio
W	Vatio
Wh	Vatio hora

GLOSARIO

AAAC	All Aluminum Alloy Conductor.
ACCR	Aluminum Conductor Composite Reinforced.
ACSR	Aluminum Conductor Steel Reinforced.
ACSS	Aluminum Conductor Steel Supported.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
ANSI	American National Standards Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Atirantadora	Maquinaria utilizada para tender el cable en la primera estructura del tramo de la línea.
Caimanete	Herramienta de compresión para remates, empalmes y conectores.
Catenaria	Curva que forma un conductor colgado de dos puntos.

Coeficiente de expansión térmica	Coeficiente que indica el porcentaje de alargamiento de un material dados los cambios de temperatura.
CTC	Composite Technology Corporation.
EBASCO	Electrical Bond and Share Company.
Empalme al 100%	Herraje utilizado para unir dos tramos de conductor, el cual se hallará sometido al 100% de la tensión mecánica.
Estructura de remate	Estructuras situadas al final de la línea que absorben las tracciones no equilibradas, transmitidas por los conductores de los vanos que le anteceden.
Estructura tangente	Estructuras ubicadas en los tramos rectos en el trazo de la línea.
Factor de utilización	Es la relación que se tiene entre la demanda máxima del sistema y la capacidad nominal del mismo. Expresa el porcentaje de la capacidad del sistema que está siendo utilizada durante la demanda máxima.
Grapa posttype	Abrazadera utilizada para sujetar al conductor al aislador de tipo horizontal o posttype en estructuras tangentes.

Grapa de suspensión	Abrazadera utilizada para sujetar al conductor con la cadena de aisladores verticales en estructuras tangentes.
Herrajes	Materiales instalados en las estructuras que son utilizados para soportar y proteger a los conductores sujetos a las mismas.
Hilo de guarda	Cable metálico instalado en la parte superior de la estructura de la línea de transmisión con el propósito de evitar que las descargas electro atmosféricas incidan en los conductores de fase al drenarlas a tierra.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
Kcmil	Es el área de mil círculos, cada uno de una milésima de pulgada de diámetro, equivale a 0,50671 milímetros al cuadrado, se emplea para dimensionar el área efectiva de un conductor, también indicado como mcm.
Megavoltioamperio	Potencia aparente que es transportada entre dos puntos, en millones de voltio amperio, la cual es donde se integra tanto la componente activa como la reactiva de la potencia.

Protectores preformados	Hilos de aluminio que se envuelven alrededor de los hilos del conductor para protegerlo donde lo sujeta la grapa al aislador, también llamados grapas Kellum.
Reconductorado	Acción de cambiar el conductor existente de una red eléctrica, o parte de esta, por uno de igual o mayor calibre.
Remate	Herraje utilizado en estructuras donde se sujeta el tramo del conductor a la estructura.
Reserva por contingencia	Porcentaje de la capacidad de una instalación eléctrica que se tiene para cubrir una demanda externa ante un evento extraordinario.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
Tensionador	Equipo ubicado al final del tramo que mantiene la tensión mecánica del cable que se está instalando.
Vano	Distancia medida entre dos estructuras de una línea de transmisión.
Vano de regulación	Vano calculado de la línea de transmisión, comprendido entre dos estructuras de remate.

RESUMEN

La siguiente investigación trata sobre la descripción física y eléctrica del cable ACCC (Aluminum Conductor Composite Core), cable de aluminio de hilos trapezoidales con alma de fibra compuesta, elaborada de carbón y vidrio.

La resina con la que está constituido el núcleo del conductor provee de una gran resistencia mecánica, ya que es el componente del mismo que soporta toda la carga mecánica y los hilos de aluminio templado son los encargados de la carga eléctrica. La fibra de carbón y vidrio del núcleo lo hace más resistente que el acero, un 25% aproximado, pero con el 40% del peso del mismo los hilos trapezoidales maximizan el área efectiva del conductor, permitiendo una mayor capacidad de corriente y menores pérdidas. La fibra del núcleo presenta una baja respuesta ante los cambios de temperatura, con menor alongamiento y por consiguiente una catenaria menos pronunciada.

Asimismo, se describen los herrajes utilizados con el conductor, el correcto manejo y manipulación del cable en el carrete y en el punto de montaje; y los procedimientos correctos de la instalación de ambos, así como, la herramienta necesaria utilizada para efectuar estas actividades.

Se tomó el caso ejemplar de las líneas de transmisión que conectan la subestación Guate Este con Rodríguez Briones para analizar el cambiar el conductor actual de las líneas, que es un ACSR 336,4 milésimas de pulgada circular (kcmil) Linnet, por un AAAC 740,8 milésimas de pulgada circular (kcmil) Flint contra el ACCC 629 milésimas de pulgada circular (kcmil) Lisboa. Se analiza el impacto que tiene el cable nuevo instalado sobre las estructuras existentes, se observan los puntos donde no se cumplen las distancias de seguridad y la capacidad de transmisión que ofrecen los dos cables, tanto en operación normal como en modalidad de contingencia.

Por último, se hizo una evaluación económica del cambio del conductor de las líneas de transmisión mencionadas anteriormente, a los dos cables propuestos, AAAC y ACCC, haciendo una comparación de costos en materiales y mano de obra requeridos en el proyecto y el impacto que tengan en la inversión total a realizar.

OBJETIVOS

General

Realizar un análisis técnico-económico de la instalación del cable comprimido con núcleo de fibra de carbón y vidrio (ACCC) en las líneas Guate Este-Guadalupe 1 y 2, entre la subestación Guate Este y la subestación Rodríguez Briones, en comparación con la instalación de un cable tipo AAAC.

Específicos

1. Describir las características físicas del núcleo fabricado con material compuesto de fibra de carbón y vidrio del cable ACCC.
2. Analizar las características mecánicas y eléctricas que posee el conductor ACCC y hacer una comparación con los demás tipos de conductores que existen actualmente.
3. Analizar el cambio del conductor de una línea de transmisión del existente cambiándolo por el ACCC y luego cambiándolo por uno de la tecnología tradicional AAAC, analizando el impacto en las estructuras existentes.
4. Describir si hay variación alguna con los herrajes que se deben utilizar con el cable ACCC y si hay específicos para este cable, así como, los métodos de instalación de los mismos.

INTRODUCCIÓN

Dado que el avance de las ciudades es inevitable debido al crecimiento poblacional, se han ido reduciendo los espacios por donde se puedan construir nuevas instalaciones eléctricas y en el caso de las existentes, se han ido cercando por las construcciones habitacionales. Esto perjudica los trabajos de mantenimiento y construcción de líneas de transmisión ya que los permisos necesarios son cada vez más complicados por las características que van adquiriendo los alrededores de donde están ubicadas las mismas.

Las estructuras de las líneas de transmisión se han ido volviendo más robustas por los conductores usados actualmente, que son más gruesos que los utilizados antes, lo cual tiene un inconveniente al momento de querer revitalizar una instalación existente por que la infraestructura presente no está diseñada para soportar el peso del calibre a instalar, incurriendo en costos adicionales en el refuerzo e incluso reemplazo de la misma, dando como resultado mayores tiempos de construcción y espera para ponerlas en operación.

Un factor muy determinante en las líneas de transmisión, tanto las nuevas como las existentes, es la catenaria existente, debido a que mientras es mayor la distancia de seguridad que tienen los conductores energizados, mejor desempeño y eficiencia se tiene en la operación de la misma, pero dadas las temperaturas a las que se puede llegar en las horas de demanda máxima, se tiene que los conductores, a pesar que son calibres gruesos, son afectados por el peso y características físicas de los materiales con los que son fabricados y tienen un alargamiento muy alto por efectos térmicos por lo que se ha requerido la investigación de tecnologías nuevas donde la temperatura de operación afecte en lo más mínimo posible en las características físicas del cable.

El ACCC (Conductor de aluminio con núcleo compuesto) posee un núcleo de fibra de carbón y vidrio cuyas propiedades mecánicas le proporcionan una gran resistencia a la tensión mecánica, un peso menor y un coeficiente de expansión térmica muy reducido, los hilos de aluminio trapezoidal maximizan el área transversal para la capacidad de conducción eléctrica permitiendo un porcentaje de reserva para eventos de contingencia donde se requiera un gran flujo de corriente eléctrica en un período corto de tiempo, minimizando las pérdidas en el conductor por efecto Joule. Junto los hilos de aluminio trapezoidales con el núcleo de fibra de carbón y vidrio dan como resultado un cable con alta capacidad de corriente pero con una catenaria menor ante una alta temperatura de operación.

La aplicación en caso de reacondicionamiento de líneas de transmisión existentes, debido a las características mecánicas y eléctricas del conductor ACCC, presenta ahorros adicionales en estructuras, ya sea por reemplazo de existentes o construcción de nuevas a intercalar, dado que con la infraestructura existente soporta al conductor.

Estos y otros ahorros pueden llegar a tener un gran punto a favor en la elección del conductor a la hora de evaluar la inversión del proyecto. En proyectos de líneas de transmisión nuevas, presenta la facilidad de vanos más largos, dando como resultado en la construcción de menos estructuras para el trayecto trazado de la misma y por consiguiente menos materiales y mano de obra requerida.

1. CABLE COMPRIMIDO CON NÚCLEO DE FIBRA DE CARBÓN Y VIDRIO (ACCC)

El ACCC, Conductor de aluminio con núcleo compuesto (Aluminum Conductor Composite Core), consiste en una fibra híbrida de carbón y vidrio al que se le envuelve con hilos de aluminio de forma trapezoidal. El núcleo de alta resistencia (142 KiloNewton/320 kilo libras fuerza por pulgada cuadrada) soporta casi todo el esfuerzo mecánico del conductor, mientras los hilos templados de aluminio 1350-O soportan toda la corriente eléctrica del conductor. El núcleo compuesto es elaborado utilizando un proceso de poltrusión, donde las fibras de carbón y vidrio son impregnadas con una resina epóxica reforzada a alta temperatura y pasada por un troquelado de poltrusión calentado que cura la resina con rapidez. La resina sirve para unir las fibras individuales, lo que ayuda a distribuir la carga mecánica entre todas ellas.

Las fibras de carbón son de aproximadamente 8 micrones de diámetro, mientras que las fibras de vidrio libre de boro son de un diámetro aproximado de 20 micrones. Las fibras de vidrio, que rodean a las fibras centrales de carbón, están situadas en las periferias del núcleo compuesto que mejora la flexibilidad, resistencia al impacto y previene alguna reacción galvánica entre los hilos de aluminio con el núcleo compuesto.

1.1. Historia, desarrollo y ventajas de los materiales compuestos

Los materiales compuestos fueron desarrollados inicialmente durante la Segunda Guerra Mundial como un esfuerzo para mejorar la fiabilidad y desempeño de los aeroplanos. Una vez los materiales compuestos fueron evolucionando y las ventajas en el desempeño mejoraron, el uso de estos se fue extendiendo a aplicaciones no militares ni de aeronáutica, donde mayores niveles de desempeño y fiabilidad eran requeridos. Estos mercados incluyen dispositivos médicos, aplicaciones automotrices, artículos deportivos y otras aplicaciones de alto perfil, pero también otras menos obvias, como tuberías subterráneas de alta presión, recipientes criogénicos de almacenaje, estructuras de comunicación y otros productos de uso comercial, industrial o de infraestructura.

Mientras la evolución de materiales compuestos fue solicitada por requerimientos de la defensa inicialmente, la demanda para materiales de alto desempeño y tiempo de vida en cualquier industria concebible continuo motivando el avance de estos. Fibras híbridas de carbón son los materiales elegidos para muchas piezas de alto desempeño (incluyendo toda la estructura del nuevo 787 de Boeing), no sólo por su mayor resistencia y liviano peso, sino primeramente por su excepcional resistencia a carga de fatiga cíclica. Así como, relaciona a un conductor aéreo desnudo, todo es cíclico, incluyendo temperatura, tensión mecánica, vibración, viento, peso por hielo y otras condiciones del ambiente.

1.2. Desarrollo del ACCC

El conductor ACCC fue desarrollado inicialmente para aumentar la capacidad de conducción de la red eléctrica de transmisión y de distribución. En el 2002 en Estados Unidos, se volvió muy evidente que muchas líneas de potencia eléctrica estaban sobrecargadas y no permitían que energía más barata ingresara a centros de carga, como el sur de California. La línea 15 es un ejemplo de tal caso. Debido a sus limitaciones, energía de las hidroeléctricas relativamente barata no podía ser transferida, lo que provocó que se tuviera que comprar energía más cara de fuentes de gas natural u otro tipo de combustible para generar electricidad. Mientras que los precios del combustible fueron subiendo, los usuarios finales fueron los que sufrieron más los incrementos.

El conductor ACCC ofrece una alternativa más económica a la hora de agregar líneas paralelas a las existentes o a la hora de modificar las estructuras actuales para aumentar la capacidad de transmisión. Un conductor ACCC del peso y diámetro equivalente a uno de alma de acero convencional, puede transferir aproximadamente el doble de la potencia.

El factor limitante principal a la hora de incrementar la capacidad de muchas líneas de transmisión o de distribución, es la catenaria debido a la expansión térmica. Mientras en un conductor va fluyendo más corriente eléctrica, su temperatura se incrementa. Este incremento en la temperatura causa en un conductor de alma de acero (o de aluminio) que se estire y caiga más de acuerdo al coeficiente de expansión térmico del alma de este.

El núcleo compuesto del conductor ACCC, mostrado en la figura 1, tiene un coeficiente de expansión térmica de casi 8 veces menor al del alma de acero. La expansión térmica reducida disminuye la catenaria que el conductor cae debido a la temperatura y permite al conductor que pueda llevar más corriente eléctrica sin comprometer los límites permisibles de libranzas. El gran apagón de la costa este de Estados Unidos de América del 2003 se debió a la catenaria excesiva del conductor debido a las condiciones de demanda máxima de verano.

Figura 1. **Corte transversal del ACCC**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p.11.

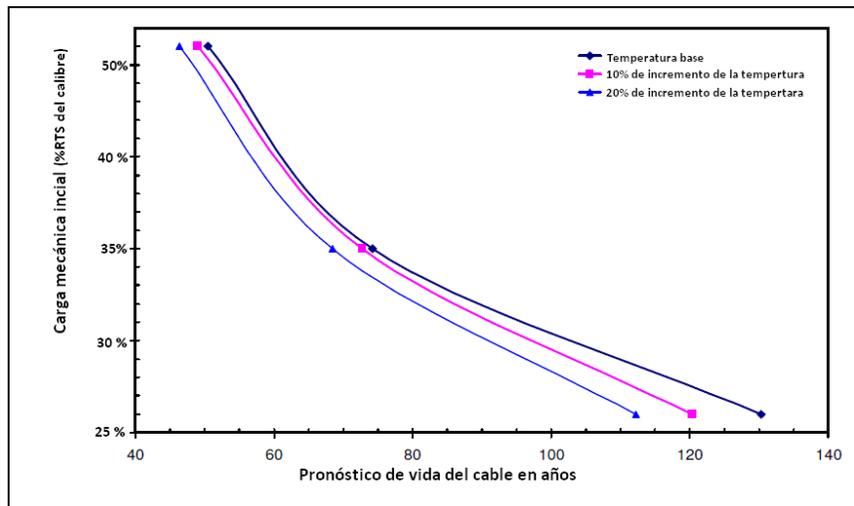
1.3. Características físicas y mecánicas del núcleo compuesto del ACCC

El propósito principal de la fibra híbrida de carbón y vidrio del núcleo del conductor es de soportar los hilos conductores de aluminio del ACCC a través de una amplia gama de condiciones que incluye cargas cíclicas termo-mecánicas, vibración, galope, carga por el viento y el hielo. Se realizaron diversas pruebas al núcleo de carbón para analizar el comportamiento de este ante eventos diversos.

1.3.1. Tensión de trabajo

Muchas pruebas han sido hechas al núcleo del ACCC para evaluar la resistencia inicial del núcleo, diversas pruebas de tensión también han sido realizadas al núcleo para evaluar la fortaleza de este, luego de haber sido sometido a: galope, vibración eólica, temperaturas extremas, cargas termo-mecánicas cíclicas, flexibilidad y corte, acidificación, acumulación de sarro y la influencia de estas en la vida útil del núcleo, estimada entre 50 a 100 años, dependiendo de la temperatura de operación y tensión mecánica de tendido, tal como se observa en la figura 2.

Figura 2. Pronóstico de vida del ACCC



Fuente: HUANG, Dade y ABDI, Frank. Longevity of ACCC conductor. p.13.

El pronóstico se hizo midiendo la variación de la temperatura de operación del conductor dada la condición de demanda diaria que varía de 55 grados Celsius en el valle a 139 grados Celsius en la hora pico para la gráfica de temperatura base y las otras dos es teniendo un incremento del 10% y 20% en la temperatura del caso base, la vida útil se prolonga cada vez más mientras la tensión mecánica de tendido va disminuyendo. El factor de tendido máximo recomendado del conductor es del 80% de la tensión de ruptura del calibre.

1.3.2. Flexura, doblez y corte

Diversas pruebas de flexura, doblez y corte (incluyendo en 3 y 4 puntos), mostrado en la figura 3, han sido realizadas a numerosas muestras del núcleo de prototipo y producción para optimizar la fortaleza de doblez de este, así como, del contenido de fibra y resina, de acuerdo a pruebas según Norma ASTM D4475 y D4476.

Figura 3. **Arreglo para prueba de flexura en tres puntos**



Fuente: BOSZE, Eric J., ALAWAR, Ahmad y NUTT, Steven. Flexure and shear strength of drake size composite rods. p. 3.

1.3.3. Carga continua

Muchas pruebas fueron hechas al núcleo del ACCC para evaluar la elongación, ruptura y resistencia a la carga térmica y de hielo prolongada. Estas pruebas son elaboradas al 25% de la tensión mecánica nominal del calibre, cuando se le calienta o entre el 77% al 90% de la tensión nominal del calibre cuando es a temperatura ambiente.

1.3.4. Cristalización por calor

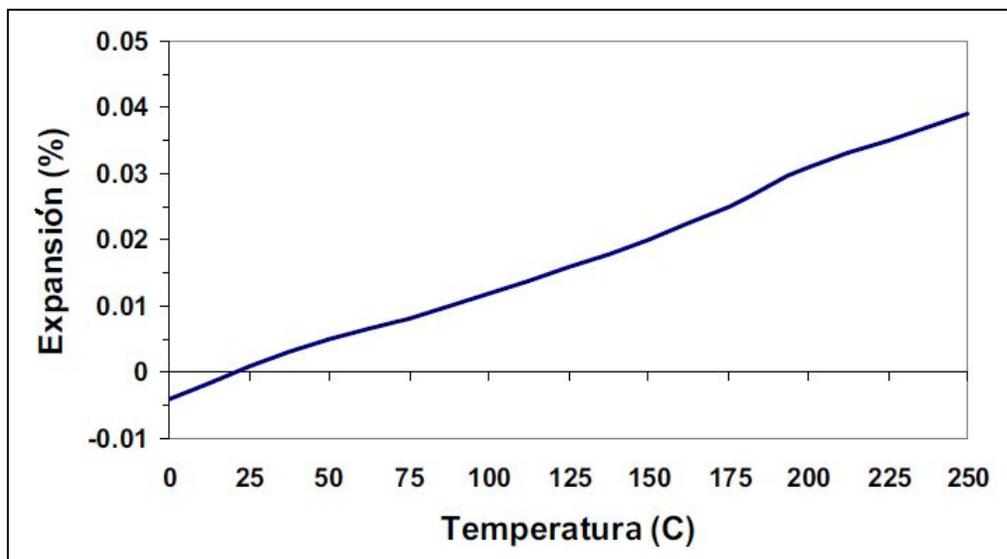
La prueba es hecha tomando muestras del inicio y fin del carrete del cable para asegurarse que todos los carretes tienen el mismo nivel de desempeño a alta temperatura. La temperatura mínima a la cual el núcleo del ACCC se cristaliza es 205 grados Celsius. Mientras se va acercando a la temperatura de cristalización o es excedida, la matriz de la resina empieza a suavizarse y parecerse a la del hule. En este punto la habilidad de la matriz de la resina de transferir la carga mecánica entre las fibras estructurales empieza a decaer y la carga de ruptura del núcleo también. Mientras se va enfriando, su límite de ruptura vuelve a subir.

1.3.5. Coeficiente de expansión térmica

El coeficiente de expansión térmica ha sido evaluado con el objetivo de determinar cuánto se alargará el núcleo del ACCC cuando es expuesto a mayores temperaturas, como se muestra en la figura 4, la expansión a medida que sube la temperatura. Mientras la mezcla de fibras de carbón y vidrio y la resina es distinta a cada calibre, esta fórmula es cambiada solamente cuando será en tramos muy largos o en núcleos de calibres de conductor especializados.

El coeficiente de expansión del núcleo estándar del ACCC es de $1,6 \cdot 10^{-6}\%$ por grado Celsius, el cual es aproximadamente 8 veces inferior al de un alma de acero, que tiene un coeficiente de $12 \cdot 10^{-6}\%$ por grado Celsius. Este coeficiente de expansión térmica menor reduce la catenaria del conductor a altas temperaturas. La prueba fue realizada mediante referencias de Normas ASTM E228 y E1269.

Figura 4. **Gráfica de coeficiente de expansión térmica del núcleo**



Fuente: BOSZE, Eric J. and NUTT, Steven. Results of cte and specific heat measurements. p. 2.

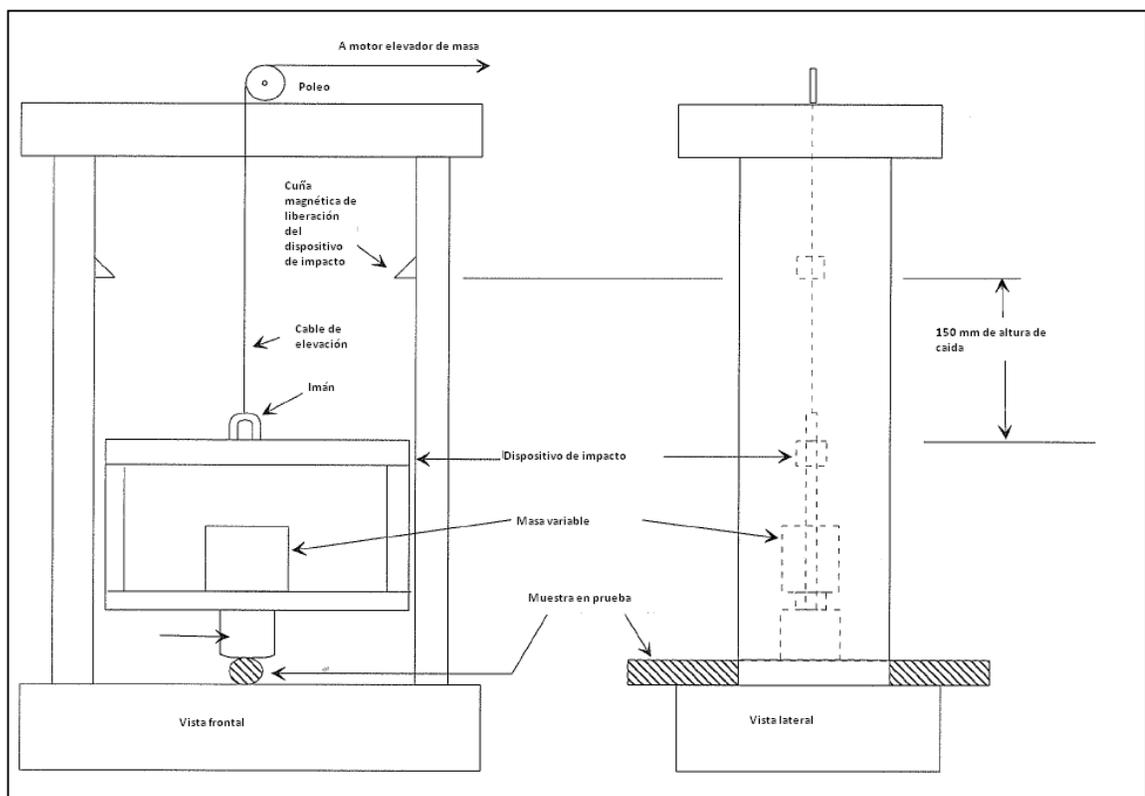
1.3.6. Ruptura del núcleo

La prueba de ruptura es realizada con el objetivo de determinar la habilidad de la matriz de la resina del núcleo de transferir la carga entre las fibras unidireccionales ante varios niveles de exposición de carga termo-mecánica cíclica.

1.3.7. Resistencia a impactos directos

Realizada con el objetivo de hallar cuánto se daña el núcleo ante impactos. Se halló que los hilos de aluminio ofrecen protección al núcleo. Las muestras del núcleo desnudo se dañaron cuando fueron impactados por una fuerza alta y repetitiva, el dispositivo usado para evaluarlo se muestra en la figura 5.

Figura 5. Máquina de prueba para evaluar los impactos radiales



Fuente: COLBERT, M. Radial impact test on ACCC/TW conductor. p. 2.

1.3.8. Torsión en el núcleo

Realizada utilizando un tramo del conductor terminado. Este fue retorcido en cuatro revoluciones y en este punto los hilos de aluminio presentaron una separación en forma de jaula. Fueron quitados los hilos de aluminio del núcleo y retorcido 16 revoluciones más cuando apareció una grieta longitudinal en el recubrimiento de vidrio de este. Luego se siguió retorciendo hasta alcanzar 54 vueltas, donde se decidió parar la prueba y no quebrarlo por razones de seguridad. Los resultados indican que cuando el núcleo se divide en dos partes, este aún puede cargar aproximadamente con el 90% de la resistencia nominal del calibre.

1.3.9. Humedad

Prueba realizada con el fin de obtener el ritmo de absorción de humedad de matriz de resina del núcleo del ACCC. Se realizó sumergiendo varias muestras del núcleo en agua caliente a 90 grados Celsius. Cada muestra se retira a un ritmo de una semanalmente en un período de 12 semanas para ser examinadas y llevadas a la ruptura. Presentaron algunas marcas de humedad en el núcleo, pero, no hubo degradación del desempeño de este a la hora de llevarlas a la ruptura.

1.3.10. Exposición continua a temperaturas moderadas

Muestras del núcleo fueron metidas en hornos distintos a 180, 200 y 220 grados Celsius respectivamente. Fueron sacadas de ellos en tiempos diversos en un intervalo de 10 000 horas. Estas muestras fueron tensadas nuevamente hasta su ruptura a temperatura ambiental. El resultado fue que todas las muestras alcanzaron la resistencia de diseño del calibre probado.

1.3.11. Carga continua a temperatura moderada

Las muestras fueron tensadas a una carga constante del 25% o más de la resistencia de diseño del calibre a temperaturas que varían de 180 a 225 grados Celsius. Luego de 30 días a carga continua fueron llevados a la ruptura a temperatura ambiental. Las muestras tensadas a temperaturas entre los 180 a 220 grados Celsius, alcanzaron su resistencia plena de diseño, mientras que las que llegaron a 225 grados Celsius retuvieron el 96% de la resistencia de diseño del calibre.

1.3.12. Cambios térmicos cíclicos

Las muestras del núcleo fueron sometidas a una carga del 25% del diseño del calibre a temperatura ambiente y luego se sometió a un ciclo térmico que varía de - 40 a 180 grados Celsius en 150 ocasiones. La tensión fluctuaba naturalmente cada vez que la temperatura se incrementaba o disminuía. No se observa alguna pérdida de la resistencia nominal del calibre al llevar las muestras a la ruptura.

1.3.13. Calor específico

Prueba realizada con el objetivo de saber el ritmo al cual el material de núcleo se calienta o enfría. Presentó un calor específico promedio de 0,813 Joules por gramo por grado Celsius en un rango de temperatura de 0 a 200 grados Celsius, lo que demuestra una capacidad alta de disipación de calor del núcleo. Prueba realizada de acuerdo a Norma ASTM E1269.

1.3.14. Exposición a altas temperaturas

Las muestras son calentadas a temperaturas que oscilan entre 150 y 250 grados Celsius y luego son llevadas a la ruptura. Mientras la temperatura de los núcleos se acercaba o excedía la de cristalización de 205 grados Celsius, fue observado un decremento en la resistencia máxima. Mientras que las muestras a las que se le permitió enfriarse conservaron la resistencia máxima cuando fueron expuestas a temperaturas más altas por períodos cortos de tiempo, los núcleos que fueron calentados cerca o arriba de la temperatura de cristalización no podrán resistir mayor carga que los que están más fríos. La razón de esto se debe a que a temperaturas más altas, la resina matricial se asemeja más al hule y es menos efectiva en la transferencia de la carga mecánica entre las fibras estructurales de carbón y vidrio.

Para aspectos prácticos, esto tiene un impacto menor en el desempeño del conductor o en los factores de seguridad, debido a que a mayores temperaturas, la tensión del conductor disminuye mientras este se expande. Sin embargo, existen límites prácticos y es recomendado que el conductor ACCC no sea operado a temperatura mayor a 180 grados Celsius (175 grados Celsius en la superficie del conductor) por períodos largos de tiempo debido que esto pueda reducir el tiempo de vida dependiendo de la temperatura extrema, duración, frecuencia y tensión del conductor.

1.3.15. Oxidación térmica

La evaluación consistió en exponer térmicamente muestras del núcleo y de resina en varios ambientes de temperatura en aire, oxígeno puro y nitrógeno puro hasta un tiempo de 200 horas. Los efectos de oxidación acelerada a la superficie fue registrada. Se notó en el núcleo producido que las fibras exteriores de vidrio previnieron que la capa heterogénea oxidada penetrara más de 200 a 300 micrones en la superficie del núcleo luego de 10 000 horas a 200 grados Celsius. Este fenómeno sirve para mejorar la longevidad cuando el núcleo es expuesto a altas temperaturas.

1.3.16. Rayos ultravioleta

Muestras del núcleo fueron expuestas de un mes a un año a los rayos ultravioleta. Aparte de decoloración de la superficie, no se observó que haya tenido alguna degradación mecánica en las pruebas subsiguientes.

1.3.17. Corrosión salina del núcleo

Muestras del núcleo fueron expuestas a corrosión salina, estas fueron cubiertas, descubiertas y partidas longitudinalmente. No presentaron alguna degradación en sus propiedades físicas o mecánicas en las muestras que no se partieron. Las muestras que se partieron fueron ubicadas dentro de hilos de aluminio tampoco presentaron signos de corrosión o de degradación acelerada.

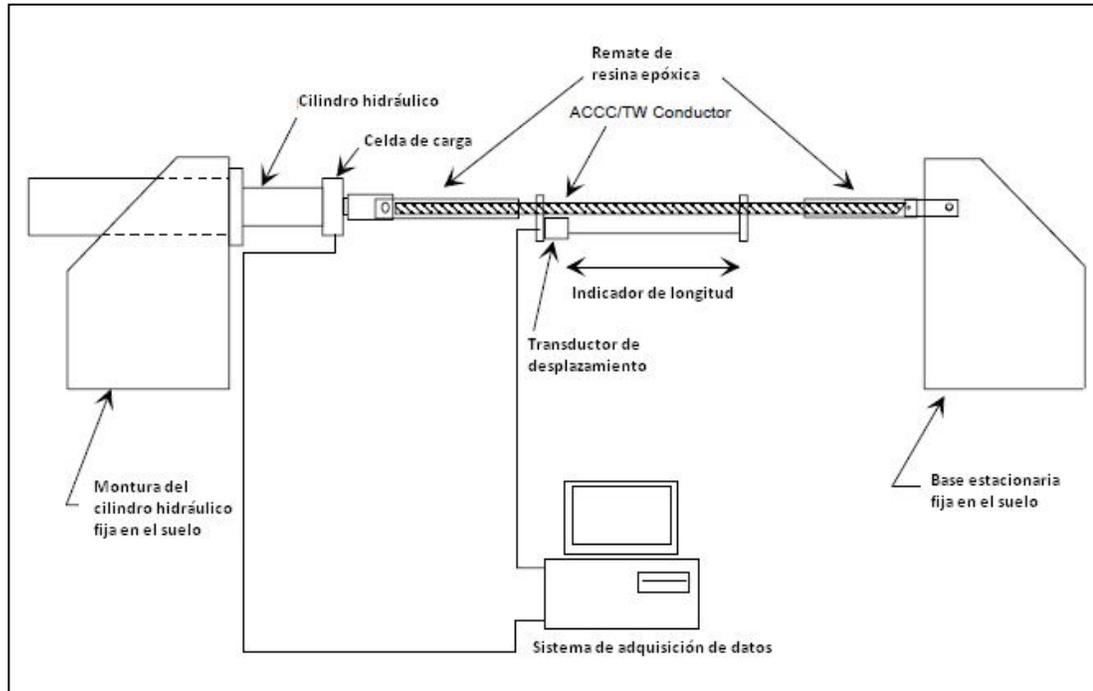
1.4. Pruebas mecánicas realizadas al conductor ACCC

Pruebas mecánicas han sido hechas al conductor ACCC (incluyendo a los hilos de aluminio con el núcleo) de distintos calibres para determinar sus características físicas de resistencia ante diversas cargas mecánicas. Se realizaron varias pruebas al conductor ACCC para observar las características mecánicas que posee el conductor en sí.

1.4.1. Carga de fatiga

Pruebas de fatiga han sido realizadas para predecir la catenaria y tensión mecánica que tendrá el conductor durante su vida útil. El conductor fue sometido en una máquina de resistencia de materiales, mostrada en la figura 6, a diversos valores de tensión mecánica. Se sometió al 30, 50 y 70% de la tensión de ruptura del calibre, sosteniéndolo 30 minutos al 30% y 60 minutos en el 50% y 70%, midiendo la longitud adicional que se estira el conductor, con los datos obtenidos se concluyó que el módulo de elasticidad del conductor es de aproximadamente 72,6 gigapascales ($8,53 \cdot 10^6$ pulgadas cuadradas por segundo).

Figura 6. Máquina de prueba de fatiga mecánica



Fuente: PON, C.J.; KASTELEIN, M.J. y COLBERT, M. Stress strain tests on 1 572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor. p. 6.

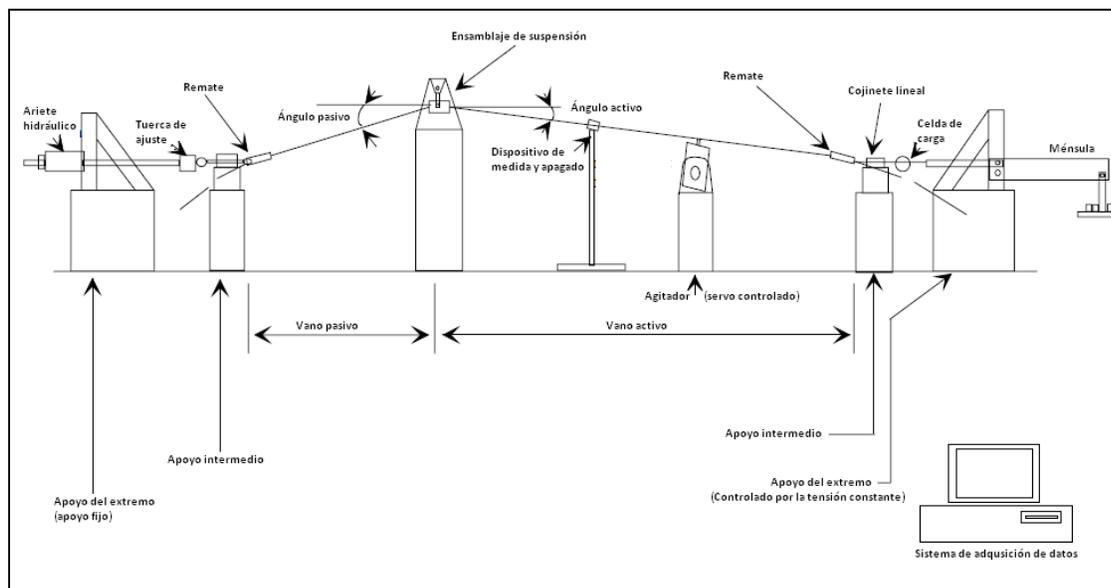
1.4.2. Ruptura del conductor

Prueba realizada para determinar cuánto afectan a los hilos de aluminio y al núcleo la aplicación de cargas sostenidas. Estos datos son compilados y utilizados en conjunto con los de fatiga para determinar la catenaria y tensión mecánica que tendrá durante la vida útil anticipada del conductor.

1.4.3. Vibración eólica

La prueba de vibración eólica fue realizada en los conductores diseñados de dos y tres capas. El propósito de realizar la prueba de 100 millones ciclos es el de determinar qué tan bien se desempeñarán luego de más de 40 años de servicio relacionado con la degradación por vibración el conductor y componentes auxiliares, tales como remates y grapas de suspensión. La prueba del conductor ACCC con grapas de suspensión y protectores preformados, en el arreglo mostrado en la figura 7, ha demostrado que no hubo degradación en los hilos de aluminio o del núcleo compuesto durante la evaluación, realizada con los procedimientos de la IEEE 1138-1994 párrafo 4.1.1.1.

Figura 7. Máquina de prueba de vibración eólica



Fuente: KASTELEIN, M. Aeolian vibration test report on 1 020 kcmil ACCC/TW conductor. p. 7.

1.4.4. Galope del tendido

Pruebas del galope del conductor fueron realizadas para evaluar la durabilidad del conductor y conveniencia de los herrajes. Se recibieron reportes de una línea en Kingman Kansas del 2008 donde indican que debido a fuertes vientos causaron un galope severo que dañaron los herrajes pero no al conductor ACCC, además de árboles que cayeron sobre la línea, que tampoco lo dañaron por el impacto.

1.4.5. Autoamortiguación

Se hicieron pruebas en conductor ACCC de autoamortiguación. Estas pruebas fueron hechas a calibres similares de conductor ACSR también y confirmaron que el conductor ACCC, el cual utiliza un solo hilo en el núcleo y una superficie trapezoidal suave, mejoró las características de amortiguación en casi diez veces comparado con el de hilos redondos múltiples del núcleo del ACSR. Las características mejoradas contra la oscilación de los conductores ACCC deben permitir mayores tensiones y vanos más largos en líneas nuevas. Se siguieron los lineamientos de la Norma IEEE 664 de vibración eólica.

1.4.6. Impactos y ruptura radial

Estos tipos de ensayos fueron realizados para evaluar la cantidad de energía requerida para dañar los hilos de aluminio y el núcleo compuesto. Impactos repetitivos y de fuerza considerable dañarán los hilos de aluminio y requerirán reparación o reemplazo posterior, es normal debido a que los hilos del ACCC están templados. Esta prueba fue realizada de acuerdo a Norma IEEE 1138-1997 párrafo 4.1.1.6 y 4.1.1.7.

1.4.7. Flexibilidad en ángulo agudo

Es de uso común en la industria el usar herrajes de suspensión en aplicaciones no tangentes en líneas con un ángulo no mayor a 30 grados. Se tensó el conductor al 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 % de la resistencia nominal del calibre, donde en cada porcentaje fue sostenida la carga por dos minutos. Luego se revisó el conductor y no se halló algún daño.

1.4.8. Torsión del cable

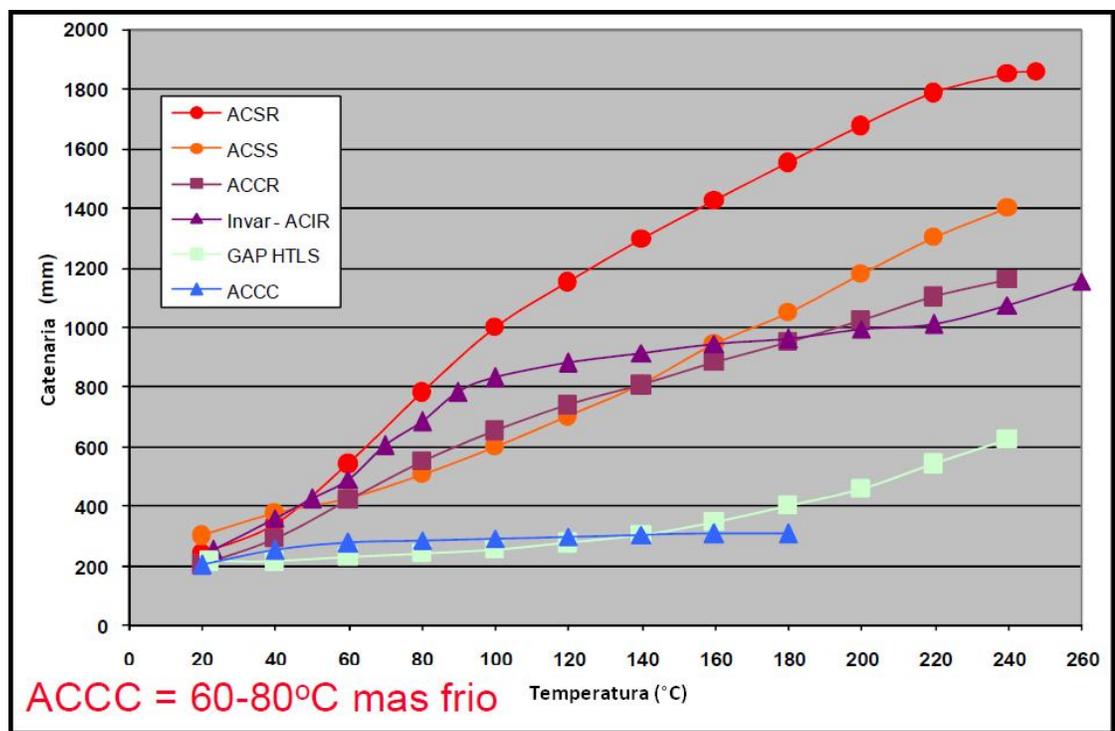
Esta prueba fue realizada con el objetivo de evaluar cómo se dañarían los hilos o núcleo del conductor ACCC cuando haya una falla en la polea del atirantador del cable durante la instalación de este, que podría causar que el conductor se retuerza. Luego de cuatro revoluciones, se hizo evidente la separación de los hilos en un área de 30,48 centímetros de largo en un tramo de prueba de 13,72 metros, no se dañó el núcleo hasta que se completaron 16 revoluciones. Se retiraron los hilos de aluminio y el núcleo se siguió retorciendo a un ritmo de 1,5 revoluciones por pie lineal sin mostrar falla catastrófica.

1.4.9. Catenaria a alta temperatura

Pruebas de catenaria de alta temperatura fueron realizadas en conductores equivalentes al Drake en ACSR, ACSS, ACCR y ACCC. Todos los conductores fueron puestos en serie con un tramo de ACSR y se les hizo fluir una corriente de 1 600 amperios a través de ellos. La longitud del tramo es de 68 metros. La temperatura y catenaria de los conductores fueron registradas, los resultados se muestran en la figura 8. La catenaria del ACSR se incrementó en 176,78 centímetros, el incremento de la catenaria del ACCC fue de solamente 11,43 centímetros con la misma carga.

Cabe mencionar que el conductor ACSR alcanzó una temperatura de 240 grados Celsius durante la prueba, el ACCC solamente llegó a 182 grados Celsius. La temperatura de operación más baja da como resultado una resistencia menor debido al contenido adicional de aluminio por el diseño del ACCC.

Figura 8. **Catenaria de conductores Drake a altas temperaturas**



Fuente: CTC. CTC cable presentation. p. 13.

1.4.10. Carga continua a alta temperatura

Esta prueba es realizada usualmente al 25% de la tensión nominal del conductor. El conductor y remates son tensados durante 168 horas a alta temperatura (entre 200 y 225 grados Celsius). Luego el conductor es llevado a la ruptura. Los estándares industriales exigen que se llegue a un mínimo del 95% de la tensión nominal del calibre. El ACCC excedió este requerimiento, de acuerdo al criterio de la Norma ANSI C119.4.

1.4.11. Carga cíclica a alta temperatura

El protocolo aprueba que al conductor ACCC se le aplique una fuerza del 20% de la tensión nominal del calibre y a esa fuerza aplicarle una temperatura cíclica hasta 190 grados Celsius por 100 veces, para luego ser llevado al 70% de la tensión nominal del calibre por 24 horas. Esta secuencia es repetida en cinco ocasiones. Luego de este esfuerzo, el núcleo es diseccionado en muestras pequeñas para analizar el desgaste por tiempo de operación.

1.5. Pruebas eléctricas realizadas al conductor ACCC

Diversas pruebas eléctricas han sido realizadas al conductor ACCC con el objetivo de evaluar y medir varios aspectos de su desempeño y capacidad.

1.5.1. Resistividad

Un tramo del conductor fue suspendido a un metro de altura del piso formando un círculo. Un par de transductores de corriente Pearson fueron conectados en forma diferencial en la entrada de los medidores de corriente digitales. Antes de la prueba, los transductores fueron calibrados de tal forma que pudieran medir tanto la amplitud como por el ángulo de fase de la onda de corriente que fluye a través del cable.

Cuando circula CA a través de un conductor, la caída de voltaje consiste en dos partes: la primera es debido a la resistencia del conductor junto con la inductancia resultante de los cambios de los flujos magnéticos en el conductor, la segunda es la caída dada por los cambios magnéticos externos al conductor. Para minimizar el margen de error por calentamiento sólo se hace fluir la corriente por menos de 10 segundos en cada medida, dejando un margen de 15 a 30 minutos entre cada medida. En la figura 9 se muestra cómo se hizo la conexión para medir la resistencia eléctrica del cable ACCC.

Figura 9. **Conexión para medición de resistencia en CA**



Fuente: LI, Z. AC resistance measurements for CTC ACCC/TW Bittern. p. 2.

1.5.2. Pérdidas de potencia

Se hicieron pruebas para evaluar la pérdida de potencia en conductores de tipo ACCC, ACSS y ACSR, todos de un diámetro de 28,2 milímetros, en un tramo de 37 metros aproximadamente; los parámetros de los cables están indicados en la tabla I.

Tabla I. **Parámetros de los conductores evaluados**

Tipo de cable	Diámetro total (mm)	Diámetro de núcleo (mm)	Sección transversal del conductor (kcmil)	Resistencia a 25°C (ohm/km)
ACCC/TW	28,2	9,50	1 020	0,0568
ACSS/TW		11,38	960	0,0594
ACSR		10,36	795	0,0744

Fuente: LI, Z. Test for power losses of ACCC, ACSS y ACSR conductors. p. 1.

El tramo del conductor fue suspendido a un metro de altura del piso formando un círculo. Un par de transductores de corriente Pearson como punto diferencial en la entrada de los medidores de corriente. Antes de la prueba, los transductores fueron calibrados de tal forma que pudieran medir tanto la amplitud como por el ángulo de fase de la onda de corriente que fluye a través del cable. Los voltajes y las corrientes que fluyeron a través de los tramos son mostrados en la tabla II. Se puede apreciar por los valores obtenidos que las pérdidas en el ACSR fueron de casi un 20% mayor que los otros dos conductores, lo cual es congruente ya que el ACSR tiene menor área transversal efectiva. Prueba elaborada según Norma IEEE 664-1993 y 563-1978.

Tabla II. **Valores de voltaje, corriente y pérdidas de la prueba**

Tipo de cable	Corriente (A)	Voltaje (V)	Pérdidas (W)
ACCC/TW	100	0,2286	21,02
ACSS/TW		0,22483	21,98
ACSR		0,26828	27,53
ACCC/TW	200	0,45403	84,64
ACSS/TW		0,44753	87,91
ACSR		0,53518	110,11
ACCC/TW	640	1,46165	860,82
ACSS/TW		1,43129	900,22
ACSR		1,7082	1 127,55

Fuente: Li, Z. Test for power losses of ACCC, ACSS y ACSR conductors. p. 5.

1.5.3. Ampacidad

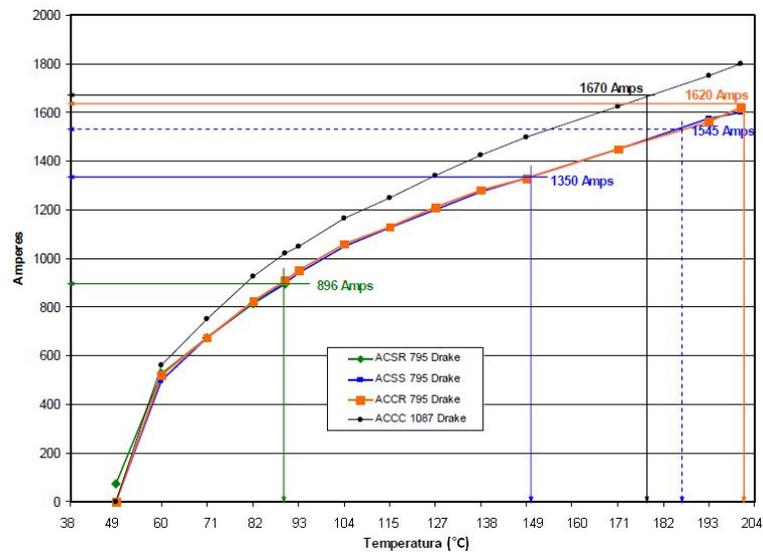
Se hicieron fluir distintos valores de corriente a través del conductor para producir distintas temperaturas que fueran menores a 225 grados Celsius. Se le permitió al conductor alcanzar estabilidad térmica a cada nivel de corriente, indicados en la tabla III. El conductor de prueba es de 1 572 milésimas de pulgada circular (kcmil) de área transversal. Se efectuó de acuerdo a Norma IEEE std 738, esta norma utiliza varias variables que incluyen velocidad del viento, temperatura del aire, resistencia del conductor a una temperatura determinada, latitud, elevación y otros. El ACCC transmite la misma cantidad de amperios de corriente que los equivalentes en diámetro Drake de ACSR, ACCR y ACSS pero a una temperatura menor, la temperatura y corriente registrada en los distintos tipos de cables se muestran en la figura 10.

Tabla III. **Resultados de temperatura de la prueba de ampacidad para ACCC Bittern**

Corriente (A)	Temperatura máxima (°C)
2 070	227
1 972	203
1 770	167
1 451	117
1 309	100
1 082	81
938	67

Fuente: C.J. Pon, M.J. Kastelein, High temperature sag-tension characterization and ampacity tests on 1 572 kmil Bittern ACCC/TW conductor for CTC. p. 6.

Figura 10. **Incremento de la temperatura en conductor tamaño Drake debido a la corriente**



Fuente: CATCHPOLE, Peter y BRYANT, Dave. Line engineering with ACCC conductor. p. 17.

1.5.4. Medición de campos electromagnéticos

Se utilizó la misma forma de conexión de cuando se hicieron las pruebas de pérdida de potencia, utilizando el mismo conductor. Se midió el campo magnético cercano al conductor utilizando un medidor Field Star 1000. Este medidor muestra el valor absoluto y las componentes X, Y y Z del campo magnético. El medidor se dejó fijo en un punto para hacer la comparación de todas directamente. En la tabla IV se muestran los valores del campo magnético obtenidos para el ACCC, ACSS y el ACSR respectivamente. No hubo una notable diferencia de los campos magnéticos, aunque una catenaria menor puede reducir la intensidad de campo magnético en el camino debajo de la línea.

Tabla IV. **Campo magnético cercano al ACCC, ACSS Y ACSR**
(miligauss)

	Corriente (A)	Dirección				Dirección			
		Este-oeste				Norte-sur			
		X	Y	Z	R	X	Y	Z	R
ACCC	Fondo	0,08	0	0	0,08	0,16	0	0	0,16
	50	15,6	5,04	40,8	44	4,64	16	41,2	44,4
	100	31,2	9,6	81,6	88	10	32	82,4	89,2
	150	46,4	14,1	128	136	12,8	48	128	136
	200	62,4	18,8	168	180	19,6	63,2	168	180
ACSS	Fondo	0,08	0	0	0,08	0,16	0	0	0,16
	50	15,2	5,8	40,4	43,2	5,72	15,6	40,4	43,6
	100	30,4	11,2	80,4	86,8	11,2	31,2	81,2	88
	150	44,8	19,2	128	136	16,8	46,4	128	136
	200	60,8	21,6	168	180	20,4	62,4	168	180
ACSR	Fondo	0,08	0	0	0,08	0,16	0	0	0,16
	50	15,6	5,68	40,4	43,6	6	16	40,8	44,4
	100	32	9,8	80,4	87,2	11,2	32	81,2	88,4
	150	46,4	19,6	128	136	16,8	48,4	132	136
	200	61,2	24,8	168	180	21,6	63,6	168	180

Fuente: Li, Z. Tests on magnetic field around ACCC, ACSS and ACSR conductors carrying an alternating current. p. 3.

1.5.5. Impedancia

Se utilizó la misma conexión del protocolo de pruebas de pérdida de potencia. Las señales de corriente y voltaje fueron registradas utilizando un osciloscopio para analizarlas. La temperatura del ambiente fue de 23 grados Celsius.

Los valores mostrados en la tabla V, la potencia real registrada es la obtenida debido a las pérdidas del conductor con las corrientes indicadas. La potencia reactiva representa la inductancia del conductor.

Tabla V. **Impedancia de los conductores**

Tipo de cable	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia real (W)	Potencia reactiva (VAR)	Resistencia en AC (ohm/km)	Reactancia inductiva interna (ohm/km)
ACCC/TW	100	0,2286	21,02	7,53	0,0573	0,0204
ACSS/TW		0,22483	21,98	7,36	0,0584	0,0199
ACSR		0,26828	27,53	7,7	0,0695	0,0209
ACCC/TW	200	0,45403	84,64	29,56	0,0573	0,0201
ACSS/TW		0,44753	87,91	29,11	0,0584	0,0198
ACSR		0,53518	110,11	30,55	0,0695	0,0207
ACCC/TW	640	1,46165	860,82	307,71	0,0573	0,0204
ACSS/TW		1,43129	900,22	300,71	0,0584	0,0199
ACSR		1,7082	1 127,55	314,47	0,0695	0,0208

Fuente: Li, Z. Tests to evaluate the internal impedances of ACCC, ACSS and ACSR conductors. p. 5.

Como se observa en la tabla V, hubo pequeñas diferencias en los resultados de la reactancia interna para los tres tipos de conductores evaluados. La componente resistiva de la impedancia interna es directamente proporcional a las pérdidas de potencia del conductor.

La reactancia se vuelve mayor si los conductores son utilizados en sistemas de transmisión de voltajes mayores que requieren de una distancia media geométrica mayor. Por lo cual, desde un punto de vista de ingeniería, estos tres conductores ofrecen la misma impedancia para la misma configuración física.

1.5.6. Efecto corona

Se hicieron pruebas de efecto corona en conductores ACCC del tamaño Drake y Bittern a 175, 200, 225, 230, 240 y 250 kilovoltios, el arreglo para la prueba se muestra en la figura 11. Se midió el inicio negativo del efecto corona a un gradiente de 22,8 kilovoltios/centímetro a 230 kilovoltios para el conductor ACCC Bittern y de 23,5 kilovoltios/centímetro a 208 kilovoltios para el ACCC Drake. Extinción del efecto corona positivo ocurrió en un gradiente de 23,8 kilovoltios/centímetro a 240 kilovoltios para el ACCC Bittern y de 25,9 kilovoltios/centímetro a 230 kilovoltios para el ACCC Drake.

Figura 11. **Conexión del ACCC para evaluar el efecto corona**



Fuente: Li, Z. Corona and radio influence voltage (RIV) tests on three sizes of transmission conductors. p. 2.

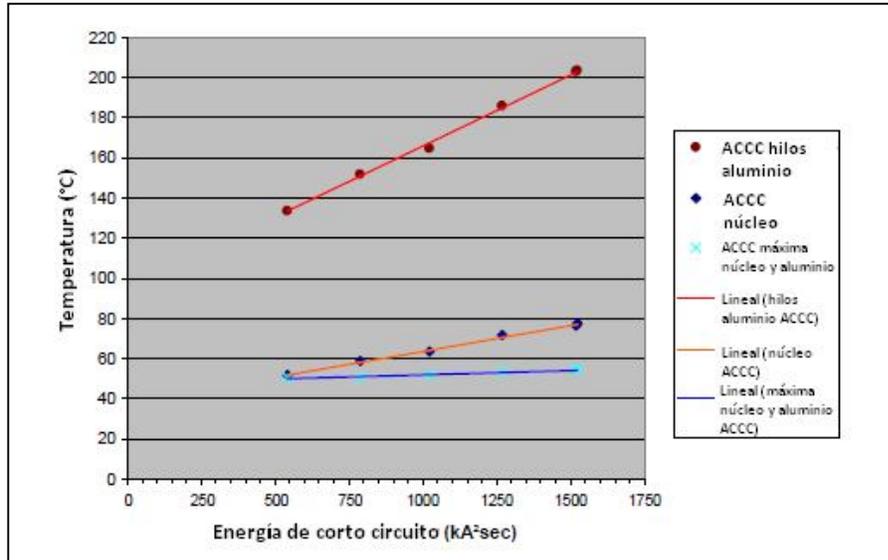
1.5.7. Ruido eléctrico

La prueba de ruido fue llevada a cabo en paralelo con la del efecto corona en los conductores ACCC Drake y Bittern. El efecto positivo corona genera un ruido audible y radial mientras que el negativo genera ruido audible pero insignificante radial.

1.5.8. Cortocircuito

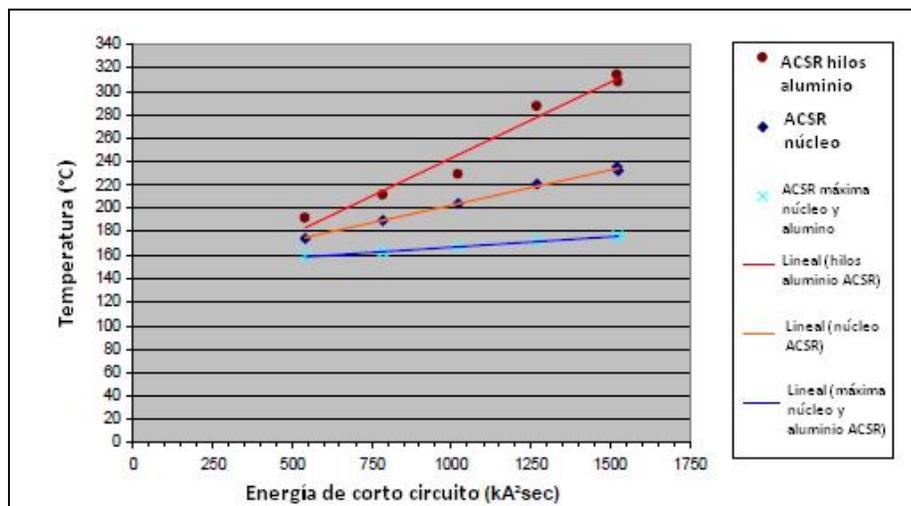
La prueba de cortocircuito fue realizada en un conductor ACSR y su equivalente en diámetro en ACCC. Cada conductor fue tensado al 15% de la tensión nominal del calibre y le fue aplicada corriente eléctrica para precalentarlo. La temperatura promedio en el ACSR fue de 157 y de 107 grados Celsius para el ACCC. Seis descargas de energía fueron aplicadas a los conductores, que variaron entre 542 y 1 525 kiloamperios al cuadrado/segundo. La duración de las descargas fue entre 349 y 1 018 milisegundos. Se observó una separación de los hilos en ambos conductores, pero el alma de ambos no sufrió daño perceptible a simple vista. La temperatura del alma del ACSR subió 75 grados Celsius durante la descarga más alta y prolongada, mientras que el del ACCC subió solamente 25 grados Celsius. La temperatura del núcleo del ACCC bajo luego de aproximadamente 60 segundos, mientras que la del alma del ACSR siguió en incremento, se indica en la figura 12 y 13 el incremento de la temperatura dadas las descargas de cortocircuito.

Figura 12. **Temperatura resultante por efectos de cortocircuito en el ACCC**



Fuente: PON, C.J. Short circuit test. p. 9.

Figura 13. **Temperatura resultante por efectos de cortocircuito en el ACSR**



Fuente: PON, C.J. Short circuit test. p. 9.

1.5.9. Descargas electroatmosféricas

Se hicieron pruebas de descargas electroatmosféricas al ACCC. Dos descargas consecutivas de 31,5 kiloamperios. Se observó poco daño (decoloración y fusión) a cuatro hilos exteriores, mostrados en la figura 14. No se observó que hubiese daño alguno al núcleo.

Figura 14. **Decoloración y fusión en el ACCC luego de prueba de descarga electroatmosférica**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 30.

1.6. Herrajes utilizados con el conductor ACCC

Se ha desarrollado una línea de herrajes para el conductor ACCC. El relleno de los empalmes y remates es una combinación de una cuña larga sobre el núcleo compuesto y una unidad de compresión para el aluminio.

El material del núcleo siendo un solo hilo de fibras y resina solidificada se siente duro al tacto. Su combinación de alta resistencia y alta elasticidad no es aparente intuitivamente. Las pruebas han revelado que la alta elasticidad permite que el núcleo pueda doblarse en un radio pequeño sin dañarse, además, se ha demostrado que correrlo sobre poleas tiende encorvar y reformar el aluminio antes que se dañe el núcleo. Cuando se está tendiendo el cable ACCC, el aluminio es el que requiere más cuidado que el núcleo en sí.

De los tres materiales que componen al núcleo, la fibra de vidrio y la resina son los más elásticos. Esto significa que cuando se rompan no expondrán las fibras de carbón al ambiente. El núcleo cede cuando la mezcla de carbón y resina es doblada con una compresión transversal. Esta falla es instantánea y se forma mediante una región plana en el núcleo, por lo que se recomiendan ciertos diámetros en las poleas de tendido de cable para evitar estas fallas.

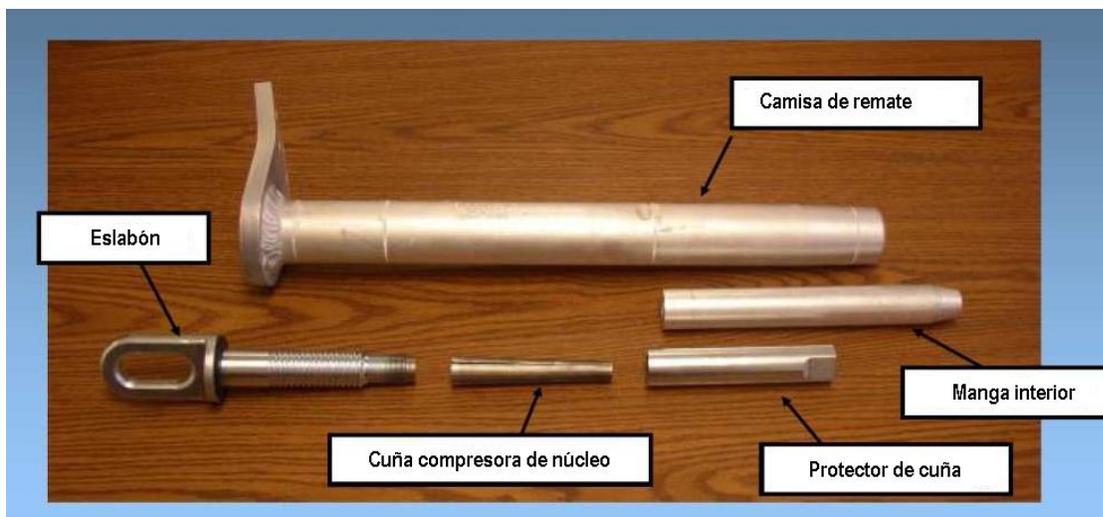
El punto de precaución radica en el radio de doblez que pueda ocurrir en las grapas de suspensión cuando el conductor es tendido con una considerable tensión y un gran ángulo de desviación. Esta disposición se da bajo tres diferentes circunstancias distintivas. Hay que tener cuidado con el radio y ángulo de desviación de las grapas de remate, cargas verticales altas y sobre todo grapas que tengan una alta carga debido al hielo. Bajo estas tres distintas, la tensión puede ser alta cuando el ángulo del conductor (el radio de giro es potencialmente pequeño) es de gran medida. El núcleo se puede fracturar y el aluminio puede ser deformado sin reparación si el radio de giro es muy pequeño.

Los herrajes utilizados tales como grapas de suspensión o los disipadores de calor deben estar diseñados para operar bajo altas temperaturas.

1.6.1. Remates

Los remates del conductor ACCC, mostrado en la figura 15, consisten en un sistema único de ensamble de cuña que está cubierto por una manga (un poco sobredimensionada, según el fabricante) de compresión de aluminio.

Figura 15. Remate del ACCC



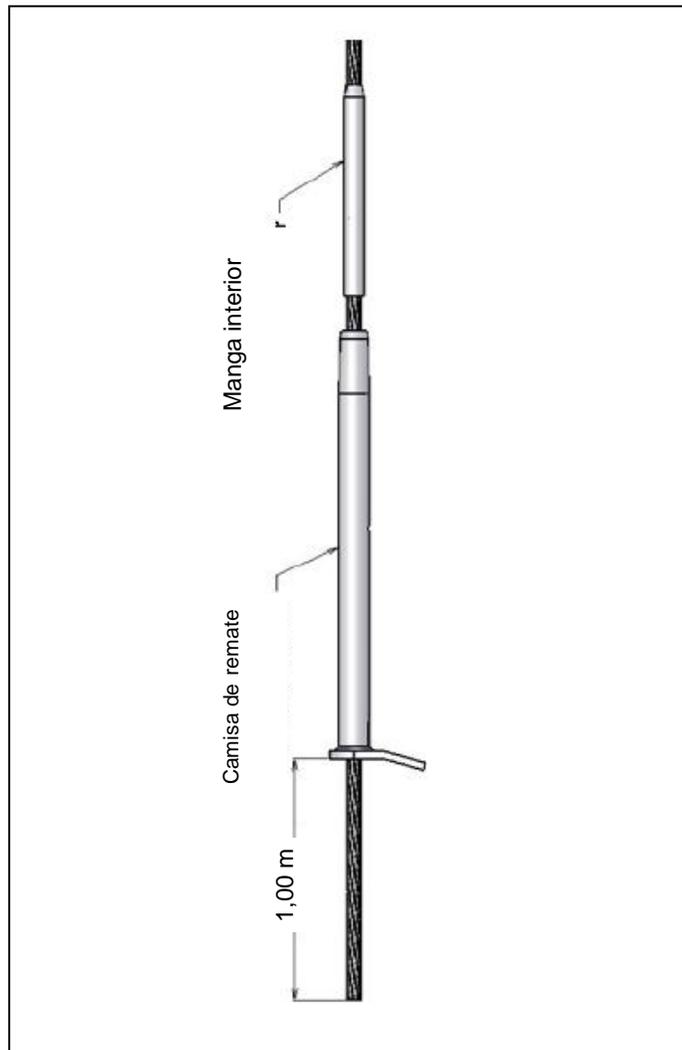
Fuente: CTC. CTC cable presentation. p. 22.

La instalación del remate es realizada siguiendo estos pasos:

- Deslizar la manga interior del remate a 1 metro de la punta del conductor ACCC, el lado estrecho de la manga debe estar opuesto a la punta donde se instalará el remate.

- Deslizar la camisa de remate sobre el conductor ACCC a aproximadamente 1 metro de la punta del conductor, según se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Ubicación de camisa de remate y manga interior**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

Tabla VI. **Longitud del núcleo expuesta para remate**

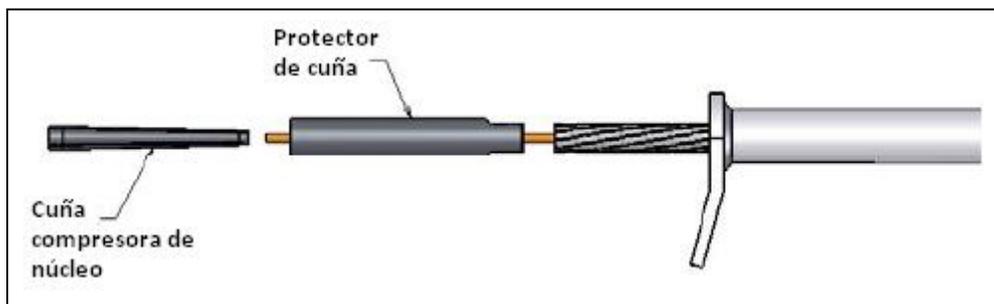
ACCC	Área (mm ²)	Diámetro exterior (mm)	Longitud del núcleo expuesto (mm)
Berna	165	15,50	230
Helsinki	160	15,65	
Copenhague	230	18,29	
Glasgow	245	19,53	
Lisboa	325	21,78	
Ámsterdam	380	23,55	
Bruselas	430	25,14	
Oslo	425	22,40	315
Estocolmo	470	26,40	
Varsovia	530	27,72	
Dublín	540	28,15	
Hamburgo	570	28,62	
Milán	590	29,10	
Roma	610	29,89	
Viena	640	30,42	
Budapest	690	31,50	
Praga	710	31,77	
Múnich	760	32,85	
Londres	780	33,40	
Paris	840	34,17	
Amberes	970	36,85	
Madrid	1 050	38,20	

Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

- Sujetar los hilos de aluminio a la distancia de exposición del núcleo indicada en la tabla VI, según corresponda al calibre.
- Exponer el núcleo sólido cortando por capas los hilos del aluminio cuidando de no cortar o astillar al núcleo y asegurarse también que no esté aplastado, si es necesario se puede ajustar con una sierra.

- Limpiar la superficie del núcleo de polvo o aceite. Frotar suavemente el núcleo con lija fina número 220 hasta que tome un tono blanco y limpiarlo nuevamente.
- Deslizar el núcleo dentro del protector de cuña con las marcas para llave inglesa viendo al aluminio, tal como lo indica la figura 17.

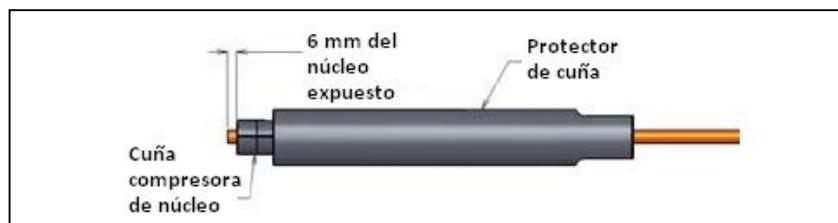
Figura 17. **Fijado de la cuña y protector de cuña**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

- Instalar la cuña compresora insertando el núcleo en el extremo estrecho primero deslizando hacia el protector de cuña dejando expuesto 6 milímetros del núcleo en el extremo ancho de la cuña tal como es ilustrado en la figura 18.

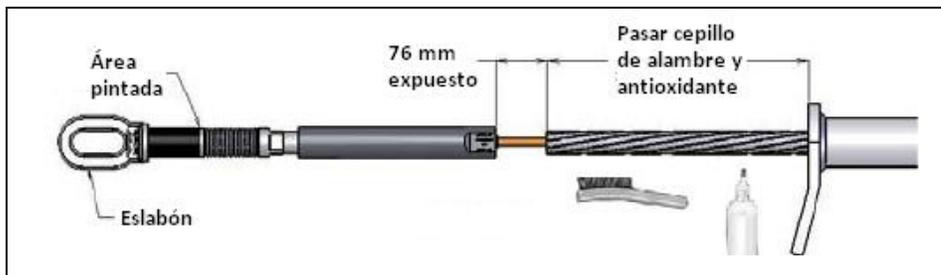
Figura 18. **Longitud del núcleo expuesto en la cuña en el remate**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

- Atornillar el eslabón a mano antes de apretarlo con la llave inglesa (12 kilogramos fuerza de torque mínimo). Asegurarse que queden aproximadamente 76 milímetros expuestos del núcleo entre la cuña compresora y los hilos de aluminio luego de haber apretado el eslabón, tal como lo indica la figura 19.

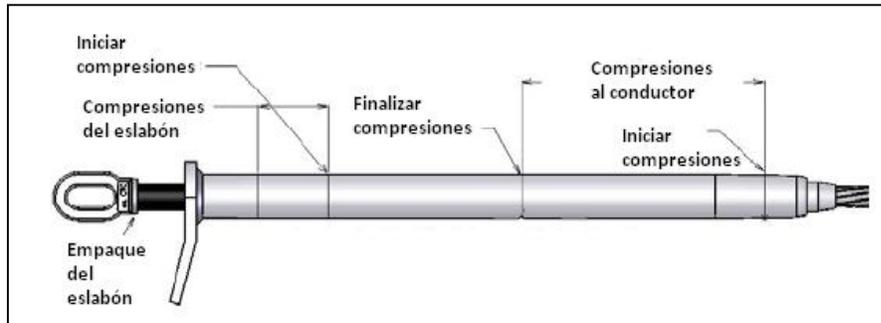
Figura 19. **Ensamble del eslabón**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

- Pasar cepillo de alambre y luego antioxidante sobre los hilos de aluminio que serán cubiertos por la camisa de remate, deslizarla hacia el eslabón sobre los hilos hasta llegar al área marcada/pintada en esta.
- Aplicar antioxidante a la superficie externa de la manga interior y deslizarla dentro de la camisa de remate.
- Comprimir iniciando en el lado opuesto del eslabón utilizando el tamaño correcto de dados e ir rotando ligeramente el caimanete hasta llegar a la marca en la camisa de remate, tal como se indica en la figura 20.

Figura 20. **Dirección de compresiones del remate**



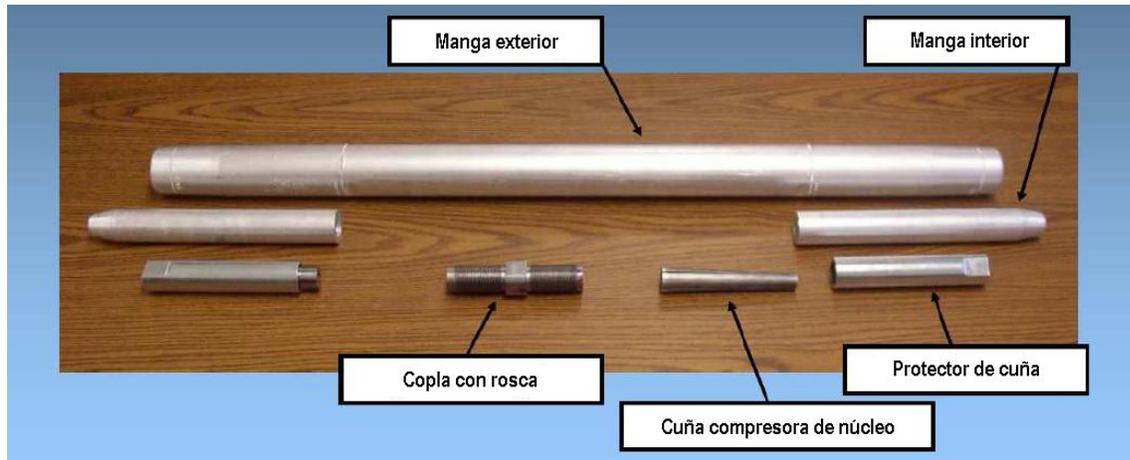
Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC dead end. p. 1.

- Comprimir en el área marcada para asegurar al eslabón. Hay que cerciorarse que esté el empaque en la roldana del eslabón. No sobre comprimir para evitar dañar al empaque. Se requerirán de 1,5 a 3 compresiones para que quede bien asegurado, preferible usar caimanete hidráulico de 60 toneladas.

1.6.2. **Empalmes al 100%**

Los empalmes del conductor ACCC, como se muestra en la figura 21, son muy similares a los remates excepto que utilizan dos ensambles de cuña que son unidos en los extremos mediante una copla con rosca.

Figura 21. Empalme al 100% del ACCC

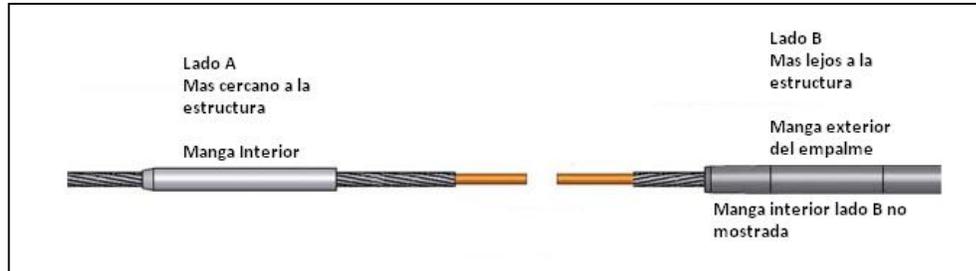


Fuente: CTC.CTC cable presentation. p. 22.

Las mangas interiores de aluminio de compresión son iguales al del remate. El procedimiento de instalación es el siguiente:

- Deslizar las mangas interiores del empalme a 1 metro de cada punta del conductor ACCC, el lado estrecho de la manga debe estar opuesto a la punta donde se instalará el remate.
- Deslizar la manga exterior 0,6 metros en el extremo del conductor que está del lado más lejos de la estructura (lado B), tal como se muestra en la figura 22.

Figura 22. **Posicionamiento de las mangas exterior e interior**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

Tabla VII. **Longitud del núcleo expuesta para empalme**

ACCC	Área (mm ²)	Diámetro exterior (mm)	Longitud del núcleo expuesto lado A (mm)	Longitud del núcleo expuesto lado B (mm)
Berna	165	15,50	230	180
Helsinki	160	15,65		
Copenhague	230	18,29		
Glasgow	245	19,53		
Lisboa	325	21,78		
Ámsterdam	380	23,55		
Bruselas	430	25,14		
Oslo	425	22,40		
Estocolmo	470	26,40	315	267
Varsovia	530	27,72		
Dublín	540	28,15		
Hamburgo	570	28,62		
Milán	590	29,10		
Roma	610	29,89		
Viena	640	30,42		
Budapest	690	31,50		
Praga	710	31,77		
Múnich	760	32,85		
Londres	780	33,40		
Paris	840	34,17		
Amberes	970	36,85		
Madrid	1 050	38,20		

Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

- Sujetar los hilos de aluminio del lado A y B a la distancia de exposición del núcleo indicada en la tabla VII, según sea el calibre.
- Exponer el núcleo sólido cortando por capas los hilos del aluminio cuidando de no cortar o astillar al núcleo y asegurarse también que no esté aplastado, si es necesario se puede ajustar con una sierra.
- Limpiar la superficie del núcleo de polvo o aceite. Frotar suavemente el núcleo con lija fina número 220 hasta que tome un tono blanco y limpiarlo nuevamente.
- Deslizar el núcleo dentro del protector de cuña con las marcas para llave inglesa viendo al aluminio, tal como lo indica la figura 23.

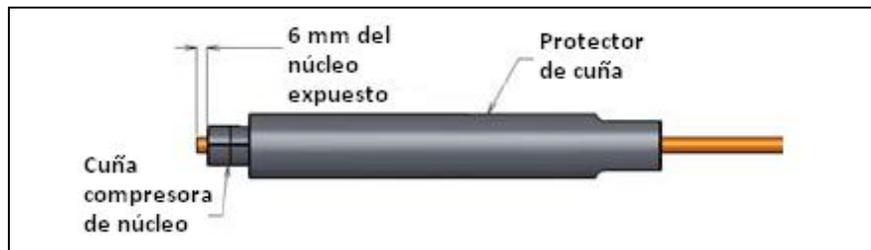
Figura 23. **Fijado de la cuña y protector de cuña para el empalme**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

- Instalar la cuña compresora insertando el núcleo en el extremo estrecho primero deslizando hacia el protector de cuña dejando expuesto 6 milímetros del núcleo en el extremo ancho de la cuña y repetir igual para el otro extremo, tal como es ilustrado en la figura 24.

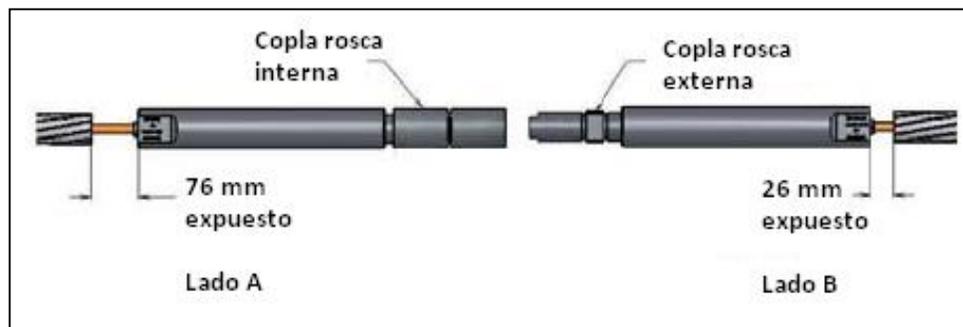
Figura 24. **Tramo expuesto de núcleo en la cuña en el empalme**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

- Atornillar la copla de rosca interna en el lado A (más cerca de la estructura) y la de rosca exterior en el lado B (opuesta más alejado de la estructura) y atornillarlo a mano, luego apretar con llave inglesa (12 kilogramos fuerza de torque).
- Hay que asegurarse que queden aproximadamente 76 milímetros en el lado A y 26 milímetros en el lado B, visibles del núcleo entre el protector de cuña y los hilos de aluminio, tal como se indica en la figura 25.

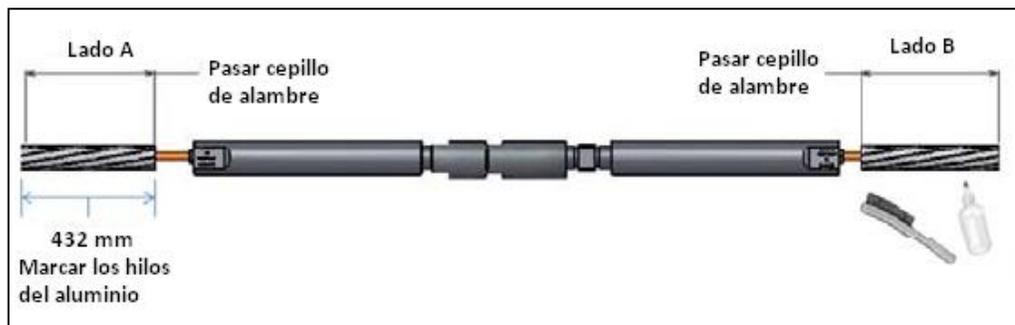
Figura 25. **Unión de la copla**



Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

- Juntar los dos lados del conductor y juntar las dos piezas copla enroscarlas a mano y luego apretarlas con llave inglesa (12 kilogramos fuerza de torque).
- Marcar el conductor del lado A a 432 milímetros de la punta de los hilos de aluminio con un marcador o cinta adhesiva, esta marca es donde se ubicará el extremo de la manga interior, quitar la cinta antes de aplicar el antioxidante.
- Pasar cepillo de alambre y luego antioxidante sobre los hilos de aluminio que serán cubiertos por la manga exterior y deslizarla sobre la unión enroscada, tal como se mira en la figura 26.

Figura 26. **Ensamble terminado**

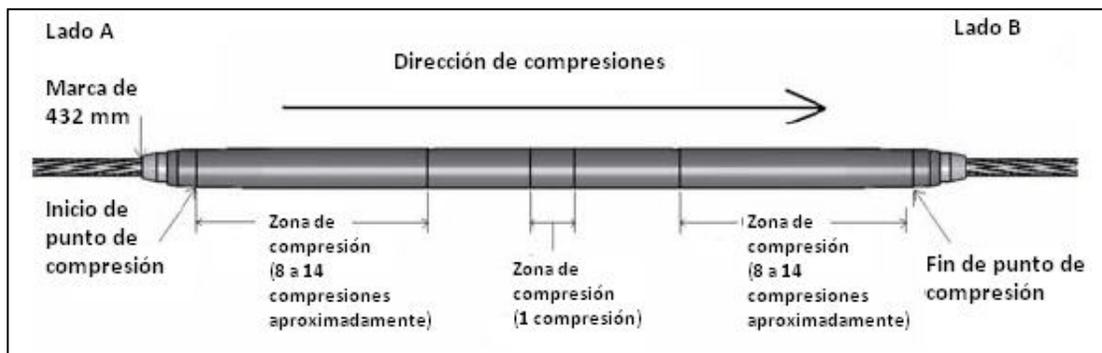


Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

- En el lado A aplicar antioxidante en la superficie exterior de la manga interior y deslizarla dentro de la manga exterior hasta que el extremo estrecho quede en el punto marcado de los 432 milímetros.

- Ya que la manga exterior está ubicada en su lugar, comprimirla empezando en el lado A en la marca de inicio indicada hacia el centro del empalme entrelazando 6 milímetros cada compresionada hasta la marca de fin de zona de compresión del lado A con caimanete hidráulico de 60 toneladas.
- Comprimir la manga exterior una vez en el centro en el área del acople.
- En el lado B aplicar antioxidante en la superficie exterior de la manga interior y deslizarla dentro de la manga exterior hasta que el extremo estrecho quede en el extremo de la manga exterior.
- Comprimir el lado B iniciando en la marca interna (compresión hacia fuera) hasta llegar al final de la zona de compresión, traslapar las compresiones 6 milímetros hasta llegar al final de la misma, siempre utilizando el tamaño correcto de dados e ir rotando ligeramente el caimanete, tal como se indica en la figura 27.

Figura 27. **Dirección de compresiones del empalme**

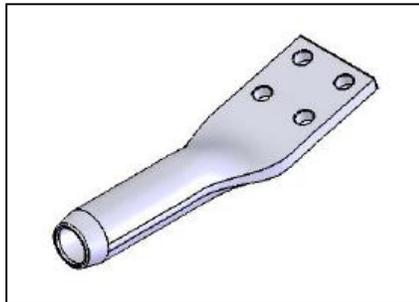


Fuente: CTC. Metric instructions for use ACCC splice. p. 1.

1.6.3. Paletas de conexión

Estos herrajes, mostrados en la figura 28, son utilizados para conexiones donde no hay tensión mecánica y nunca deben ser expuestos a alguna carga mecánica.

Figura 28. Paleta de conexión



Fuente: CTC. ACCC/TW terminal jumper. p. 1.

Para reducir una separación de los hilos, cada paleta en cada extremo del conductor se comprime hacia atrás siguiendo este método:

- Ambos extremos del tramo del conductor tienen que tener el corte limpio, sin exponer al núcleo.
- Pasar el cepillo de alambre sobre los hilos de aluminio de la superficie del conductor, aplicar una capa del antioxidante y esparcirlo sobre la superficie para que penetre en los espacios entre los hilos del conductor.
- Insertar uno de los extremos en el barril de la paleta.

- Compresionar con caimanete hidráulico de 60 toneladas con el tamaño correcto de dados, traslapándolas en el área indicada en la paleta.
- Para el otro extremo, insertar el conductor en el barril de la paleta hasta donde tope y marcar con un marcador en el conductor hasta donde llega la paleta, luego sacarlo 2,54 centímetros (1 pulgada). Compresionar con el caimanete de adelante hacia atrás. Se deben traslapar las compresiones en el área marcada de la paleta. La técnica de compresionar de atrás hacia delante consiste en iniciar las compresiones donde termina el conductor hacia los agujeros de la paleta.
- Cuando el accesorio es compresionado hacia atrás, el exceso de antioxidante dentro del barril del herraje es forzado hidráulicamente hacia fuera de la paleta en la parte plana. Para prevenir esto, se puede barrenar un pequeño agujero en el final del tubo de compresión, lo que permitirá que se purgue el exceso del antioxidante a través del orificio. Una vez esté compresionada la paleta, rellenar el orificio con un pedazo de uno de los hilos del conductor golpeándolo levemente hasta que quede a ras de la superficie del herraje.
- Remover las marcas astilladas que surjan luego de haberlo compresionado limándolas, para dejar el acabado final mostrado en la figura 29.

Figura 29. **Paleta de conexión terminada**



Fuente: CHAN, P. Hardware salt fog test. p. 5.

1.6.4. **Protectores preformados**

Debido a que es aluminio templado el utilizado en el conductor ACCC, este es más suave que el utilizado en conductores con alma de acero, por lo que es necesaria la utilización de protectores preformados de alta temperatura. El protector preformado utilizado en conjunto con las grapas de suspensión de alta temperatura, como se muestra en la figura 30, ayuda a la disipación del calor en el aislador y protege los hilos de aluminio templado.

Figura 30. **Protector preformado usado con ACCC en suspensión**

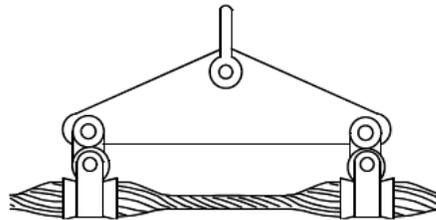


Fuente: CTC. CTC cable presentation. p. 25.

1.6.5. Grapas dobles de suspensión

Cuando son requeridos apoyos dobles para ángulos mayores a 30 grados pero menor a 60 grados, se deberán usar las grapas dobles en conjunto con una plancha triangular como la mostrada en la figura 31 u otro método.

Figura 31. Grapas dobles de suspensión



Fuente: CTC. ACCC conductor installation guidelines. p. 11.

1.6.6. Grapas de sujeción del conductor

Las grapas de sujeción de los conductores deben ser del tipo Klein o Chicago. Estas grapas deben ser del tamaño exacto del conductor instalado.

Poner la grapa que está fijada a la extensión lo más alejado posible en el conductor, es preferible a 6 metros o más. Esto se realiza para evitar que se abran los hilos del conductor, lo cual sucede cuando se usa conductor de tipo comprimido.

1.6.7. Tierras de seguridad

La tierra debe ser dimensionada de tal forma que pueda interrumpir la corriente de falla que se pueda ver en el conductor instalado. Grapas de tierra deben ser instaladas fuera del remate del conductor viendo hacia la siguiente estructura. Esto se hace para evitar que se abran los hilos del conductor.

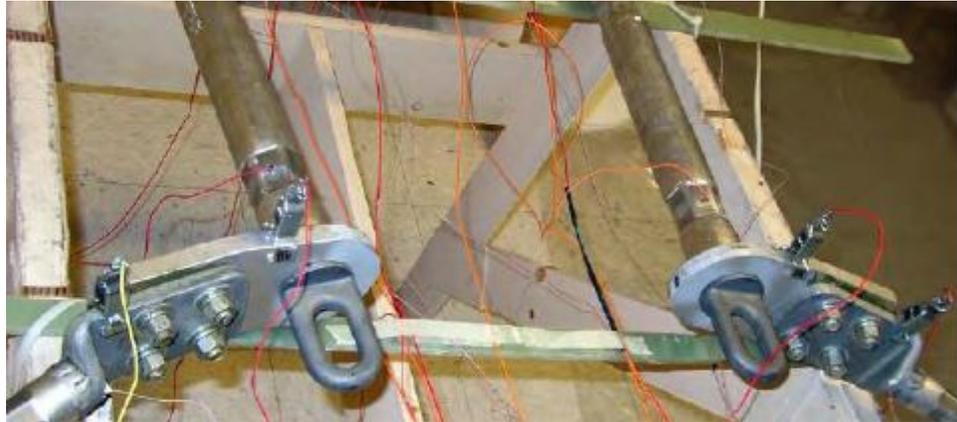
1.6.8. Pruebas realizadas a los herrajes

Varias pruebas industriales estándares se han hecho en el conductor ACCC y sus componentes de los herrajes para evaluar el desempeño, conveniencia y compatibilidad en todo el sistema del conductor para asegurar su rendimiento y fiabilidad a largo plazo.

1.6.8.1. Ciclo de corriente

Se han hecho varias pruebas de ciclo de corriente al conductor ACCC y a los ensambles de remates siguiendo las directrices ANSI C119.4. La prueba fue realizada en una configuración de anillo cerrado donde altas corrientes se hicieron fluir a través del conductor y remates sin someterlo a carga mecánica, tal como ilustra la figura 32.

Figura 32. **Conexión de transductores en los remates del ACCC**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 31.

Se utilizaron termocoplas para medir la temperatura del conductor y de los herrajes para verificar que no haya cambios de resistividad durante los 500 ciclos térmicos. Mientras que la temperatura del conductor fue entre 200 a 225 grados Celsius, la temperatura del remate es típicamente un 50% de la del conductor debido a su masa adicional.

1.6.8.2. Carga sostenida

Pruebas de carga sostenida se realizaron al conductor ACCC para asegurarse que los remates pueden soportar con éxito la carga. Se fijaron remates en cada extremo de un tramo de 15 metros aproximadamente y luego es sometido a una fuerza del 77% de la tensión nominal del conductor. Es dejado bajo esta carga mecánica por una semana y luego es llevado a la ruptura.

1.6.8.3. Corrosión salina en herrajes

Se sometió al herraje a una solución salina al 5% durante 1 000 horas en una cámara cerrada, mostrada en la figura 33, donde le rocía la solución con un atomizador manteniendo la humedad arriba del 95% a una temperatura de 35 grados Celsius. Se observó una pequeña degradación a las mangas de aluminio pero al diseccionar la pieza no se observó degradación interna o reacción galvánica. Se siguieron los lineamientos de la Norma ASTM B117.

Figura 33. **Cámara usada de prueba de corrosión salina**



Fuente: COLBERT, M. Salt spray corrosion test on 1 020 kcmil ACCC/TW conductor. p. 5.

1.6.8.4. Resistencia eléctrica

Se evaluaron tanto al conductor ACCC como los herrajes que han sido desgastados tanto eléctrica como mecánicamente para asegurarse que la conductividad eléctrica no se haya degradado con el tiempo, el método de prueba fue igual a como se evaluó la resistencia eléctrica del conductor en sí.

1.6.8.5. Calor estático

Pruebas de calor estático fueron hechas en conductores y en empalmes del ACCC para asegurarse que la resistencia eléctrica entre los componentes no se degrade con el tiempo. Las pruebas fueron realizadas a 150, 180 y 200 grados Celsius sobre la temperatura ambiental. La temperatura máxima alcanzada por el conductor durante la evaluación cíclica fue de 240 grados Celsius.

1.6.8.6. Grapa de suspensión

Se evaluó la estabilidad y conveniencia de las grapas de suspensión en el conductor ACCC durante las pruebas de vibración eólica y de galope; fueron realizados en conjunto con la prueba de galope y vibración eólica del conductor, siguiendo lineamientos de la Norma IEEE 1138-1994.

1.6.8.7. Termomecánica

Prueba realizada con el fin de evaluar que tanto el conductor como el remate pueda soportar la tensión mecánica nominal luego de haber sido degradado por ciclos repetidos de carga termomecánica.

1.6.8.8. Carga mecánica cíclica

Prueba realizada con el propósito de asegurarse que no haya pérdida de desempeño eléctrico o mecánico a través del tiempo luego de haber sido sometido a una carga mecánica continua.

1.6.9. Manejo e instalación del cable ACCC

A continuación se dan las pautas necesarias para el correcto transporte e instalación del ACCC.

1.6.9.1. Requerimientos de manejo del carrete

Los conductores de aluminio son enviados en contenedores o carretes robustos diseñados cuidadosamente que protegen al conductor que no se dañe cuando esté en tránsito, almacenaje y en el punto de instalación. El conductor es inspeccionado durante todas las etapas de fabricación y empaque antes de su envío. Todos los carretes tienen 915 milímetros de diámetro mínimo en el tambor, con un agujero del eje de 134 milímetros para carretes de 2 286 milímetros y de 83 milímetros para carretes de 1 880 milímetros de diámetro, a menos que se especifique otro.

Los carretes son construidos de tal forma que se deben apoyar ya sea sobre el eje o la pestaña del mismo. Carretes metálicos retornables pueden ser apoyados en una armazón que sujeta la pestaña y lo levanta de arriba. Cuando un eje que está apoyado por arriba levanta el carrete, se debe usar una barra de extensión para evitar que se dañe tanto el conductor como el carrete o ambos, por presión hacia adentro de la pestaña del carrete. Debe haber equipo apropiado para levantar el carrete.

Las bases de los carretes son diseñadas para utilizarse con atirantadora para proporcionar la contratensión necesaria del conductor. La base es seleccionada para acomodar a las dimensiones y peso del carrete.

Algunos carretes no han sido diseñados para soportar las fuerzas desarrolladas por el frenado durante la operación de tendido del conductor. No se debe hacer tensión directa al carrete durante la operación de atirantado del cable. El conductor puede ser jalado directamente de la base del carrete cuando se empleen métodos de atirantado de cuerda.

Si la base del carrete no es para el despacho, se debe usar una grúa, montacargas o equipo apropiado para cargar al carrete a la base. Los carretes deben ser manipulados adecuadamente durante el proceso de carga, descarga y manejo. Se debe usar grúas y equipo de la capacidad adecuada para evitar daños y accidentes.

Es importante que el carrete del conductor ACCC no sea levantado poniendo las paletas del montacargas directamente debajo del tambor del carrete lo que permitiría que las paletas estén en contacto directo con el conductor o con la envoltura. Cinchos, cabestrantes, lazos de nailon u otros tipos de dispositivos de montura no deben ser puestos nunca alrededor del conductor para levantar el carrete ya que el conductor ACCC se puede dañar si se utilizan esos dispositivos.

Levantar el carrete acercándose lateralmente poniendo las paletas del montacargas bajo las pestañas. Los hilos trapezoidales del conductor son de aluminio templado por lo que se pueden dañar. Una barra con cinchos o cadenas ensamblada directamente al carrete es el método más adecuado para descargarlo. En ningún momento se debe recostar el carrete sobre su lado durante el descargo o almacenaje.

Si se debe enrollar el conductor en su carrete o en otro, se debe tener mucha precaución ya que se debe estar presionando todo el tiempo además que no se deben entrecruzar secciones de este.

1.6.9.2. Almacenaje

Si el conductor será almacenado durante un período largo de tiempo antes de su uso, el carrete que contenga al conductor no debe estar sobre el piso y protegerlo de cualquier daño posible.

Las etiquetas de identificación y otras marcas deben ser conservadas en todos los paquetes hasta que el conductor sea utilizado. Las etiquetas de identificación deben ser protegidas de la intemperie para que conserven la información.

Es recomendable que se conserve la cubierta de cartón con la que viene tapada la capa más externa del conductor y removerla hasta que vaya a ser utilizado. La temperatura de almacenaje puede oscilar entre - 40 a 45 grados Celsius.

1.6.9.3. Tendido del conductor

Los carretes del conductor deben ser cargados en el andamio de despacho antes de quitarle toda la envoltura protectora. Luego de haber removido la envoltura se debe inspeccionar al carrete que no tenga clavos u otros objetos filosos que puedan dañar al conductor mientras se va desenrollando. Las poleas de tendido del cable deben ser del mismo tamaño que del carrete. Si estas poleas son muy pequeñas, la tendencia del conductor es oscilar y puede dañar el núcleo.

Adicionalmente, los frenos no pueden funcionar adecuadamente si el carrete no se controla correctamente, en todos los casos se debe anclar la base del carrete antes de tender el conductor.

Se debe utilizar un mecanismo de frenado de carrete que esté en línea recta con el atirantador para evitar que se encorve o desentorche. Se debe aplicar una contratensión adecuada todo el tiempo durante la operación de tendido para prevenir que el conductor se enrede o que se desalinee con el equipo de tensado o tendido.

Las poleas de tendido deben ser de un mínimo de 40 veces del diámetro del conductor, siendo medido hasta la ranura de la polea. Se debe inspeccionar al conductor continuamente mientras va ingresando al equipo de tendido para que no lleve tierra, objetos extraños, cortes o abrasiones, el mismo cuidado se debe tener con las poleas de tendido para que no raspe al mismo mientras pasa a través de ella. El conductor no debe ser jalado sobre el suelo o subyacente a estructuras (tales como cercas) ya que puede dañar los suaves hilos de aluminio causando que se den descargas o efecto corona cuando se energice.

Es una buena práctica el conservar las etiquetas del carrete además de documentar la sección de la línea donde se están usando los carretes específicos del conductor. Es recomendable utilizar la envoltura que protege al conductor en el carrete y ponerla en suelo para protegerlo durante el tendido o instalación de herrajes. Si por razones no intencionadas el conductor entra en contacto con el suelo o tierra, se debe limpiar inmediatamente.

Siempre se deben usar rodillos, rieles, poleas, polipastos, etcétera, de neopreno o uretano cuando se tiende el conductor. En algunos países utilizan poleas metálicas sencillas para instalar el conductor. Si estas son utilizadas es muy importante que se examinen todas las poleas para que no tengan marcas abrasivas, tierra o surcos en las ranuras para evitar que causen daño al conductor ACCC.

Figura 34. **Grapa que sujeta al núcleo**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 48.

Se debe poner una grapa con arandela al núcleo, ilustrada en la figura 34, antes de ponerle la camisa Kellum de sujeción y tensión. Quitar aproximadamente 102 milímetros (4 pulgadas) del aluminio de la punta del conductor. Limpiar el núcleo con un trozo de tela seco y quitarle el brillo con una lija fina. Luego que se halla puesto la grapa y arandela, poner aproximadamente 77 milímetros (3 pulgadas) de cinta alrededor de los hilos del punto de corte para evitar que se separen. Si son utilizados dos Kellum unidos, el procedimiento anterior debe ser seguido para la segunda grapa Kellum. Hay que asegurarse que la cinta este colocada sobre cualquier orilla áspera fuera de la grapa Kellum cerca de los agujeros y eslabones de jalado para ayudar a las grapas que pasen con facilidad a través de las poleas.

La cinta también protege a la cubierta plástica de las poleas cuando la grapa Kellum pasa a través de ella. Se recomienda no doblar al conductor a menos del diámetro de curvatura indicada en la tabla VIII, ya sea tanto en el manejo como en la instalación en las estructuras inicial, final, cambio de dirección e intermedias y los tamaños mínimos de poleas recomendadas para las estructuras inicial, final, intermedias y en las de cambio de dirección.

Tabla VIII. **Diámetro recomendado de las poleas para tender el ACCC**

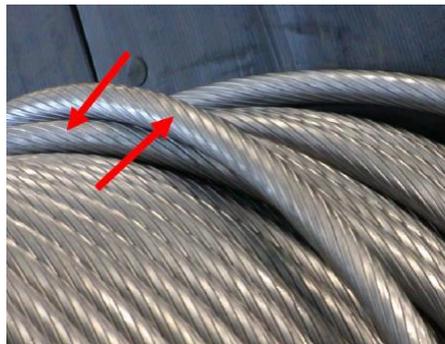
Diámetro total del conductor ACCC (mm)	Nombre del conductor ACCC	Diámetro mínimo de curva (mm)	Diámetro mínimo de la polea en la primera y última estructura (mm)	Diámetro mínimo de la polea en estructuras intermedias (mm)	Poleas requeridas para el cambio de dirección, entre 20° y 30° (mm)
18,29	Copenhague	330	360	305	360
21,78	Lisboa	457	508	408	508
22,40	Oslo	586	710	560	710
23,55	Ámsterdam	534	560	508	560
25,14	Bruselas	584	710		560
26,40	Estocolmo	586			
27,72	Varsovia				
29,10	Milán				
30,42	Viena				
31,77	Praga				
34,17	Paris	813	890	710	890
28,15	Dublín				
31,50	Budapest				
32,85	Munich				
33,40	Londres				
36,85	Amberes	864			
38,16	Madrid				

Fuente: CTC. ACCC conductor installation guidelines. p. 7.

1.6.9.4. Tensionadores

Surcos semicirculares de 0,5 o más veces del diámetro del conductor son aceptables. El número de surcos de la polea de tendido debe ser suficiente que eviten que la capa exterior de los hilos del conductor resbalen sobre las capas inferiores del mismo tal como lo ilustra la figura 35. Las poleas de tendido deben ser alineadas a aproximadamente un surco y medio de espacio entre ellas.

Figura 35. **Sobreposición de las capas inferiores en el carrete del ACCC**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 49.

Para conductores ACCC, cuyos hilos están enrollados hacia la derecha en la capa exterior, las poleas deben ser acomodadas de tal forma que cuando el conductor esté siendo jalado, entre en la polea del lado izquierdo y se tire hacia fuera de esta por la derecha. Este arreglo es necesario para evitar cualquier tendencia que tengan los hilos de la capa exterior de aflojarse mientras pasan a través de la polea. Cable de estática, hilo de guarda y cualquier cable mensajero generalmente están entorchados a la izquierda por lo que deben entrar por la derecha y ser jalados por la izquierda.

El material y acabado de los surcos debe ser tal que no desfigure la superficie del conductor. Surcos cubiertos con elastómero son recomendados para todos los conductores, pero son importantes particularmente para conductores no especulares. Cuando un elastómero semiconductor es utilizado para revestir los surcos, no se debe confiar para un aterrizamiento seguro. Poleas con surcos en forma de V no deben ser usados para el conductor ACCC. El conductor no se desliza bien en el surco y se puede quebrar el núcleo.

Figura 36. **Ángulo de tendido del ACCC**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 49.

Es importante que se use una proporción mínima de 3 a 1 entre el atirantador y la polea en la primera estructura y entre el tensionador y la polea de la última estructura durante el procedimiento de tendido para evitar doblar el conductor a ángulos severos tal como se ve en la figura 36. El atirantador debe ser orientado hacia la derecha, lo que significa que el conductor salga del carrete e ingrese en el lado izquierdo del atirantador y el conductor que salga y se dirija a la primera estructura sobre el lado derecho del mismo.

El equipo de tendido y las poleas deben estar bien alineados todo el tiempo. Puede haber ocasiones en que la relación de las poleas no se pueda mantener en 3 a 1, por lo que se puede utilizar un método alternativo de poleas mayores o dobles. Puede ser posible el rotar el atirantador y al tensionador de tal forma que se pueda parar al conductor en el remate sin causarle daño alguno. Ángulos severos tienen la tendencia de aplastar al conductor, lo que resulta en la separación de los hilos durante la instalación de los remates o empalmes.

Se debe estar frenando al carrete constantemente para evitar que se afloje el conductor cuando se encuentra entre el carrete y el atirantador. Esta situación puede provocar que el conductor se salga de la polea del atirantador y se dañe severamente. El operador del freno del carrete, de la atirantadora y del tensionador debe tener experiencia con el equipo utilizado para tender al conductor ACCC.

Se debe mantener una buena comunicación por radio entre los operadores de la maquinaria y los linieros que observan al conductor que se está instalando. Sólo tensionadores con surcos múltiples deben ser usados. Se debe evitar los polipastos con surcos en V con el conductor ACCC, ya que estos dañan al cable y su uso es inaceptable en la instalación de este cable. Cuando se está tendiendo el conductor es importante mantener la suficiente tensión para evitar que se doble en exceso en las poleas.

Grapas estándar Kellum, también conocidas como protectores preformados, pueden ser usados para jalar al conductor ACCC. Las grapas Kellum deben sujetarse con dos cinchos al final de la grapa. Esta sujeción sirve para dos propósitos:

- La fuerza de las bandas obligan a la grapa Kellum a presionar a los hilos, lo que da como resultado un agarre más firme al núcleo durante el proceso de tendido.
- Cuando se usan dos preformados Kellum unidos, el más cerca de la cuerda de tendido o al conductor viejo, se puede quedar trabada en las poleas, lo que ocasionaría que se soltara el conductor si no tuviera puestos los dos cinchos de sujeción. Puede haber ocasiones en que se tengan dos carretes de ACCC que se puedan instalar satisfactoriamente si se tienen los dos juegos de grapas Kellum.

Poleas en buena condición de operación deben ser usadas todo el tiempo durante la instalación. Grapas Pocketbook, Chicago o Klein pueden ser usadas para sujetar al conductor cuando se está tensando. El tamaño de las grapas debe ser igual al diámetro del conductor para minimizar la distorsión de los hilos y maximizar al agarre tal como es mostrado en la figura 37.

El tamaño de la quijada de estas debe ser del tipo largo con acabado liso. No utilizar grapas diseñadas para una gama amplia de tamaño de conductores o con quijadas cortas.

Figura 37. **Grapas y protectores recomendados para tirar el ACCC**



Fuente: CTC. ACCC summary technical report. p. 51.

Todas las grapas del conductor deben estar limpias, calculadas correctamente mecánicamente para asegurarse que puedan resistir la tensión máxima de instalación, puede ser necesario el uso de grapas más fuertes para algunas aplicaciones donde haya alta tensión mecánica.

La Norma IEEE 524 recomienda deban ser sujetados en su posición final en un rango de 24 a 48 horas de su instalación, también recomienda que el tiempo máximo que los conductores deban estar sobre las poleas (desde la instalación inicial hasta que son fijados en su posición final) no exceda las 72 horas.

1.6.9.5. Precauciones a la hora de tender el conductor

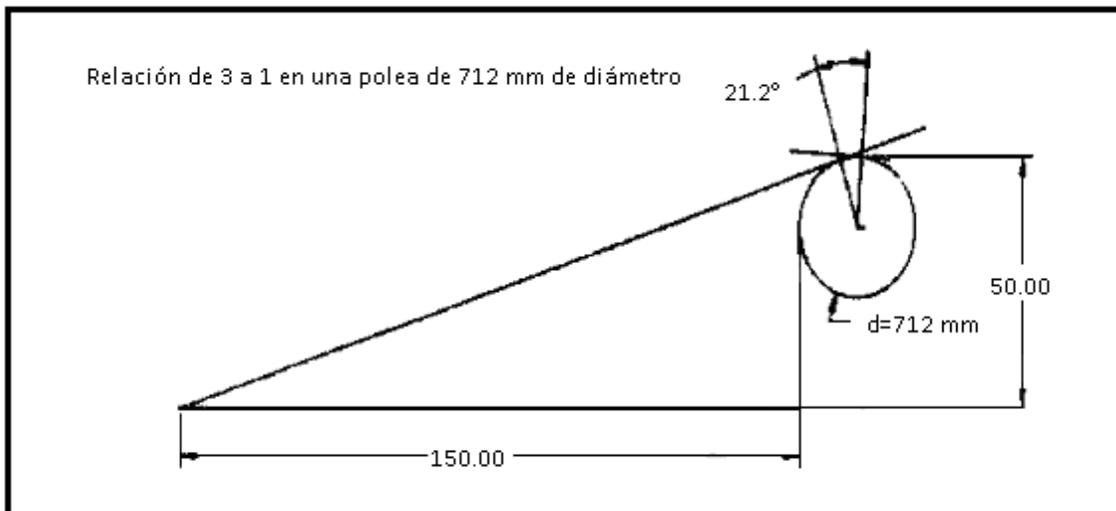
El carrete del conductor debe estar detrás de la estructura a un mínimo de una relación de 3 a 1 teniendo de referencia la altura de la estructura. Si la estructura es de 31 metros de alto, el carrete debe estar a un mínimo de 93 metros de distancia antes de jalar el conductor. Si esta proporción no puede ser obtenida se recomienda utilizar poleas dobles o sobredimensionadas en la primera estructura luego del atirantador. Antes de instalar remates, es importante que el estribo del aterrizamiento esté lo más lejos de la línea posible, preferentemente a 6 metros o más para evitar que se separen los hilos.

Si durante el proceso de instalación, el conductor ACCC se dobla en un ángulo muy agudo y este tramo del conductor será o no será sometido a tensión mecánica, se debe cortar la sección del conductor e instalar un empalme al 100%. El ángulo agudo pudo haber dañado inadvertidamente algunas de las fibras poltruidas del material del núcleo del conductor. Los ángulos agudos pueden ser evitados mediante poleas adecuadas y un control continuo de la contra tensión y desenrollo del carrete.

Cuando hay una subida o bajada muy brusca del conductor ACCC en cualquier estructura o torre, es importante el uso de poleas dobles, preferentemente de 712 milímetros o mayores para cada una. Esto es medido hasta el surco de la polea y no de toda la circunferencia. En ninguna ocasión se debe jalar al conductor ACCC a un ángulo mayor de 30 grados.

Si es mayor a 30 grados, debe usarse poleas dobles o sobredimensionadas para reducirlo debajo de este valor. Si el ángulo es muy grande para utilizar poleas dobles o sobredimensionadas para reducirlo debajo de 30 grados, entonces se debe rematar al conductor en la estructura, en la figura 38 se muestran con claridad las proporciones de distancia del carrete a la estructura.

Figura 38. **Relación de distancia del carrete a la estructura**



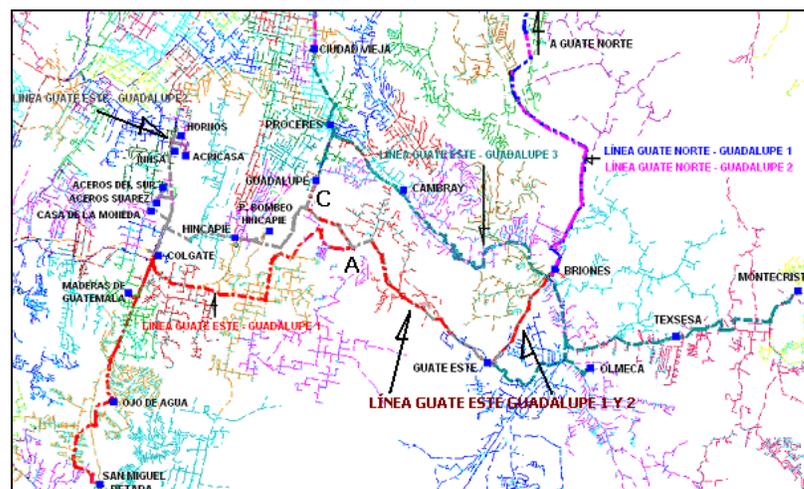
Fuente: elaboración propia.

2. IMPLEMENTACIÓN DEL ACCC EN LA LÍNEA GUATE ESTE - GUADALUPE 1 Y 2, TRAMO ENTRE LA SUBESTACIÓN GUATE ESTE Y SUBESTACIÓN RODRÍGUEZ BRIONES

2.1. Análisis de la situación actual de las líneas

El área donde se ubican las líneas Guate Este – Guadalupe 1 y 2, es en el municipio de Santa Catarina Pínula y en el sur este del departamento de Guatemala, específicamente en el área comprendida entre la subestación Guate Este y la Subestación Rodríguez Briones, ubicada en el kilómetro 15 carretera a El Salvador, como se muestra en la figura 39.

Figura 39. Ubicación geográfica de las líneas Guate Este – Guadalupe 1 y 2



Fuente: elaboración propia, con programa Google maps.

Las líneas Guate Este – Guadalupe 1 y 2 se conectan a los campos del mismo nombre de la subestación Guate Este por medio de dos líneas de 25 metros de longitud cada una, con conductor AAAC Flint, en la salida de Guate Este se divide en dos ramales: el primero hacia la subestación Rodríguez Briones y el otro, relativamente de mayor longitud, llega hasta el Sector Industrial en la zona 12 de la Ciudad Capital. Se separan en la aldea Cuchilla del Carmen (punto A en la figura 39); a partir del cual la línea Guate Este – Guadalupe 1 continúa en postes de concreto con conductor AAAC Darién (60 megavatios) hasta donde ambas líneas vuelven a encontrarse en la subestación Colgate y sigue con conductor ACSR Partridge (40 megavatios) hasta el Sector Industrial; alimentando las cargas de las subestaciones Colgate, Maderas de Guatemala, Ojo de Agua y San Miguel Petapa.

Por su parte, la línea Guate Este Guadalupe 2, continúa en torres de celosía de doble circuito, cada uno con conductor ACSR Partridge, pero conformando un solo circuito con sus conductores por fase en paralelo (2*47 megavatios); llega donde se deriva la alimentación a la subestación Guadalupe (punto C en la figura 39), continúa así hasta el punto de aproximación entre estas líneas cerca de la planta de bombeo Hincapié y de aquí continúa con conductor AAAC Darién, uno por fase, hasta la subestación Hincapié, a partir de la cual continúa con conductor ACSR Partridge hasta el Sector Industrial; las cargas que alimenta son: Planta de bombeo Hincapié, subestación Hincapié, Hornos, Hinsá, Aceros del Sur y Aceros Suárez.

Estas líneas, en el tramo entre la bifurcación frente a la subestación Guatemala Este y la subestación Rodríguez Briones, objeto del análisis, tienen una capacidad de conducción de 53,8 megavatios con conductor ACSR Linnet, a lo largo de sus 2,7 kilómetros de recorrido.

Actualmente, no transportan flujo de potencia, debido a que se encuentran abiertas con elementos de maniobra dentro de la subestación Rodríguez Briones y son utilizadas en caso de contingencia, pero poseen una capacidad de conducción reducida para los requerimientos actuales del sistema.

Debido al reconductorado propuesto en el tramo indicado de las líneas mencionadas, es importante mencionar que estas líneas alimentan las siguientes subestaciones: Arrazola (14 megavatios), Montecristo (14 megavatios), Cambray (28 megavatios), Próceres (28 megavatios) y Guadalupe (28 megavatios), se alimentan desde la subestación Guate Este, por medio de la línea de transmisión Guate Este – Guadalupe 3, la cual tiene una capacidad de conducción de 80 megavatios (conductor AAAC Flint) hasta donde se derivan los alimentadores para las subestaciones Próceres y Guadalupe punto donde la capacidad de conducción se reduce a 58,6 megavatios (conductor ACSR Hawk). Además, esta línea, alimenta las subestaciones particulares Olmeca y Texesa.

Se reduciría el factor de utilización, con el cambio de conductor de las líneas Guate Este-Guadalupe 1 y 2, de 102% a 40% (con un 15% para contingencia), ya que se utilizarían para alimentar las subestaciones Próceres, Cambray y Guadalupe debido a que la capacidad de transporte de la línea Guate Este-Guadalupe 3 está saturada por el crecimiento que ha habido en el área, quedando la Guate Este-Guadalupe 1 y 2, de Guate Este a Rodríguez Briones, con un factor de utilización del 50%.

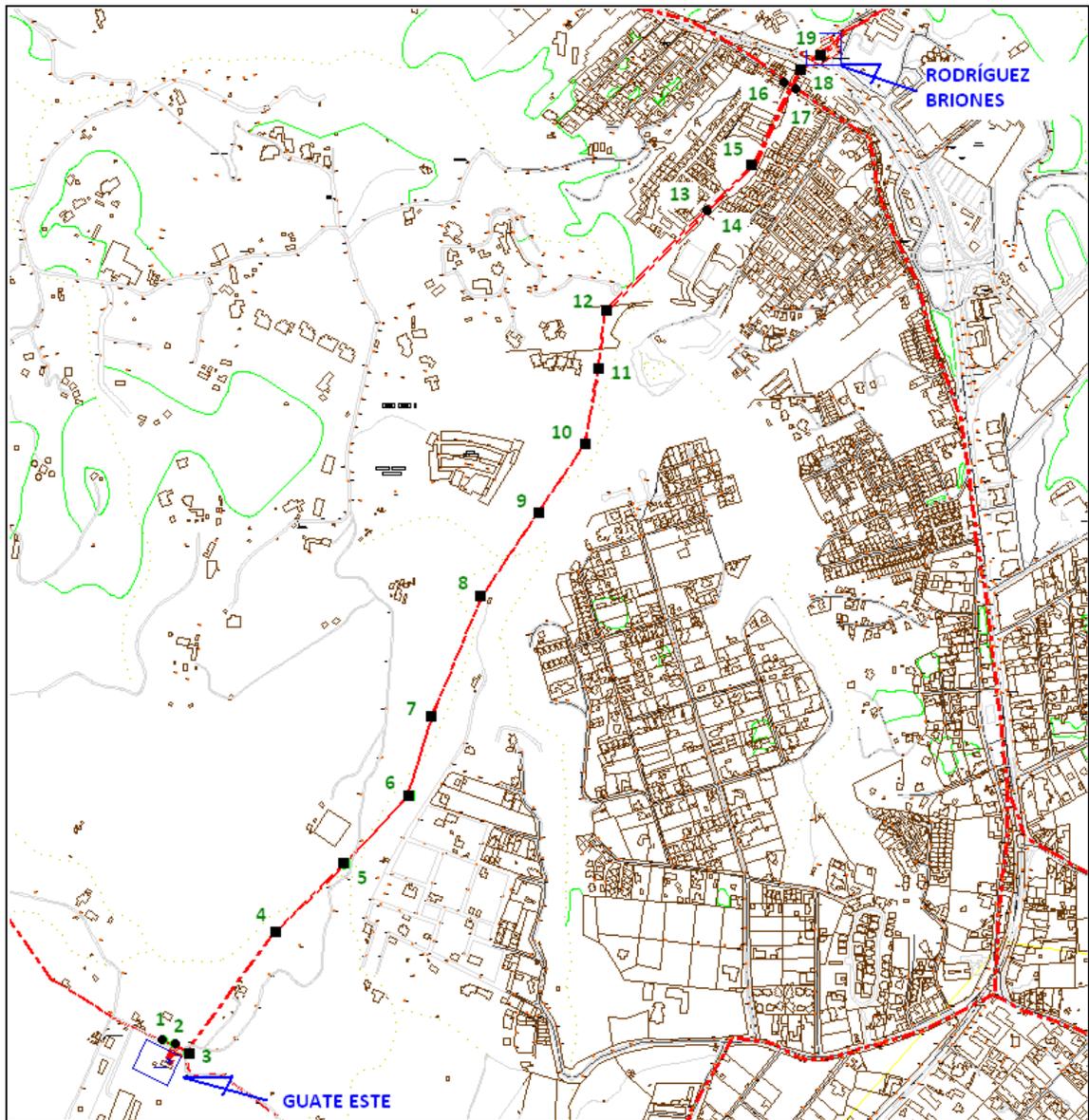
La figura 40, muestra de forma esquemática, la configuración actual de operación de la red de transmisión en el área mencionada.

Al salir de Guate Este, el tramo que se dirige a la subestación Rodríguez Briones recorre 19 estructuras. Sale hacia el poste 1 y 2, ambos de 27 metros clase 2 000, en doble remate donde luego recorre 36 metros a 83 grados al este a la torre 3 tipo N-4 en doble remate, desciende 9,48 grados recorriendo 316 metros hacia la torre 4 tipo N-4 en doble remate, desciende 2,93 grados avanzando 202 metros y vira 10 grados al este en la torre 5 tipo N-2 en suspensión.

Avanza 214 metros y se eleva 24,74 grados y gira 3 grados al este en la torre 6 tipo N-4 en doble remate, para luego descender 4,21 grados recorriendo 203 metros y virar 25 grados hacia el oeste en la torre 7 tipo N-4 en doble remate, donde recorre 272 metros descendiendo 11,49 grados y vira 4 grados al este en la torre 8 tipo N-4 en doble remate, desciende 0,18 grados recorriendo 219 metros y vira 10 grados al este en la torre 9 tipo N-1 en suspensión, donde se eleva 23,41 grados avanzando 177 metros y vira 23 grados al oeste en la torre 10 tipo N-4 en doble remate, donde vuelve a descender 4,24 grados en 169 metros de recorrido y virar 4 grados al oeste en la torre 11 tipo N-4 en doble remate.

Se eleva 38,86 grados avanzando 122 metros y vira 39 grados al este en la torre 12 tipo N-4 en doble remate, avanzando en línea recta 306 metros elevándose 10 grados en los postes de concreto 13 y 14 de 21 metros clase 2 000 en suspensión, se eleva 18,87 grados recorriendo 152 metros y gira 19 grados al oeste en la torre 15 tipo N-4 en doble remate, desciende 7,15 grados avanzando 188 metros a los postes de concreto 16 y 17 de 21 metros autosoportados en suspensión, se eleva 23,82 grados avanzando 20 metros y gira 18 grados en la torre 18 tipo N-4 en doble remate y vuelve a elevarse 36,05 grados en 75 metros de recorrido y girar 33 grados en la torre 19 tipo N-4 en doble remate donde desciende 11 grados recorriendo 15 metros al pórtico de la subestación Rodríguez Briones, tal como se muestra la trayectoria en la figura 41. Todos los ángulos que se eleva y desciende la línea, son medidos tomando como referencia la horizontal.

Figura 41. **Ubicación de estructuras existentes entre Guate Este y Rodríguez Briones**



Fuente: elaboración propia, con programa Google maps.

2.2. Distancias de seguridad

Las distancias mínimas de seguridad que aplican son las detalladas en el artículo 18 de las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), las cuales son utilizadas para minimizar la posibilidad del contacto de las personas con las líneas energizadas, de igual manera con edificios, caminos, etcétera. Todas las distancias se calculan para un voltaje de 69 kilovoltios.

2.2.1. Distancias de seguridad vertical

Se refieren a la altura mínima que debe haber entre los cables de las líneas energizadas con el suelo, agua y superficie de rieles de las vías férreas así como de otras líneas y edificios. Las distancias verticales deben ser como mínimo las indicadas en la tabla 2 de las NTDOID, bajo la condición de catenaria máxima, que es cuando llega a 75 grados Celsius de temperatura de operación.

Para tensiones de 69 kilovoltios (72,5 kilovoltios), la altura básica de los conductores especificada en la norma indicada se deberá incrementar 0,01 metros por cada kilovoltio arriba de 22 kilovoltios, teniendo como un voltaje máximo de fase a tierra de la línea en 42 kilovoltios, por lo que hay un excedente de 20 kilovoltios por arriba de los 22 kilovoltios normados.

Se tiene un incremento de 0,2 dado el nivel de voltaje de la línea, según exige en la tabla 2 de la norma mencionada. Para tensiones mayores de 69 kilovoltios, la distancia adicional indicada anteriormente deberá aumentarse en un 3% por cada 300 metros de altura sobre los 1 000 metros sobre el nivel del mar, además se debe dejar un margen de 0,6 metros por errores de topografía lo que da una altura mínima de 6,40 metros sobre el suelo. En la tabla IX se indican las distancias mínimas verticales dada las exigencias legales técnicas.

Tabla IX. **Distancias verticales al suelo en líneas de 72,5 kilovoltios**

Descripción	NTDOID+0,6 metro
Vías de ferrocarril	6,9
Calles, carreteras, parqueos, calzadas y autopistas	6,4
Tierra de cultivo donde pueda circular maquinaria	
Caminos reservados para peatones	5,2

Fuente: elaboración propia.

Así como, se tienen las distancias verticales a otras instalaciones de acuerdo al inciso 18,4d de las NTDOID, indicadas en la tabla X.

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

Descripción	NTDOID (metros)
Apoyos de luminarias, semáforos o de líneas de 13,8kV	1,70
Edificios:	
Proyecciones de techos no accesibles a personas	3,80
Balcones ó techos accesibles a personas	4,20
Techos accesibles a tráfico liviano (no camiones)	4,20
Techos accesibles a camiones	5,70
Anuncios, chimeneas, antenas, tanques:	
Cornisas y otras superficies donde caminan personas	4,20
A otras partes de estas instalaciones	2,65

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Distancia de seguridad entre conductores soportados por diferentes estructuras y entre otras estructuras

La distancia en cualquier dirección en conductores que estén adyacentes en estructuras distintas o que se crucen, no debe ser menor a la mencionada en la tabla 3 de las NTDOID, de acuerdo al ajuste por la altura arriba de 1 000 metros sobre el nivel del mar a la que se encuentre la instalación, estas están indicadas en la tabla XI.

Tabla XI. **Distancias de seguridad entre conductores soportados por otras estructuras**

Descripción	NTDOID (ajustada) metros
Sobre neutrales, retenidas aéreas	0,80
Cables y conductores mensajeros, retenidas de comunicación	1,70
Conductores suministradores de línea abierta de 0-750 voltios	0,80
Conductores suministradores de línea abierta de 13,8 kilovoltios	
Conductores suministradores de línea abierta de 69 kilovoltios	1,00
Conductores suministradores de línea abierta de 138 kilovoltios	1,42
Conductores suministradores de línea abierta de 230 kilovoltios	1,98

Fuente: elaboración propia.

La distancia horizontal normada, según incisos 18,4b y 18,4c de las NTDOID, entre líneas aéreas de 69 kilovoltios con otras estructuras aledañas se indica en la tabla XII.

Tabla XII. **Libranzas horizontales hacia otras estructuras**

Descripción	NTDOID (metros)	
	Sin viento	Con viento
Apoyos de luminarias, semáforos o de líneas de 13,8 kilovoltios	1,5	1,7
Edificios: Proyecciones de techos no accesibles a personas Balcones ó techos accesibles a personas Techos accesibles a tráfico liviano (no camiones) Techos accesibles a camiones		
Anuncios, chimeneas, antenas, tanques: Cornisas y otras superficies donde caminan personas A otras partes de estas instalaciones		

Fuente: elaboración propia.

2.3. Hilo de guarda

No se analizará cambiar el hilo de guarda ya que al poner un cable más grueso, solamente se incrementan los esfuerzos en las estructuras y no hay mejora en la operación de las líneas.

2.4. Aislamiento y herrajes

Se reemplaza el aislamiento actual dado que se han deteriorado las propiedades dieléctricas del mismo; consiste en cadenas de aisladores de 7 discos de porcelana, donde cada disco pesa 6,67 kilogramos, teniendo un peso total de 46,69 kilogramos por cadena y tipo poste, de porcelana también, con un peso de 18 kilogramos; por aisladores de polímero de remate y tipo poste, de 3,40 kilogramos y 8,64 kilogramos de peso respectivamente, lo que aligera la carga por cadena de remate en 43,29 kilogramos y 9,36 kilogramos en los tipo poste, trasladando menores esfuerzos de carga mecánica vertical a la estructura. Se modificarán los herrajes donde sea necesario adaptarlos para el conductor nuevo a instalar.

2.5. Estructuras

Según se indicó anteriormente, las torres fueron diseñadas para soportar cable ACSR 266,4 milésimas de pulgada circular (kcmil) y luego que se reforzaron, el fabricante dio el visto bueno de utilizarlas con cable ACSR 336,4 milésimas de pulgada circular (kcmil).

Para no sobrepasar las fuerzas de diseño de las torres, es necesario que el nuevo conductor que se vaya a instalar se tienda de tal manera que las fuerzas que le apliquen a las torres no exceden a las de diseño para que no se dañen las estructuras, por lo que la tensión máxima a la que se instalará el conductor nuevo no debe exceder a las del conductor al que se diseño la torre.

Las libranzas y catenaria del conductor nuevo se deben calcular utilizando la tensión máxima de diseño a como sería con uno de calibre ACSR 336,4 milésimas de pulgada circular (kcmil), la cual indica es de 1 820 kilogramos fuerza (4 000 libras) aproximadamente, para lograrlo es necesario que se instale el conductor según las tablas de tendido.

Con la tensión máxima de diseño se procede a calcular las catenarias del nuevo conductor instalado, así como, las libranzas nuevas de este para identificar los puntos donde deba ser necesario intercalar estructuras nuevas para que no excedan a los valores permisibles por la normativa.

2.6. Cálculo mecánico de los conductores

Se deben calcular los esfuerzos mecánicos que habrá sobre los conductores a la hora de tenderlos en las estructuras de la línea, para saber se utilizan los siguientes datos:

- Temperatura mínima.
- Viento máximo (80 kilómetros/hora, según inciso 19,2 de las NTDROID).
- Límites de tensión de los conductores (% tensión de ruptura).
- Calibre y tipo de conductores utilizados.
- Longitud de los vanos de regulación.
- Valores de temperatura requeridos para los valores de tensión mecánica y catenaria.

Se asume que el mayor esfuerzo sobre las estructuras ocurre cuando la temperatura es mínima y la velocidad del viento es máxima para obtener los reportes para las tablas de tendido. Con estas tablas se elaboran las gráficas utilizadas para dibujar las catenarias.

Los esfuerzos mecánicos que soportan los cables y las estructuras que los sostienen son función de la tensión mecánica a que se verán sometidos los conductores e hilo de guarda, debido a que al variar las condiciones ambientales y los valores de corriente que transportan los conductores, hay una variación en la tensión mecánica implícita, por lo que es necesario calcular las tensiones máximas a distintos valores de temperatura, ya que tiene como efecto que se den alargamientos plásticos y elásticos por los cambios de temperatura, que influye en la catenaria final que tendrá el conductor.

Los tramos considerados de las líneas son mostrados en la tabla XIII, indicando el vano de regulación en cada caso.

Tabla XIII. **Tramos comprendidos entre Guate Este y Rodríguez Briones**

No. De estructura	Longitud Vano Adelante (metros)	Ángulo (°)	Altura de estructura (metros)	Tipo de Construcción	Vano de regulación (metros)
3	316	83	27,7	Remate	316
4	202	10	21,7		Tangente
5	214	3			
6	203	25	21,6	Remate	203
7	272	12	22,6		272
8	219	10	17		201,3
9	177	0	24,8	Tangente	
10	169	23	28	Remate	151,1
11	122	4	15,8	Tangente	
12	306	39	19,6	Remate	265
13 y 14	152	0	18,4	Tangente	
15	188	19	23	Remate	178,8
16 y 17	20	0	20,5	Tangente	
18	75	18	19,7	Remate	75
19	15	33			15

Fuente: elaboración propia.

2.7. Cambio de conductor a cable AAAC Flint

Se analiza a continuación el cambiar el conductor actual por uno del tipo AAAC de hilos de aleación de aluminio y se tabularan los datos en los apartados siguientes.

2.7.1. Conductores de fase AAAC

Los conductores de fase son de aleación de aluminio con las siguientes características:

Denominación	740,8 kcmil, 37 hilos, Flint
Composición	37 alambres de aleación de aluminio
Diámetro total	25,2 mm
Carga de rotura	11 064 kgf
Peso	1,028 kg/m
Área	375,4 mm ²
Capacidad	790 A a 75°C máximo

2.7.2. Tablas de tendido AAAC

Las tablas de tendido del conductor nuevo AAAC Flint a instalar a través de las estructuras que componen las líneas están indicadas de las tablas XIV a XXIII.

Tabla XIV. **Tabla de tendido AAAC de estructura 3 a estructura 4**

Vano de regulación (metros)	164										
Tensión (kgf)	1 313	1 236	1 167	1 107	1 053	1 005	962	924	889	835	797
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (metros)	Catenaria (metros)										
183	3,28	3,48	3,68	3,89	4,09	4,27	4,47	4,65	4,83	5,38	5,64
133	1,73	1,85	1,96	2,06	2,16	2,26	2,36	2,46	2,57	3,15	3,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Tabla de tendido AAAC de estructura 4 a estructura 6**

Vano de regulación (m)	204										
Tensión (kgf)	1 312	1 255	1 204	1 157	1 115	1 075	1 040	1 007	977	911	868
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
201	3,96	4,14	4,32	4,50	4,65	4,83	5,00	5,16	5,31	5,38	5,64
213	4,45	4,65	4,85	5,05	5,23	5,44	5,61	5,79	5,97	6,25	6,46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Tabla de tendido AAAC de estructura 6 a estructura 7**

Vano de regulación (m)	204										
Tensión (kgf)	1 312	1 255	1 204	1 157	1 115	1 075	1 040	1 007	977	916	870
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
204	4,09	4,27	4,45	4,62	4,8	4,98	5,16	5,31	5,49	5,78	6,08

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Tabla de tendido AAAC de estructura 7 a estructura 8**

Vano de regulación (m)	143										
Tensión (kgf)	1 313	1 222	1 142	1 073	1 012	959	912	870	833	785	743
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
162	2,57	2,74	2,95	3,12	3,30	3,51	3,68	3,86	4,01	4,25	4,49
110	1,19	1,27	1,37	1,45	1,52	1,63	1,70	1,78	1,85	1,96	2,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Tabla de tendido AAAC de estructura 8 a estructura 10

Vano de regulación (m)	204										
Tensión (kgf)	1 312	1 255	1 204	1 157	1 115	1 075	1 040	1 007	977	916	870
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
219	4,67	4,90	5,11	5,31	5,51	5,72	5,92	6,10	6,30	6,66	7,01
177	3,05	3,20	0,84	3,48	3,61	3,73	3,86	3,99	4,11	4,35	4,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Tabla de tendido AAAC de estructura 10 a estructura 12

Vano de regulación (m)	152										
Tensión (kgf)	1 313	1 228	1 154	1 089	1 032	980	935	895	859	763	716
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
169	2,79	3,00	3,18	3,38	3,56	3,76	3,94	4,11	4,27	4,76	5,07
122	1,47	1,55	1,65	1,75	1,85	1,96	2,06	2,13	2,24	2,48	2,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Tabla de tendido AAAC de estructura 12 a estructura 15

Vano de regulación (m)	152										
Tensión (kgf)	1 313	1 228	1 154	1 089	1 032	980	935	895	859	763	720
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
163	2,62	2,79	2,97	3,15	3,30	3,48	3,66	3,81	3,99	4,43	4,69
143	2,01	2,16	2,29	2,41	2,57	2,69	2,82	2,95	3,07	3,41	3,61
152	2,29	2,44	2,59	2,74	2,90	3,05	3,20	3,33	3,48	3,85	4,08

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Tabla de tendido AAAC de estructura 15 a estructura 18**

Vano de regulación (m)	183										
Tensión (kgf)	1 313	1 246	1 186	1 133	1 085	1 041	1 002	966	934	826	787
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
188	3,45	3,63	3,84	4,01	4,19	4,37	4,52	4,70	4,85	5,44	5,71
20	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Tabla de tendido AAAC de estructura 18 a estructura 19**

Vano de regulación (m)	76										
Tensión (kgf)	1 314	1 152	1 014	899	804	727	664	613	570	462	424
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
76	0,58	0,66	0,74	0,84	0,94	1,04	1,14	1,22	1,32	1,55	1,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Tabla de tendido AAAC de estructura 19 a pórtico y de estructuras 1 y 2 a estructura 3**

Vano de regulación (m)	15										
Tensión (kgf)	1 263	1 024	793	578	400	282	215	176	152	105	94
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
15	0,03	0,05	0,05	0,08	0,08	0,13	0,15	0,18	0,20	0,27	0,30

Fuente: elaboración propia.

Se debe intercalar dos postes de 24 metros de altura entre estructuras 3 y 4 y entre 12 y 13, intercalar dos postes de 21 metros entre estructuras 7 y 8, todas las estructuras nuevas son de construcción tipo tangente a 0°; las estructuras 13 y 14, postes de 21 metros de altura actualmente, deben ser reemplazadas por postes de 24 metros de altura, conservando el tipo de construcción de la misma. Todas estas estructuras adicionales a intercalar y las existentes a reemplazar son requeridas para cumplir con las distancias de seguridad exigidas por la normativa nacional.

El cable AAAC Flint estaría tendido a un máximo del 12% de la tensión de ruptura del cable.

2.8. Cambio de conductor a cable ACCC Lisboa

Se analiza a continuación el cambiar el conductor actual por uno del tipo ACCC de hilos trapezoidales de aluminio y núcleo de fibra de carbón.

2.8.1. Conductores de fase ACCC

Los conductores de fase son de aluminio templado con las siguientes características:

Denominación	629 kcmil, 16/1 hilos, Lisboa.
Composición	16 alambres de aluminio templado trapezoidal y uno de fibra de carbón y vidrio.
Diámetro total	21,8 mm.
Carga de rotura	10 574 kgf.

Peso	0,957 kg/m.
Área	358,4 mm ² .
Capacidad	751 A a 75 °C y 1 260 A a 180 °C máximo

2.8.2. Tablas de tendido ACCC

Las tablas de tendido del conductor nuevo ACCC Lisboa a instalar a través de las estructuras que componen las líneas están indicadas de las tablas XXIV a XXXIII.

Tabla XXIV. **Tabla de tendido ACCC de estructura 3 a estructura 4**

Vano de regulación (m)	316										
Tensión (kgf)	1 368	1 366	1 364	1 361	1 359	1 356	1 354	1 352	1 347	1 338	1 333
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
316	8,63	8,65	8,66	8,68	8,69	8,71	8,73	8,74	8,77	8,83	8,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Tabla de tendido ACCC de estructura 4 a estructura 6**

Vano de regulación (m)	204										
Tensión (kgf)	1 380	1 374	1 369	1 364	1 359	1 354	1 349	1 344	1 334	1 315	1 306
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
202	3,50	3,51	3,53	3,54	3,55	3,57	3,58	3,59	3,62	3,67	3,70
214	3,93	3,94	3,96	3,97	3,99	4,00	4,02	4,03	4,06	4,12	4,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Tabla de tendido ACCC de estructura 6 a estructura 7**

Vano de regulación (m)	203										
Tensión (kgf)	1 380	1 374	1 369	1 364	1 359	1 354	1 349	1 344	1 334	1 315	1 306
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
203	3,53	3,55	3,56	3,57	3,59	3,60	3,62	3,63	3,65	3,71	3,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Tabla de tendido ACCC de estructura 7 a estructura 8**

Vano de regulación (m)	272										
Tensión (kgf)	1 372	1 368	1 365	1 362	1 359	1 356	1 353	1 350	1 344	1 332	1 326
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
272	3,56	3,56	3,57	3,58	3,59	3,60	3,60	3,61	3,63	3,66	3,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Tabla de tendido ACCC de estructura 8 a estructura 10**

Vano de regulación (m)	204										
Tensión (kgf)	1 379	1 374	1 369	1 364	1 359	1 354	1 349	1 344	1 335	1 316	1 307
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
219	4,11	4,13	4,15	4,16	4,18	4,19	4,21	4,22	4,25	4,31	4,34
177	2,69	2,70	2,71	2,72	2,73	2,74	2,75	2,76	2,78	2,82	2,84

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Tabla de tendido ACCC de estructura 10 a estructura 12**

Vano de regulación (m)	152										
Tensión (kgf)	1 372	1 368	1 365	1 362	1 359	1 356	1 353	1 350	1 344	1 332	1 326
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
169	2,46	2,47	2,48	2,48	2,49	2,49	2,50	2,50	2,51	2,54	2,55
122	1,28	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30	1,31	1,32	1,33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Tabla de tendido ACCC de estructura 12 a estructura 15**

Vano de regulación (m)	265										
Tensión (kgf)	1 372	1 369	1 366	1 362	1 359	1 356	1 353	1 349	1 343	1 330	1 325
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
306	6,06	6,07	6,08	6,10	6,11	6,13	6,14	6,16	6,19	6,25	6,27
152	1,99	2,00	2,00	2,01	2,01	2,02	2,02	2,03	2,04	2,06	2,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Tabla de tendido ACCC de estructura 15 a estructura 18**

Vano de regulación (m)	179										
Tensión (kgf)	1 384	1 377	1 371	1 365	1 359	1 353	1 347	1 341	1 329	1 307	1 296
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
188	3,02	3,04	3,05	3,06	3,08	3,09	3,10	3,12	3,15	3,20	3,23
20	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Tabla de tendido ACCC de estructura 18 a estructura 19**

Vano de regulación (m)	75										
Tensión (kgf)	1 420	1 404	1 389	1 373	1 359	1 344	1 329	1 315	1 287	1 231	1 205
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
75	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,54	0,55

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Tabla de tendido ACCC de estructura 19 a pórtico y de estructuras 1 y 2 a estructura 3**

Vano de regulación (m)	15										
Tensión (kgf)	1 339	1 318	1 297	1 276	1 254	1 233	1 213	1 192	1 150	1 067	1 026
Temperatura °C	4	10	16	21	27	32	38	43	49	70	80
Vano (m)	Catenaria (m)										
15	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03

Fuente: elaboración propia.

No se requiere el intercalado de ninguna estructura adicional en los tramos de las líneas, en todos los vanos se cumplen las libranzas de seguridad normadas.

El ACCC Lisboa estaría instalado a un máximo del 13% de la tensión de ruptura del conductor.

Tabla XXXIV. **Comparación de catenaria entre ACCC y AAAC**

VANO DE REGULACIÓN (m)	CATENARIA (m)			
	ACCC Lisboa		AAAC Flint	
	75°C	200°C	75°C	200°C
100	0,79	1,02	1,75	3,63
200	3,15	4,07	6,99	14,53
300	7,08	9,15	15,73	32,69
400	12,58	16,27	27,96	58,11
500	19,66	25,42	43,69	90,80

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XXXIV, la catenaria que tiene un conductor ACCC Lisboa a 75 grados Celsius es el 48% de un AAAC Flint y a 200 grados Celsius es el 28%, estando ambos tendidos a 1 380 kilogramos fuerza aproximadamente, en vanos comprendidos de 100 a 500 metros. Esto indica la baja respuesta que tiene el material del núcleo al incremento de la temperatura en el cable ACCC en comparación con el AAAC. Cabe mencionar que el AAAC no llegaría a una temperatura de operación de 200 grados Celsius debido a que por las características mecánicas que posee, se ablanda mucho y puede romperse con facilidad a una temperatura mayor de 90 grados Celsius, según lo indicado en la Norma ASTM B399 para conductores de aleación de aluminio 6 201, por lo que no alcanza los 200 grados Celsius en operación.

El ACCC puede alcanzar una temperatura continua de operación de 200 grados Celsius, sin que sufra alguna degradación la fibra compuesta del núcleo.

3. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ACCC

3.1. Costo del conductor ACCC

Actualmente, el conductor ACCC tiene un costo por metro de aproximadamente tres veces de un ACSR o AAAC de igual diámetro; los carretes para transportar este calibre, Lisboa, tienen una capacidad de longitud de 2 440 metros, por lo que se requieren aproximadamente 8 carretes para cubrir los 20 kilómetros de conductor estimados requeridos para la línea, ya que son 2,7 kilómetros lineales en doble circuito, adicional se consideró un 10% por la catenaria del mismo.

3.2. Costo de instalación del ACCC

Los costos relacionados a la instalación del conductor y herrajes necesarios para tenderlo a través de las estructuras existentes son ligeramente superiores que de cualquier conductor actual de un calibre equivalente, ya que se requiere de algunos cuidados adicionales para no dañar los hilos o el núcleo, además si es requerido reemplazar estructuras existentes o intercalar adicionales, son agregados al proyecto los costos del sembrado y vestido de los postes instalados, el transporte de las secciones de los mismos y el alquiler de la grúa para el izado, para el caso del ACCC visto en esta propuesta no se requiere de estructuras adicionales ni del reemplazo de las existentes, por lo que el costo de la mano de obra queda resumido en el retiro del cable existente e instalación del conductor nuevo con el reemplazo de aislamiento y herrajes.

Los herrajes especiales del ACCC, grapas de remate y empalmes al 100%, actualmente cuestan aproximadamente 8 veces de lo de un ACSR o AAAC, las grapas de suspensión, grapas posttype y protectores preformados son los mismos utilizados con los conductores ACSS, cuyo costo es levemente mayor a los de un cable ACSR o AAAC. En el caso de proyectos de construcción de líneas de transmisión nuevas, dado que el conductor es más liviano y de menor catenaria que sus equivalentes (ACSR, AAAC, etcétera) en diámetro, permite vanos más largos y por consiguiente menos estructuras son requeridas y no tan robustas, implicando costos menores en la infraestructura requerida para la construcción de la misma.

3.3. Costo de mantenimiento del ACCC

Los costos de mantenimiento están asociados al reacondicionamiento de los vanos por los efectos plásticos y elásticos del conductor debido a los cambios de temperatura que lo van fatigando y aflojando, lo que da la necesidad de intercalar estructuras, según sea el caso, además del tipo correctivo en el aislamiento y por ramas que rompan el conductor por viento u otra razón. Las propiedades elásticas del núcleo de fibra de carbón del ACCC lo hacen muy resistente a tirones repentinos además que debido al bajo coeficiente de temperatura lo mantendrán más alejado de las ramas de los árboles que se hallen alrededor de la trayectoria de la línea.

Dado que el material del núcleo no es metálico, no se tienen efectos por corrosión bimetálica o química en el cable, lo cual se traduce en más ahorros en mantenimiento y aumentando el tiempo de vida de la línea de transmisión.

3.4. Comparación del ACCC contra AAAC

En las tablas XXXV y XXXVI se presentan los costos de inversión del cambio del conductor a AAAC Flint y a ACCC Lisboa, tomando en cuenta todos los materiales necesarios, postes a intercalar o reemplazar y el costo de mano de obra.

Tabla XXXV. Costo de cambio de conductor a AAAC Flint

Estructura	1	2	3	3A	4	5	6	7	7A	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	Pórtico (*)	Total	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Tipo de construcción	DR	DR	DR	T	DR	T	DR	T	DR	T	DR	DR														
Cable AAAC740 mcm Flint (m)																								2000	31,77	63 490,00
Poste concreto de 21 m Clase 2 000									2															2	19 467,86	38 935,71
Poste concreto de 24 m Clase 2 000				2										2	1	1								6	22 075,89	132 455,37
Capa de suspensión de hierro 0,2 a 0,48 mm				2					2					2	1	1								8	105,12	840,97
Aislador polimero posttype 69 kv				6					6					6	3	3			3	3				30	630,21	18 906,30
Capa para posttype para cable 740 mcm				6					6					6	3	3			3	3				30	84,58	2 537,48
Protector prefabricado para cable 740 cmc				6					6					6	3	3			3	3				30	378,68	11 360,51
Aislador polimero remate y suspensión 69 kv	6	6	18		18	6	18	18		18	6	18	6	18				18			18	18	12	222	583,07	129 441,54
Capa de remate para cable 740 mcm	6	6	12		12		12	12		12		12		12				12			12	12	12	144	451,57	65 026,16
Capa de suspensión 740 mcm			6	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3		6	3	3	6	6		102	754,64	76 973,43
Varilla para tierra	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	25	66,41	1 660,25
Cable de cobre No. 2	30	30	30	60	30	30	30	30	60	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		720	19,6	14 112,00
Empalme compresión cable 740 mcm al 50%	6	6	3		3		6	6		6				6								6	6	54	63,25	3 415,50
Abrazaderas 4 posiciones	3	3		6					6					6										24	225,22	5 405,28
Ancla doble para 69 kilovoltios	1	1																						2	1 425,64	2 851,28
																							Total materiales		332 530,69	
																							lizado de postes		160 000,00	
																							Mano de obra		1 019 000,00	
																							Costo total		1 351 530,69	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Costo de cambio de conductor a ACCC Lisboa

Estructura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Pónico(*)	Total	Costo unitario	Costo total
Tipo de construcción	DR	DR	DR	DR	T	DR	DR	DR	T	DR	T	DR	T	T	DR	T	DR	DR	DR				
Cable ACCC 626 kcmil "Lisboa" (mt)																					20000	Q 81.50	Q 1 629 936.00
Aislador polímero <i>post type</i> 69 kV												3	3		3	3					12	Q 630.21	Q 7 562.52
Grapa para <i>post type</i> para cable 477 mcm alta temperatura												3	3		3	3					12	Q 771.17	Q 9 254.04
Aislador polímero remate y suspensión 69 kV	6	6	18	18	6	18	18	18	6	18	6	18			18			18	18	12	222	Q 583.07	Q 129 441.54
Remate para cable 626 kcmil ACCC "Lisboa"	6	6	12	12		12	12	12		12					12			12	12	12	144	Q 4 432.77	Q 638 319.53
Grapa de suspensión alta temperatura para cable 477 mcm			6		6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	3	3	6	6		84	Q 659.87	Q 55 429.47
Varilla para tierra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		19	Q 66.41	Q 1 261.79
Cable de cobre No.2	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		570	Q 19.60	Q 11 172.00
Abrazaderas 4 posiciones	3	3																			6	Q 225.22	Q 1 351.32
Ancla doble para 69 kV	1	1																			2	Q 1 425.64	Q 2 851.28
DR= Doble remate																					Total materiales		Q 2 486 579.49
T= Tangente																					Mano de obra		Q 1 222 800.00
(*) Subestación Guate Este y Rodriguez Briones																					Costo total		Q 3 709 379.49

Fuente: elaboración propia.

Los costos se duplican cuando se analiza el uso del ACCC, aunque no se tenga que reemplazar ni intercalar ninguna estructura, no se tienen costos adicionales en adquirir postes ni en alquiler de grúa para el sembrado e izado de los mismos, pero como se ha indicado que dados los costos del conductor ACCC, el triple del AAAC, de los herrajes, casi 8 veces del equivalente AAAC del mismo diámetro, tiene un peso bastante considerable en la inversión inicial. El costo de la mano de obra de instalación del ACCC es mayor, a pesar de ser menos grueso y pesado que el Flint, porque se debe tener más cuidado con la manipulación del conductor por el personal y la instalación de los herrajes toma un poco más de tiempo.

3.5. Recuperación de la inversión

Según datos obtenidos de la CNEE, el crecimiento de la demanda del área se sitúa en 3,4% al año y con la tasa de interés aprobada por el mismo ente, de acuerdo al modelo vigente de reconocimiento de inversiones para las empresas transportistas de energía eléctrica en Guatemala, situada en 10,1%, además se tiene el costo de la potencia y energía fijado por el AMM y la demanda del área de operación de donde se ubica el proyecto, se procede a hacer la evaluación económica.

La evaluación se hace a 20 años, donde la demanda de las líneas inicia en 59,48 megavatios, que es la demanda que tomaría de la línea Guate Este-Guadalupe 3, que está a partir de la subestación Rodríguez Briones, tomando la carga de las subestaciones Cambray, Próceres y Guadalupe; los ahorros en pérdidas de potencia y energía con el costo de la misma, son los que obtiene el SNI por la operación de las líneas.

La energía no servida y su costo es la que no es cubierta por la capacidad de la línea Guate Este-Guadalupe 3, dado que parte de la demanda de esta línea sería transferida a las líneas Guate Este-Guadalupe 1 y 2. La potencia salvada es la demanda adicional que se puede cubrir en casos de contingencia, está dada por la capacidad total de la línea menos la demanda actual de la misma. Los costos de operación y mantenimiento son dados por la sumatoria de sanciones por faltas a la calidad del servicio más el costo del mantenimiento de la línea más el costo por sanciones por salida de operación de subestación, todo capitalizado anualmente.

La evaluación final o flujo neto se realiza sumando los ahorros en pérdidas más la energía no servida, menos los costos de operación y mantenimiento.

En la tabla XXXVII se muestra la evaluación económica de utilizar el AAAC Flint.

Tabla XXXVII. Evaluación económica de la utilización del AAAC Flint

Tasa de crecimiento anual	3.4%
Tasa de actualización anual de capital	10.1%
Costo de la potencia	73.28 Q/kW.mes
Costo de la energía	0.9009 Q/kWh
Ahorro de Pérdidas en AT durante el pico	59.18 kW
Ahorro anual de pérdidas de energía	269 MWh
Tiempo estimado de operación por contingencia	24 h/año
Demanda del área	148.08 MW
Costo anual de sanciones por subestación	30 000 Q
Costo anual de mantenimiento	18 kQ
Costo del proyecto	1 352 kQ

Capacidad Operación Flint (MVA)	
Normal	Contingencia
80	94

Año	Demanda MW	Ahorro de pérdidas de		Energía No Servida MWh	Ahorro Pérdidas Miles de Q.	Costo Energía No Servida Miles de Q.	Potencia Salvada Contingencia MW	Costos en Q de operación y Mantenimiento	Flujo neto año Q
		Potencia kW	Energía MWh						
0	59.48	59.18	269	0				1 351 530	-1 351 530
1	61.50	63.25	287	0	314	0	32.50	-48 000	266 435
2	63.58	67.61	307	0	336	0	30.42	-48 000	288 107
3	65.73	72.27	328	0	359	0	28.27	-48 000	311 272
4	67.96	77.25	351	0	384	0	26.04	-48 000	336 034
5	70.26	82.58	375	1 554	411	1 400	23.74	-48 000	1 762 330
6	72.65	88.27	401	6 367	439	5 736	21.35	-48 000	6 126 734
7	75.11	94.35	429	15 286	469	13 771	18.89	-48 000	14 192 284
8	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
9	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
10	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
11	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
12	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
13	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
14	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
15	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
16	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
17	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
18	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
19	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084
20	77.65	100.86	458	26 559	501	23 927	16.35	-48 000	24 380 084

Fuente: elaboración propia.

Se tiene la recuperación de la inversión al quinto año de estar en funcionamiento. Solamente tiene 14 megavatios disponibles para ser usados en caso de una contingencia (94 megavatios en total), ya sea por emergencia, maniobras o mantenimiento.

La temperatura máxima de operación de los conductores AAAC no es recomendada que exceda los 90 grados Celsius, debido a los tratamientos térmicos del material, si se excede la temperatura indicada existe el riesgo que decaiga la vida útil considerablemente, además la catenaria es muy pronunciada por el coeficiente de expansión térmica y no cumpliría con las distancias de seguridad, resultando en una mayor probabilidad que la línea salga de operación por contacto con ramas o arcos de fase a red de distribución cercana o a tierra a través de edificios u otras instalaciones aledañas al paso de la línea de transmisión.

Tabla XXXVIII. **Evaluación económica de la utilización del ACCC Lisboa**

Tasa de crecimiento anual	3,4%	
Tasa de actualización anual de capital	10,1%	
Costo de la potencia	73,28	Q/kW.mes
Costo de la energía	0,9009	Q/kWh
Ahorro de Pérdidas en AT durante el pico	59,18	kW
Ahorro anual de pérdidas de energía	269	MWh
Tiempo estimado de operación por contingencia	24	h/año
Demanda del área	148,08	MW
Costo anual de sanciones por subestación	30 000	Q
Costo anual de mantenimiento	18	kQ
Costo del proyecto	3 709	kQ

Capacidad Operación Lisboa (MVA)	
Normal	Contingencia
89	150

Año	Demanda MW	Ahorro de pérdidas de		Energía No Servida MWh	Ahorro Pérdidas Miles de Q.	Costo Energía No Servida Miles de Q.	Potencia Salvada Contingencia MW	Costos en Q de operación y Mantenimiento	Flujo neto año Q
		Potencia KW	Energía MWh						
0	59,48	59,18	269	0				-3 709 379	-3 709 379
1	61,50	63,25	287	0	314	0	79,50	-48 000	266 435
2	63,58	67,61	307	0	336	0	77,42	-48 000	288 107
3	65,73	72,27	328	0	359	0	75,27	-48 000	311 272
4	67,96	77,25	351	0	384	0	73,04	-48 000	336 034
5	70,26	82,58	375	1 554	411	1 400	70,74	-48 000	1 762 330
6	72,65	88,27	401	6 367	439	5 736	68,35	-48 000	6 126 734
7	75,11	94,35	429	15 286	469	13 771	65,89	-48 000	14 192 284
8	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
9	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
10	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
11	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
12	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
13	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
14	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
15	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
16	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
17	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
18	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
19	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084
20	77,65	100,86	458	26 559	501	23 927	63,35	-48 000	24 380 084

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXVIII se tiene la evaluación económica del uso del ACCC en el caso analizado. El ACCC tiene la recuperación de la inversión entre el quinto y sexto año de operación. Hay 60 megavatios disponibles de capacidad de la línea para operación en emergencia, lo cual es aproximadamente cuatro veces de lo estimado del AAAC.

El conductor puede llegar a una temperatura continua de operación de 180 grados Celsius pudiendo alcanzar los 200 grados Celsius por períodos cortos de tiempo sin que se degrade la vida útil del núcleo y por el bajo coeficiente de expansión térmica, no sobre pasa los límites de distancias de seguridad por la catenaria resultante del conductor, sin que haya contacto con ramas u otras instalaciones aledañas. Tiene 10% de capacidad adicional de crecimiento en comparación con el Flint, pudiendo así atender mayor demanda futura que se tenga en el área, dándole mayor confiabilidad de operación.

CONCLUSIONES

1. Las características físicas del núcleo de fibra de carbón y vidrio presentan una gran resistencia a la tensión mecánica, pero, con un peso mucho menor al acero.
2. El núcleo de fibra de carbón y vidrio tiene una respuesta casi nula de alargamiento ante los incrementos considerables de temperatura, ya sea por factores externos como por condiciones de operación de la línea de transmisión.
3. Los hilos trapezoidales le dan al conductor ACCC una capacidad de corriente mayor a sus similares en diámetro con una resistencia eléctrica menor debido al área transversal mayor presentada por estar los hilos comprimidos.
4. Según las propiedades físicas del núcleo expuestas, los incrementos de la temperatura por el paso de la corriente no tienen efecto considerable en la catenaria ya que el coeficiente de expansión térmica es aproximadamente el 12% de un cable ACSR o AAAC y con una temperatura de operación máxima de 200 grados Celsius, lo cual duplica la capacidad de temperatura de un tipo AAAC.

5. Los únicos herrajes especiales que se utilizan en la instalación del ACCC son los remates y los empalmes al 100%, dado que los sistemas de sujeción del núcleo, fabricado de fibra de carbón y vidrio, son distintos, el resto de herrajes utilizados deben estar diseñados para operar a alta temperatura para explotar al máximo las capacidades del cable.

6. Debido a que es una tecnología nueva, aún es un poco costosa para el caso analizado en esta propuesta, tanto el cable como los herrajes, pero se puede llegar a compensar con la gran capacidad de potencia de reserva en un punto estratégico, se espera que con el tiempo y diversificación del uso del cable resulte en la baja del costo de los mismos.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de implementar el ACCC, es necesario elaborar una normativa previa que cubra todos los aspectos técnicos del cable y los herrajes usados, con el objetivo de estandarizar los materiales para tener una mejor confiabilidad de las líneas construidas con el mismo.
2. Es necesario que se informe y capacite ampliamente al personal de campo que realizará el manejo e instalación del cable y herrajes, ya que a pesar que es sencilla la instalación de los mismos, no se está familiarizado con los sistemas por qué no se han usado conductores de hilos trapezoidales en el país y así evitar daños al núcleo o hilos del cable y herrajes durante el proceso de montaje y no incurrir en costos adicionales en el proyecto.
3. Es muy conveniente el uso de este tipo de cable en líneas que son utilizadas como puntos de entronque principales para transferencia de potencia, en configuraciones de red de tipo anillo, por ejemplo, por el desempeño que tiene en momentos de emergencia donde es necesario que no se interrumpa el flujo de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. *ACCC Cable installation guidelines*. Irvine: CTC, 2009. 25 p.
2. *ACCC Conductor summary technical report*. Irvine: CTC, 2009. 62 p.
3. BALLARD, Dominic, et al. *Design manual for high voltage transmission lines*. Washington DC: REA, 2009. 322 p.
4. BOSZE, Eric J., et al. *Brittle fracture resistance test on composite core of ACCC/TW*. Irvine: USC Engineering, 2006. 8 p.
5. _____. *Flexure and shear strength of Drake size composite rods*. Irvine: USC Engineering, 2004. 12 p.
6. _____. *High temperatures exposure of composite rod using 3896 resin system*. Irvine: USC Engineering, 2005. 5 p.
7. _____. *Tensile strength of notched 3.23Lv composite rods*. Irvine: USC Engineering, 2005. 8 p.
8. BOSZE, Eric J.; NUTT, Steven. *Effect of ultra-violet light exposure on the strength of 3896 composite rods*. Irvine: USC Engineering, 2005. 4 p.
9. _____. *Glass transition temperatures for resin system 3896*. Irvine: USC Engineering, 2005. 4 p.

10. _____. *Potential for galvanic corrosion between carbon fibers and aluminum wires in ACCC/TW conductor.* Irvine: USC Engineering, 2008. 11 p.
11. _____. *Results of CTE and specific heat measurements.* Irvine: USC Engineering, 2005. 3 p.
12. BOUSQUET, Jean Luc. *Seconde période d'essai por le conducteur CTC sur la portée expérimentale des Renardières-Août 2006.* Paris: EDF, 2007. 25 p.
13. CATCHPOLE, Peter; DAVE, Bryant. *Transmission line engineering with Composite Technology Corporation's ACCC/TW electrical conductors.* Anaheim: Power Engineers, 2008. 30 p.
14. CHAN, P. *Static heat test.* Manchester: FCI Burndy, 2005. 4 p.
15. _____. *Current cycle test Hawk.* Manchester: FCI Burndy, 2006. 5 p.
16. _____. *Hardware salt fog test.* Manchester: FCI Burndy, 2005. 6 p.
17. COLBERT, M. *Radial impact test on ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2004. 14 p.
18. _____. *Salt spray corrosion test on 1020 kcmil ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2004. 16 p.

19. DIDIER, B.; BOUSQUET, J. L. *Validation du dimensionnement thermique des manchons pour les conducteurs composite CTC Drake (517 mm²)*. Clamart: EDF, 2006. 9 p.
20. *Ebasco International Corporation Specification for 69 KV Transmission Line Construction Program*. New York: Ebasco International Corporation, 1959. 30 p.
21. HALE, G. *Crush test on 1020 kcmil ACCC/TW for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2002. 12 p.
22. _____. *Sheave test on ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2004. 16 p.
23. HUANG, Dade; ABDI, Frank. *Longevity of ACCC conductor*. Long Beach: Alpha Star, 2008. 26 p.
24. JIMÉNEZ MEZA, Obed Renato, et al. *Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006. 109 p.
25. Joslyn. *Complete electrical construction equipment*. Long Island: Joslyn, 1974. 830 p.
26. KASTELEIN, M. *Aeolian vibration test report on 1020 kcmil ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2005. 16 p.

27. LI, Z. *AC resistance measurements for CTC ACCC/TW Bittern*. Toronto: Kinectrics, 2005. 6 p.
28. _____. *Corona and radio influence voltage (RIV) tests on three sizes of transmission conductors (ACCC-TW Bittern, ACCC-TW Drake and ACSR Drake)*. Toronto: Kinectrics, 2005. 8 p.
29. _____. *Tests for magnetic field around ACCC, ACSS and ACSR conductors carrying an alternating current*. Toronto: Kinectrics, 2004. 5 p.
30. _____. *Tests for power losses of ACCC, ACSS and ACSR conductor*. Toronto: Kinectrics, 2004. 6 p.
31. _____. *Test to evaluate the internal impedances for ACCC, ACSS and ACSR conductors*. Toronto: Kinectrics, 2004. 6 p.
32. PON, C.J. *Short circuit performance test on 1020 kcmil ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2005. 21 p.
33. _____. *Stress-strain test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2005. 14 p.
34. PON, C.J.; COLBERT, M. *Creep test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation*. Toronto: Kinectrics, 2005. 9 p.

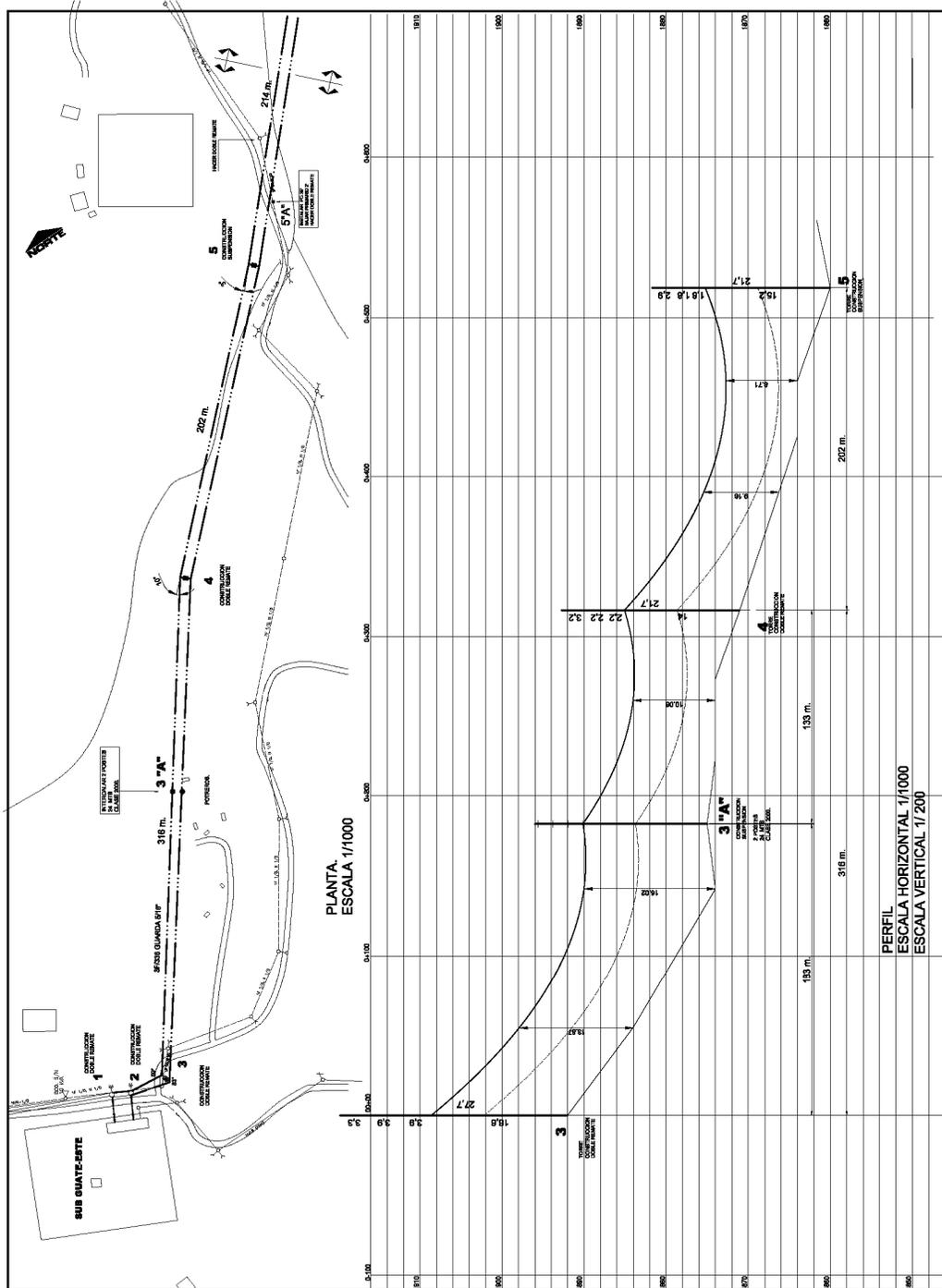
35. _____. *Dye penetrate test on 1222 kcmil ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 8 p.
36. _____. *Radial permeability test on 1222 kcmil Cardinal ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 8 p.
37. _____. *Thermo mechanical test on 1222 kcmil Cardinal ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 10 p.
38. PON, C.J.; KASTELEIN, M. J. *High temperature sag-tension characterization and ampacity tests on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 17 p.
39. _____. *Aeolian vibration test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 16 p.
40. _____. *Room temperature sustained load test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 7 p.
41. _____. *Torsion test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 10 p.

42. _____. *Ultimate tensile strength test on 1572 kcmil Bittern ACCC/TW conductor for Composite Technology Corporation.* Toronto: Kinectrics, 2005. 10 p.

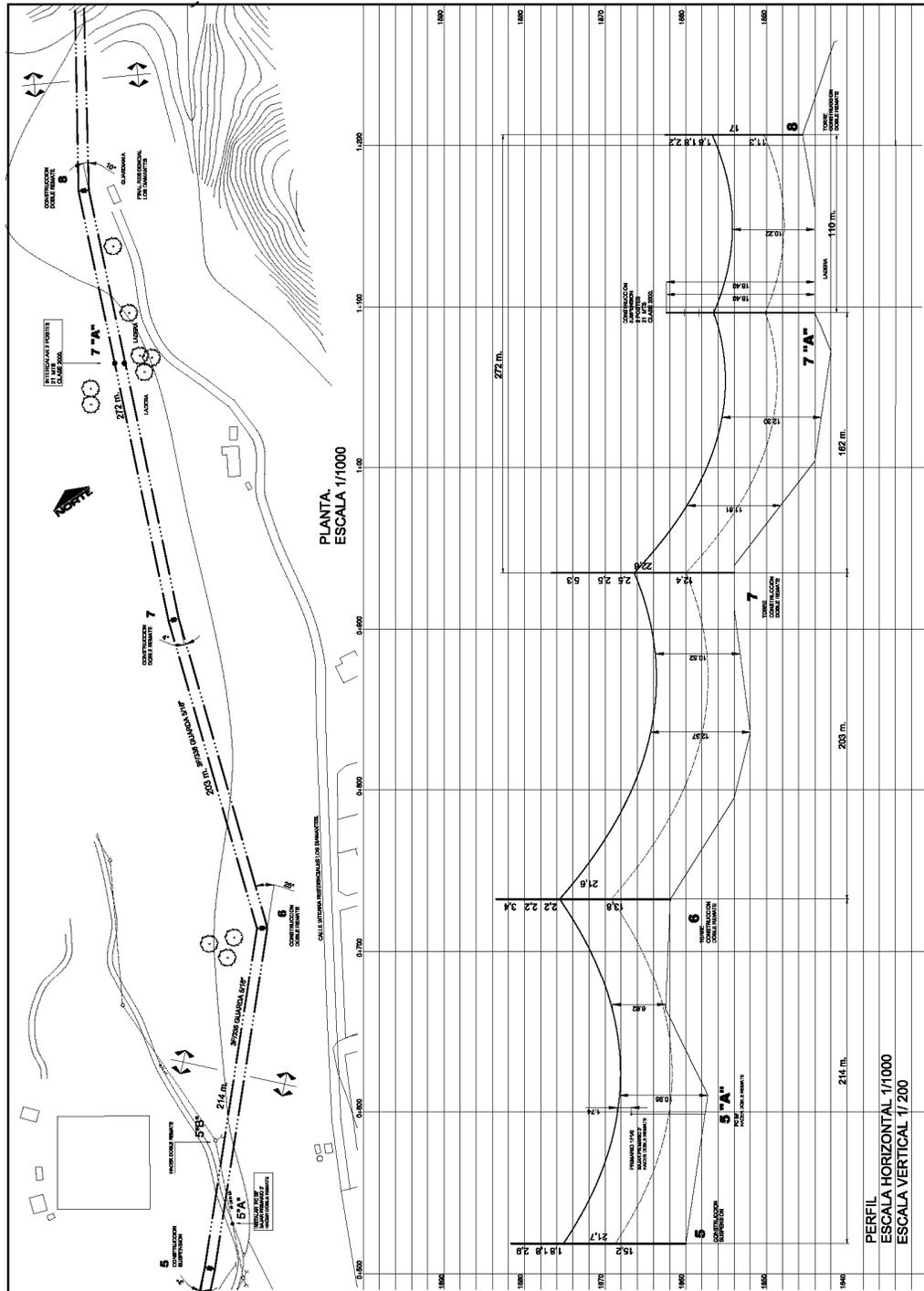
43. WHAPHAM, Robert. *Testing of armor-grip suspension assembly on 1020 kcmil (Drake size) ACCC conductor.* Cleveland: PLP, 2005. 5 p.

APÉNDICES

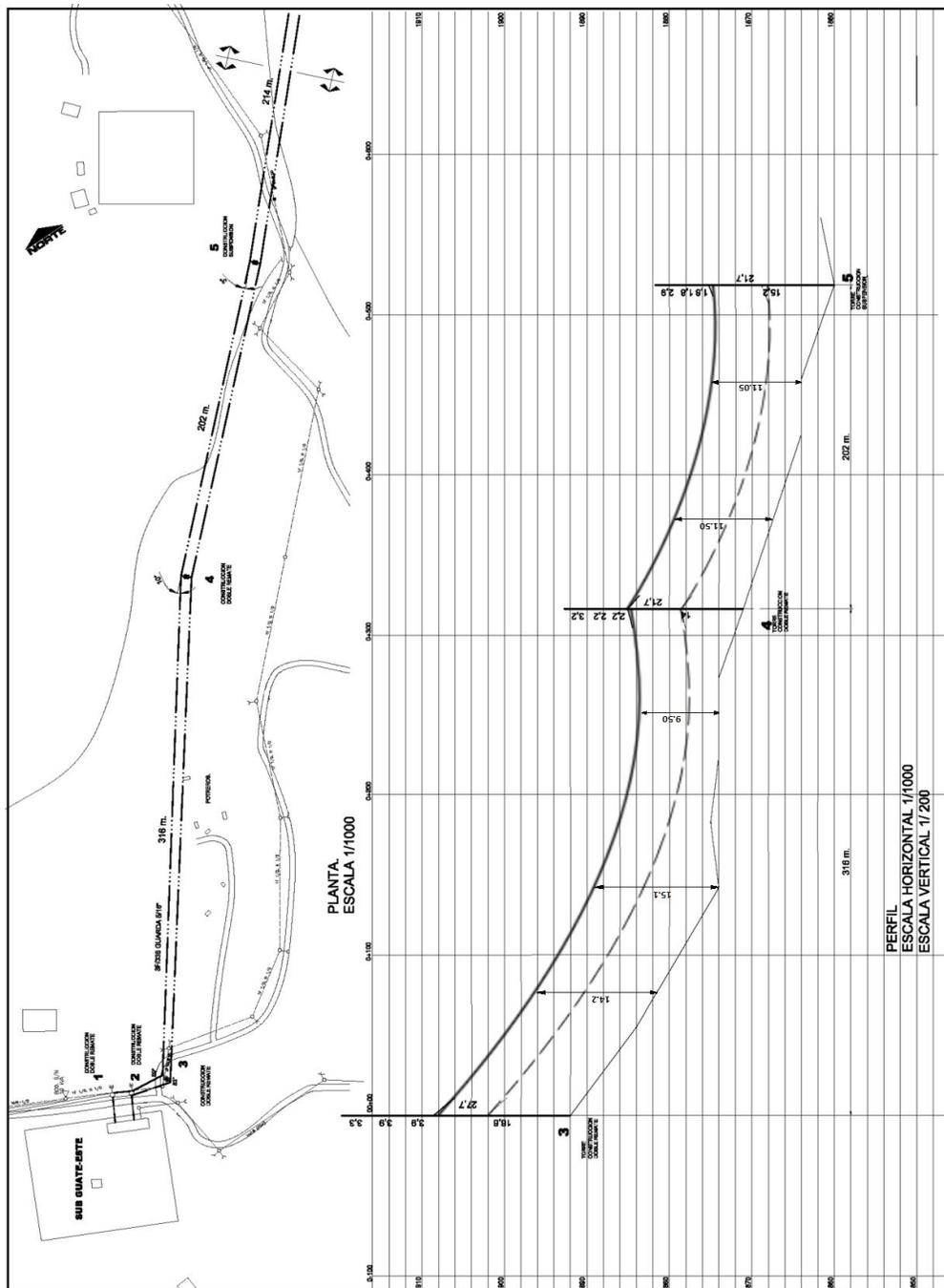
Apéndice 1. **Planta y perfil de las líneas de Guate Este a Rodríguez Briones con conductor AAAC Flint**



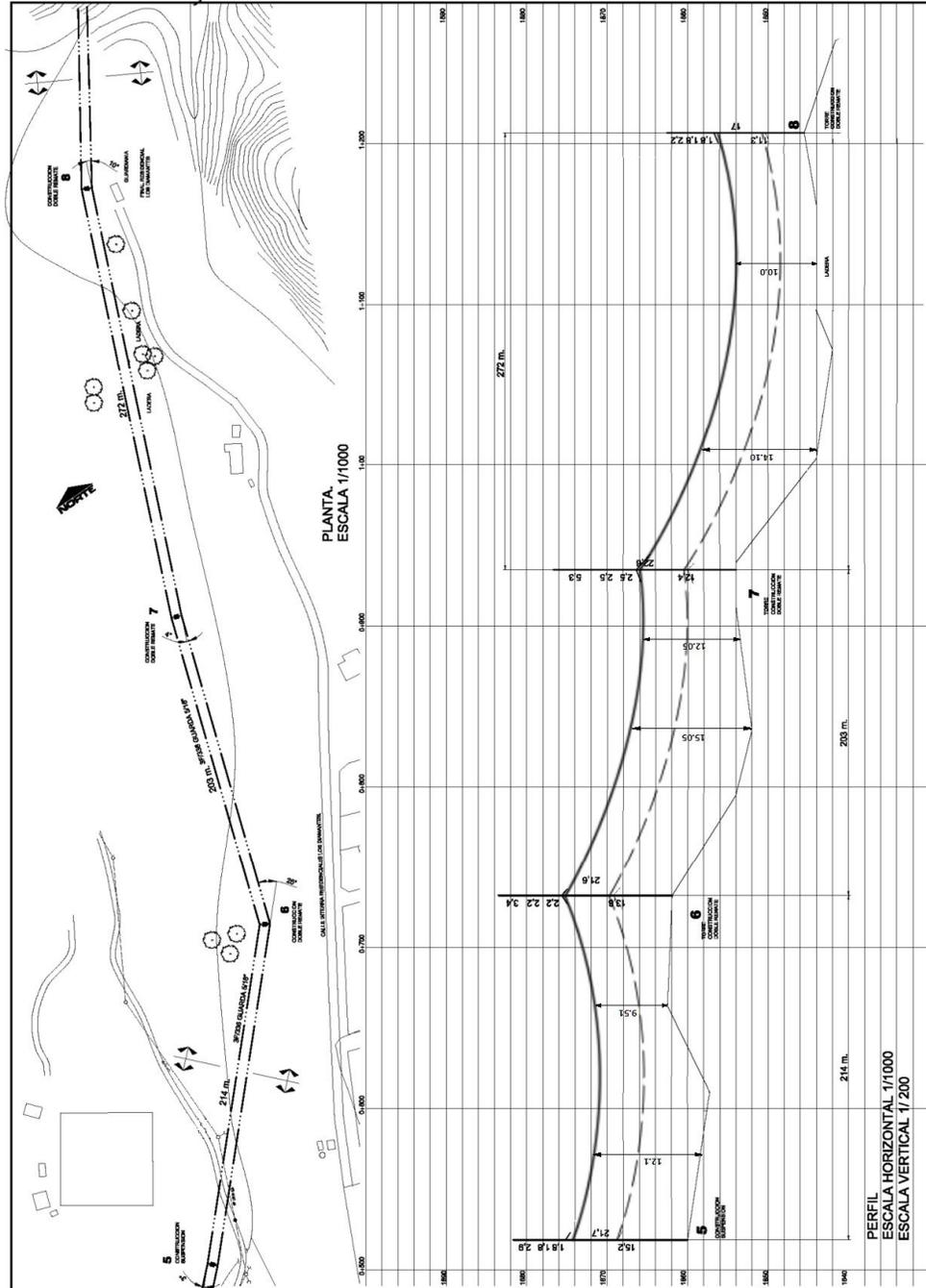
Continuación del apéndice 1.



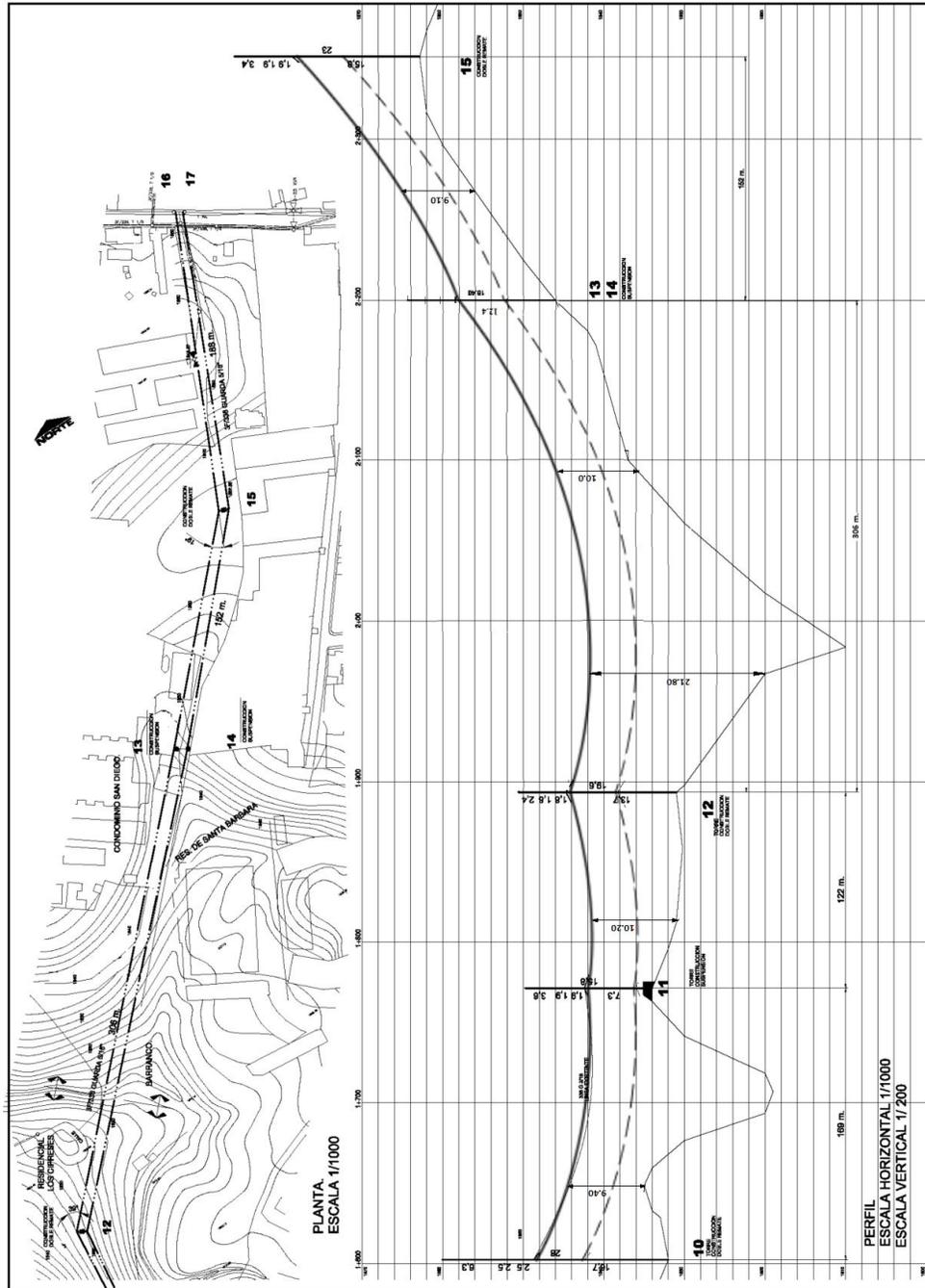
Apéndice 2. **Planta y perfil de las líneas de Guate Este a Rodríguez Briones con conductor ACCC Lisboa**



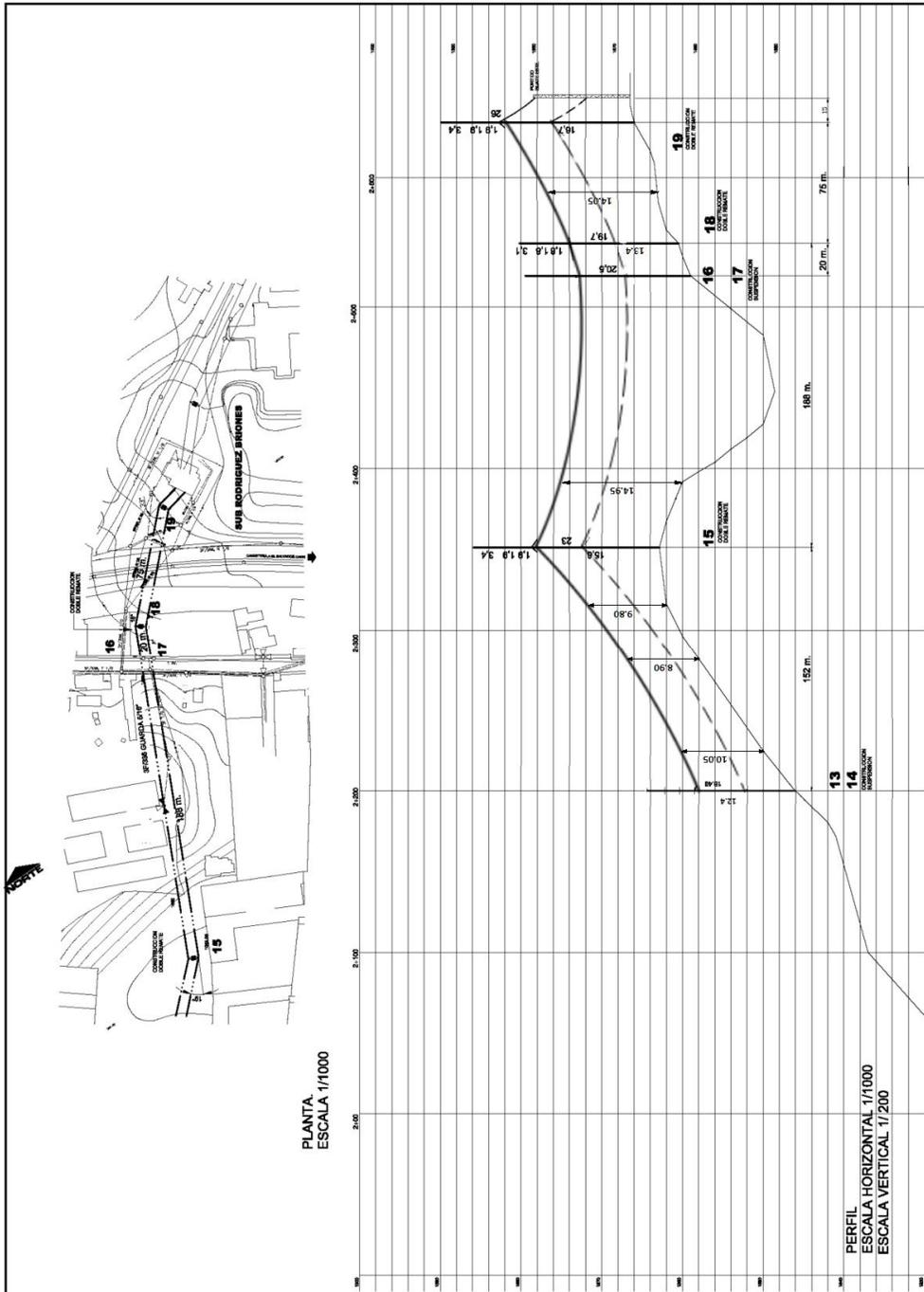
Continuación del apéndice 2.



Continuación del apéndice 2.



Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Calibres de conductores ACCC

Nombre del conductor	Tamaño del aluminio		Área transversal total	Diámetro del conductor (1)		Peso total del conductor		Resistencia mecánica total del conductor	Resistencia ohm/km			Corriente (A) a 75°C	Corriente (A) a 175°C (2)	Comparación de pérdidas con el ACCC a 75°C (3)			Comparación de pérdidas con el ACCC a 175°C			
	kcmmil	mm²		mm²	plg	mm	lb/kpies		kg/km	kib/pie	kN			DC a 20°C	AC a 25°C	AC a 75°C	MW	Amp.	Temp (°C)	MW
ACCC™ Helsinki	303	153.7	183.9	0.616	15.65	322	480	15.5	69.1	0.1861	0.19011	0.22766	479	791	2.5	479	75	9.2	791	175
ACSR 120/20	240	121.6	141.4	0.61	15.5	329	491	10	44.5	0.2376	0.24232	0.28353	428	n/a	3.3	479	87	n/a	n/a	n/a
ACSR Waxwing	267	135.2	142.6	0.609	15.47	194	289	6.9	30.6	0.21096	0.21555	0.25818	449	n/a	2.9	479	82	n/a	n/a	n/a
ACCC™ Copenhagen	440	223	251	0.72	18.29	450	670	16.4	72.9	0.1279	0.1309	0.15676	601	999	2.7	601	75	10	999	175
ACSR Linnet	336	170.4	198.1	0.72	18.29	462	688	14.1	62.7	0.16601	0.16962	0.20308	528	n/a	3.7	601	90	n/a	n/a	n/a
ACSS Linnet	336	170.4	198.1	0.72	18.29	462	688	11.2	49.8	0.16109	0.16503	0.19849	534	885	3.6	601	88	14.4	999	226
ACCC™ Reykjavik	447	226.3	266	0.741	18.82	472	703	22	98	0.1263	0.1267	0.1517	616	1024	2.8	616	75	10.2	1024	175
ACSR Oriole	336	170.2	210.3	0.741	18.82	527	784	17.3	77	0.1573	0.1683	0.2013	534	n/a	3.9	616	92	n/a	n/a	n/a
ACSS Oriole	336	170.2	210.3	0.741	18.82	527	784	14.8	66	0.1532	0.1637	0.1968	541	897	3.8	616	90	15.2	1024	231
AAAC Canton	395	199.9	199.9	0.721	18.3	368	547	13.3	59.2	0.1676	0.1712	0.2001	533	n/a	3.8	616	91	n/a	n/a	n/a
ACCC™ Glasgow	473	238.8	287.1	0.769	19.53	504	750	25.9	115.3	0.1192	0.12197	0.14606	634	1056	2.8	634	75	10.5	1056	175
ACSR Brant	398	201.4	227.5	0.772	19.61	511	761	14.6	64.9	0.14093	0.14422	0.17255	584	n/a	3.5	634	84	n/a	n/a	n/a
ACSS Brant	398	201.4	227.5	0.772	19.61	511	761	11	48.9	0.13695	0.14031	0.16864	591	940	3.4	634	87	13.6	1056	224
ACCC™ Casablanca	546	276.8	316.5	0.807	20.5	565	840	22.7	101.1	0.102	0.10413	0.12535	693	1153	2.9	693	75	10.8	1153	175
ACSR Lark	398	201.4	248.3	0.806	20.47	622	925	20.3	90.3	0.13937	0.14254	0.17044	572	n/a	4.3	693	98	n/a	n/a	n/a
ACSS Lark	398	201.4	248.3	0.806	20.47	622	925	17.5	77.8	0.13552	0.13869	0.16665	579	959	4.2	693	97	17.3	1153	258
ACCC™ Oslo	627	317.7	377.4	0.882	22.4	666	992	33.3	148.1	0.0899	0.09219	0.11041	755	1267	3	755	75	11.4	1267	175
ACSR Hen	477	241.7	298.1	0.883	22.43	746	1111	23.8	105.9	0.11613	0.11887	0.14217	665	n/a	4.1	755	89	n/a	n/a	n/a
ACSS Hen	477	241.7	298.1	0.883	22.43	746	1111	21	93.4	0.1129	0.1157	0.13894	673	1127	4	755	87	16.1	1267	222
ACCC™ Lisboa	629	318.7	358.4	0.887	21.78	643	957	23.3	103.7	0.0896	0.09199	0.11016	751	1257	3	751	75	11.2	1257	175
ACSR Hawk	477	241.7	280.8	0.858	21.79	656	976	19.5	86.7	0.11713	0.11975	0.14337	658	n/a	4.1	751	90	n/a	n/a	n/a
ACSS Hawk	477	241.7	280.8	0.858	21.79	656	976	15.6	69.4	0.11385	0.11647	0.14009	666	1112	4	751	88	16.1	1257	225
AAAC Daren	560	283.5	283.5	0.858	21.8	522	776	18.8	83.6	0.1181	0.1212	0.1415	663	n/a	4	751	88	n/a	n/a	n/a
ACCC™ Amsterdam	733	371.3	418.5	0.927	23.5	748	1113	27.6	122.8	0.0769	0.07911	0.09474	826	1389	3.1	826	75	11.7	1389	175
ACSR Dove	557	282	327.9	0.927	23.55	765	1138	22.6	100.5	0.10309	0.10302	0.12303	725	n/a	4.2	826	89	n/a	n/a	n/a
ACSS Dove	557	282	327.9	0.927	23.55	765	1138	18.2	81	0.09744	0.10007	0.12041	734	1232	4.1	826	88	16.7	1389	224
ACCC™ Bruselas	839	426.3	477.2	0.99	25.14	857	1275	30.6	136.1	0.0673	0.06942	0.08313	897	1513	3.2	897	75	12.2	1513	175
ACSR Grosbeak	636	322.2	374.6	0.99	25.15	874	1301	25.2	112.1	0.0876	0.09022	0.10794	788	n/a	4.4	897	89	n/a	n/a	n/a
ACSS Grosbeak	636	322.2	374.6	0.99	25.15	874	1301	20.8	92.5	0.0853	0.08793	0.10531	799	1348	4.3	897	87	17.3	1513	221
AAAC Flint	741	375.3	375.4	0.991	25.2	691	1028	24.4	108.5	0.0892	0.0921	0.1074	790	n/a	4.3	897	99	n/a	n/a	n/a
ACCC™ Estocolmo	922	467.2	527.5	1.038	26.4	944	1406	35.2	156.5	0.0812	0.08324	0.07573	852	1610	3.3	952	75	12.6	1610	175
ACSR Silt	716	362.5	409.7	1.036	26.31	921	1370	25.5	113.4	0.07829	0.08072	0.09637	843	n/a	4.4	952	88	n/a	n/a	n/a
ACSS Silt	716	362.5	409.7	1.036	26.31	921	1370	19.5	86.7	0.07612	0.07854	0.0942	822	1378	4.4	952	92	18.3	1610	240
ACCC™ Varsovia	1016	514.6	574.9	1.081	27.72	1034	1538	35.8	159.1	0.0556	0.05764	0.06802	1011	1742	3.4	1011	75	13	1712	175
ACSR Kukoo	795	402.8	455	1.082	27.74	1023	1522	27.9	124.1	0.07046	0.07282	0.08681	901	n/a	4.5	1011	87	n/a	n/a	n/a
ACSS Kukoo	795	402.8	455	1.082	27.74	1023	1522	21.7	96.5	0.06848	0.0709	0.08494	911	1543	4.4	1011	86	17.6	1712	215
ACCC™ Dublin	1043	528.7	600	1.108	28.15	1072	1595	41.3	183.5	0.0541	0.05608	0.06716	1029	1744	3.4	1029	75	13.1	1744	175
ACSR Drake	795	402.8	468.6	1.108	28.14	1093	1627	31.5	140.1	0.07021	0.07251	0.08651	907	n/a	4.6	1029	88	n/a	n/a	n/a
ACSS Drake	795	402.8	468.6	1.108	28.14	1093	1627	25.9	115.2	0.06824	0.07054	0.08465	916	1551	4.5	1029	87	18.5	1744	221
AAAC Greely	927	469.8	469.8	1.108	28.1	865	1287	30.5	136.7	0.0713	0.0741	0.0863	908	n/a	4.6	1029	88	n/a	n/a	n/a
ACCC™ Hamburgo	1092	553.5	613.8	1.127	28.62	1106	1646	36.3	161.3	0.0517	0.05375	0.06436	1055	1791	3.5	1055	75	13.3	1791	175
ACSR Drake	795	402.8	468.6	1.108	28.14	1093	1627	31.5	140.1	0.07021	0.07251	0.08651	907	n/a	4.9	1055	92	n/a	n/a	n/a
ACSS Drake	795	402.8	468.6	1.108	28.14	1093	1627	25.9	115.2	0.06824	0.07054	0.08465	916	1551	4.8	1055	90	20	1791	233
ACCC™ Milán	1134	574.7	635	1.146	29.1	1146	1705	36.5	162.4	0.0498	0.05186	0.0621	1079	1833	3.5	1079	75	13.4	1833	175
ACSR Mallard	795	402.8	494.8	1.14	28.96	1234	1836	38.4	170.8	0.06972	0.07183	0.08575	882	n/a	5.2	1079	99	n/a	n/a	n/a
ACSS Mallard	795	402.8	494.8	1.14	28.96	1234	1836	34.3	152.6	0.06779	0.0699	0.08382	893	1504	5	1079	97	22	1833	261
ACCC™ Roma	1183	598.5	670.8	1.177	29.89	1205	1793	42.2	187.5	0.0478	0.04981	0.05985	1109	1886	3.5	1109	75	13.6	1886	175
ACSR Cardinal	954	483.4	545.9	1.196	30.38	1227	1826	33.8	150.4	0.05873	0.06102	0.0748	995	n/a	4.6	1109	86	n/a	n/a	n/a
ACSS Cardinal	954	483.4	545.9	1.196	30.38	1227	1826	26	115.7	0.05709	0.05938	0.07316	1006	1682	4.5	1109	86	19.5	1886	221
ACCC™ Viena	1255	635.8	696.1	1.198	30.42	1258	1872	37.3	165.9	0.0449	0.047	0.05625	1147	1954	3.6	1147	75	13.8	1954	175
ACSR Cardinal	954	483.4	545.9	1.196	30.38	1227	1826	33.8	150.4	0.05873	0.06102	0.0748	995	n/a	5	1147	91	n/a	n/a	n/a
ACSS Cardinal	954	483.4	545.9	1.196	30.38	1227	1826	26	115.7	0.05709	0.05938	0.07316	1006	1682	4.9	1147	89	21.8	1954	238
ACCC™ Budapest	1332	675	746.3	1.24	31.5	1346	2003	43.1	191.7	0.0424	0.04447	0.05325	1190	2029	3.6	1190	75	14.1	2029	175
ACSR Curlew	1034	523.6	591.2	1.245	31.62	1329	1977	36.6	162.8	0.05418	0.05664	0.0691	1045	n/a	5	1190	89	n/a	n/a	n/a
ACSS Curlew	1034	523.6	591.2	1.245	31.62	1329	1977	28.2	125.4	0.05269	0.05505	0.06754	1058	1778	4.8	1190	88	21.1	2029	230
ACCC™ Praga	1377	6																		

Anexo 2. Plano del remate del ACCC

ACCC Assembly Kit Part Number	Conductor		Dimensions										Bill of Materials (Shown) Part Numbers					Not shown							
	Code Name	Size	A	B	C	D	E	F	G	1 Outer Tube	2 Inner Sleeve	3 Eyebolt	4 Housing	5 Collet	Terminal pad										
	mm	inch	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										
Small Family																									
5000-1020	Linnest	431	218	18.29	31.87	809.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-1
5000-1022	Copenhagen	440	223	18.29	31.87	809.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-1
5000-1044	Glasgow	474	240	19.69	34.61	882.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-3
5000-1030	Haw K	611	310	12.30	19.69	1194.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-3
5000-1040	Lisbon	630	319	12.52	19.69	1217.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-3
5000-1040	Dove	713	361	14.21	21.88	1367.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-3
5000-1042	Amsterdam	732	371	14.61	23.35	1417.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-3
5000-1050	Grosbeak	816	413	16.26	25.15	1617.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-3	600-153-7
5000-1052	Brussels	839	425	16.90	25.14	1647.5	2.00	50.8	1.37	34.8	13.00	330.2	2.75	69.9	0.62	15.7	4.00	101.6	600-152	600-151-1	600-101	600-101C	600-102	600-103-9	600-153-7
Medium Family																									
5000-1026	Oslo	628	318	12.52	19.69	1217.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-4	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-4
5000-1034	Stockholm	670	341	13.40	21.88	1317.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-5	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-5
5000-1056	Warsaw	1016	515	20.31	31.87	1967.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-5	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-5
5000-1060	Drake	1020	517	20.35	31.87	1987.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-5	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-5
5000-1062	Dublin	1044	528	20.83	31.87	2047.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-5	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-5
5000-1058	Hamburg	1093	554	21.81	31.87	2147.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-6	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-6
5000-1064	Milan	1135	575	22.64	31.87	2217.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-7	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-7
5000-1066	Rome	1184	600	23.58	31.87	2317.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-7	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-7
5000-1070	Cardinal	1222	619	24.37	31.87	2387.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-7	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-7
5000-1072	Vienna	1255	636	25.04	31.87	2457.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-7	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-7
5000-1074	Budapest	1333	675	26.57	31.87	2607.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-9	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-9
5000-1076	Prague	1378	688	27.08	31.87	2677.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-9	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-9
5000-1078	Munich	1460	740	29.13	32.85	2837.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-11	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-9
5000-1079	London	1512	766	30.16	31.87	2907.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-11	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-11
5000-1080	Birmingham	1572	797	31.38	31.87	2987.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-11	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-11
5000-1082	Paris	1620	821	32.32	31.87	3057.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-252	600-251-11	600-201	600-201C	600-202	600-203-3	600-253-11
Large Family																									
5000-1088	Amberg	1879	952	37.88	31.87	3487.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-352	600-351-11	600-301	600-301C	600-302	600-303-3	600-353-1
5000-1090	Lapov	1966	996	39.20	31.87	3627.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-352	600-351-11	600-301	600-301C	600-302	600-303-3	600-353-1
5000-1092	Madrid	2020	1024	40.31	31.87	3707.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-352	600-351-11	600-301	600-301C	600-302	600-303-3	600-353-1
5000-1100	Charkov	2243	1136	44.70	31.87	4107.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-352	600-351-13	600-301	600-301C	600-302	600-303-3	600-353-3
5000-1110	Bledov	2723	1382	54.43	31.87	4987.5	2.50	63.5	1.69	42.9	15.00	381.0	3.00	76.2	0.62	15.7	4.00	101.6	600-352	600-351-15	600-301	600-301C	600-302	600-303-3	600-353-5

2. Customer order by ACCC Assembly Kit Part Number.
 1. Kit components are shown. Junior terminals with nuts and bolts.
 Electrical components, main insulating paper, and ferrules, etc.

NOTES - UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

SHEET 1 OF 1

DESIGN	DATE	REVISED
DATE	BY	BY
DATE	BY	BY
DATE	BY	BY

A Subsidiary of Composite Technology Corporation
 16700 W. 15th Ave., Suite 100
 Denver, CO 80202
 Phone: 303.440.2200
 Fax: 303.440.2201
 Email: sales@ctccable.com

Anexo 3. Plano del empalme al 100% del ACCC

ACCC Assembly Kit Part Number	Conductor		Dimensions										Bill of Material Part Numbers					
	Code Name	Size mm ² inch	A mm inch	B mm inch	C mm inch	D mm inch	E mm inch	Outer Tube mm inch	Inner Sleeve mm inch	3 Housing	4 Coilset	5 Housing Retainer	6 Coupler Assembly					
Small Family																		
5000-0300	None	451	78	0.320	38.50	0.271	2.00	0.8	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
5000-0322	Copper/Alum	440	233	0.720	49.25	38.50	0.271	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0344	Aluminum	434	242	0.760	49.25	38.50	0.271	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0330	None	671	135	0.568	21.75	38.50	0.271	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0332	Aluminum	650	148	0.587	21.75	38.50	0.271	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0430	None	78	34	0.927	33.00	39.00	0.371	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0432	Aluminum	72	37	0.927	33.00	39.00	0.371	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0500	Aluminum	88	45	0.890	25.2	39.00	0.371	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0502	Aluminum	89	45	0.890	25.2	39.00	0.371	2.00	0.8	0.13	34.8	0.50	342.3	2.00	0.8	0.06	0.06	
Medium Family																		
5000-0205	Alum	625	118	0.882	22.00	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0308	Aluminum	910	461	1.039	28.00	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0309	Aluminum	916	95	1.091	27.72	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0300	Aluminum	500	97	1.008	28.14	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0302	Aluminum	644	59	1.008	28.14	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0308	Aluminum	1003	95	1.007	28.12	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0309	Aluminum	1005	95	1.046	29.10	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0306	Aluminum	1004	600	1.077	29.09	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0307	Aluminum	1002	619	1.066	30.38	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0304	Aluminum	1001	198	1.040	31.50	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0305	Aluminum	1000	204	1.024	31.77	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0307	Aluminum	1460	740	1.283	32.85	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0308	Aluminum	1462	740	1.316	33.42	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0309	Aluminum	1464	737	1.345	34.4	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0302	Aluminum	1460	821	1.345	34.4	42.00	0.688	2.50	0.8	0.13	42.9	0.50	393.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
Large Family																		
5000-0308	Aluminum	1462	1451	1.451	38.85	78.00	0.812	3.00	0.8	0.13	42.9	0.50	431.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0309	Aluminum	1464	1451	1.484	39.42	78.00	0.812	3.00	0.8	0.13	42.9	0.50	431.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0302	Aluminum	2020	804	1.594	38.20	78.00	0.812	3.00	0.8	0.13	42.9	0.50	431.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0304	Aluminum	2020	804	1.602	40.89	78.00	0.812	3.00	0.8	0.13	42.9	0.50	431.0	2.00	0.8	0.06	0.06	
5000-0305	Aluminum	2177	832	1.762	44.75	78.00	0.812	3.00	0.8	0.13	42.9	0.50	431.0	2.00	0.8	0.06	0.06	

2. Customer order by ACCC Assembly Kit Part Number.

1. Kit components not shown: Electrical compound, Mesh sanding paper, and instructions.

NOTES:

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES
DIMENSIONS IN PARENTHESES ARE IN MILLIMETERS (PER MILS)

FINISH: AS SHOWN
ANGLE: MAXIMUM 4°
SIZE: PER DIMENSIONS
TOLERANCE: ±0.015

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF CTC CORPORATION AND IS TO BE USED FOR THE PROJECT AND FABRICATION IN PART OR AS A WHOLE. ANY REPRODUCTION OR TRANSMISSION OF THIS DRAWING WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF CTC CORPORATION IS PROHIBITED.

DATE: 2/10/09
DRAWN: J.T.
CHECKED: J.T.
DESIGNED: J.T.
SCALE: 1:1

INTERESTED PARTIES: TO BE ADVISED PER TITLE 7-106
DONOR: KALIBRAWING
REV: 01
DATE: 2/10/09
BY: J.T.

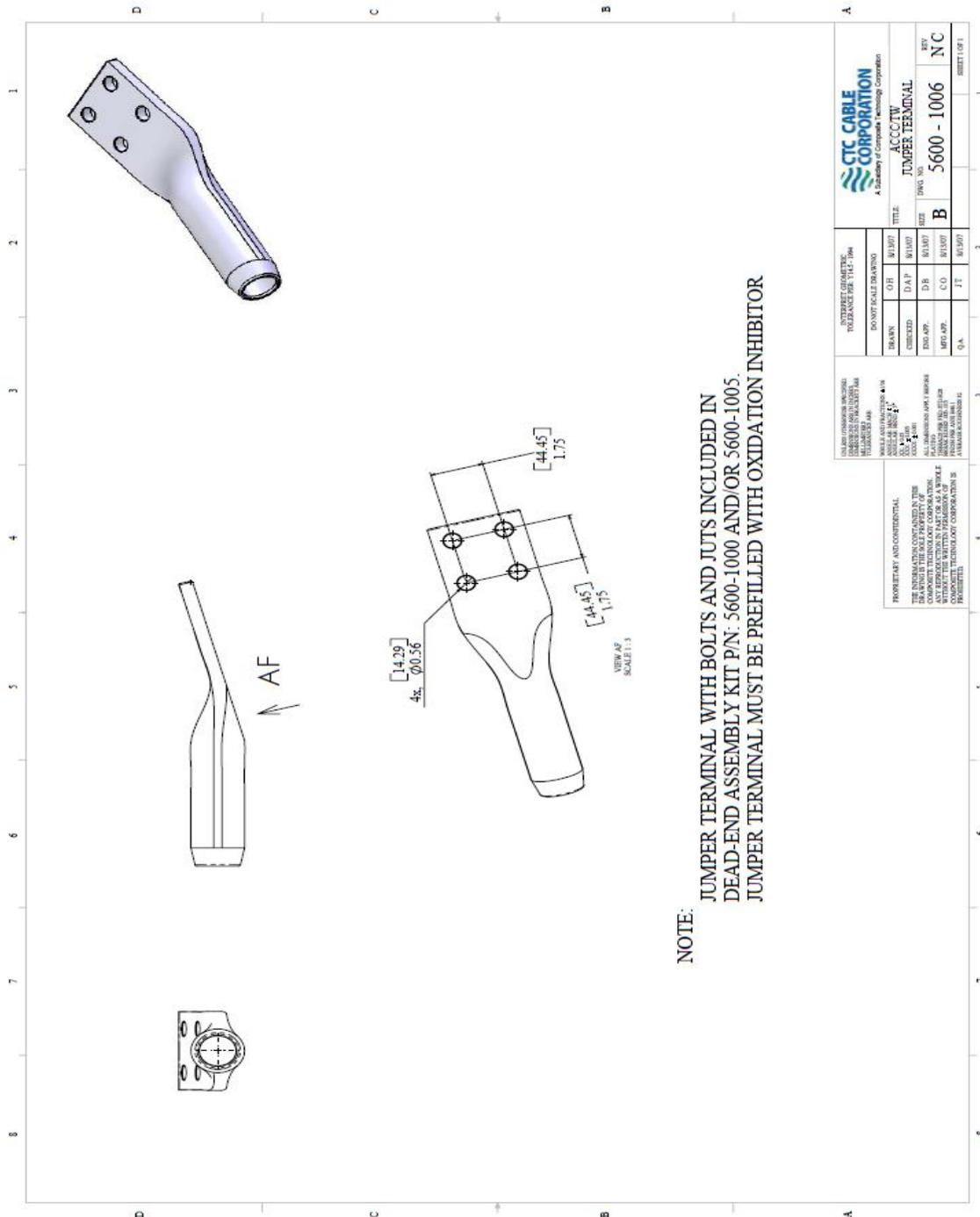
CTC CABLE CORPORATION
A Subsidiary of Composite Technology Corporation

ACCC/TW
SPICE ASSEMBLY KIT
REV: 01
DATE: 2/10/09
BY: J.T.

5000 - 2005
REV: 01
DATE: 2/10/09
BY: J.T.

Fuente: CTC, ACCC conductor installation guidelines. p. 24.

Anexo 4. Plano de la paleta de conexión utilizada para ACCC



Fuente: CTC, ACCC conductor installation guidelines. p. 25.

Anexo 5. **Dados utilizados para empalmes y remates del ACCC marca FCI Burndy y ACA Conductor Accessories**

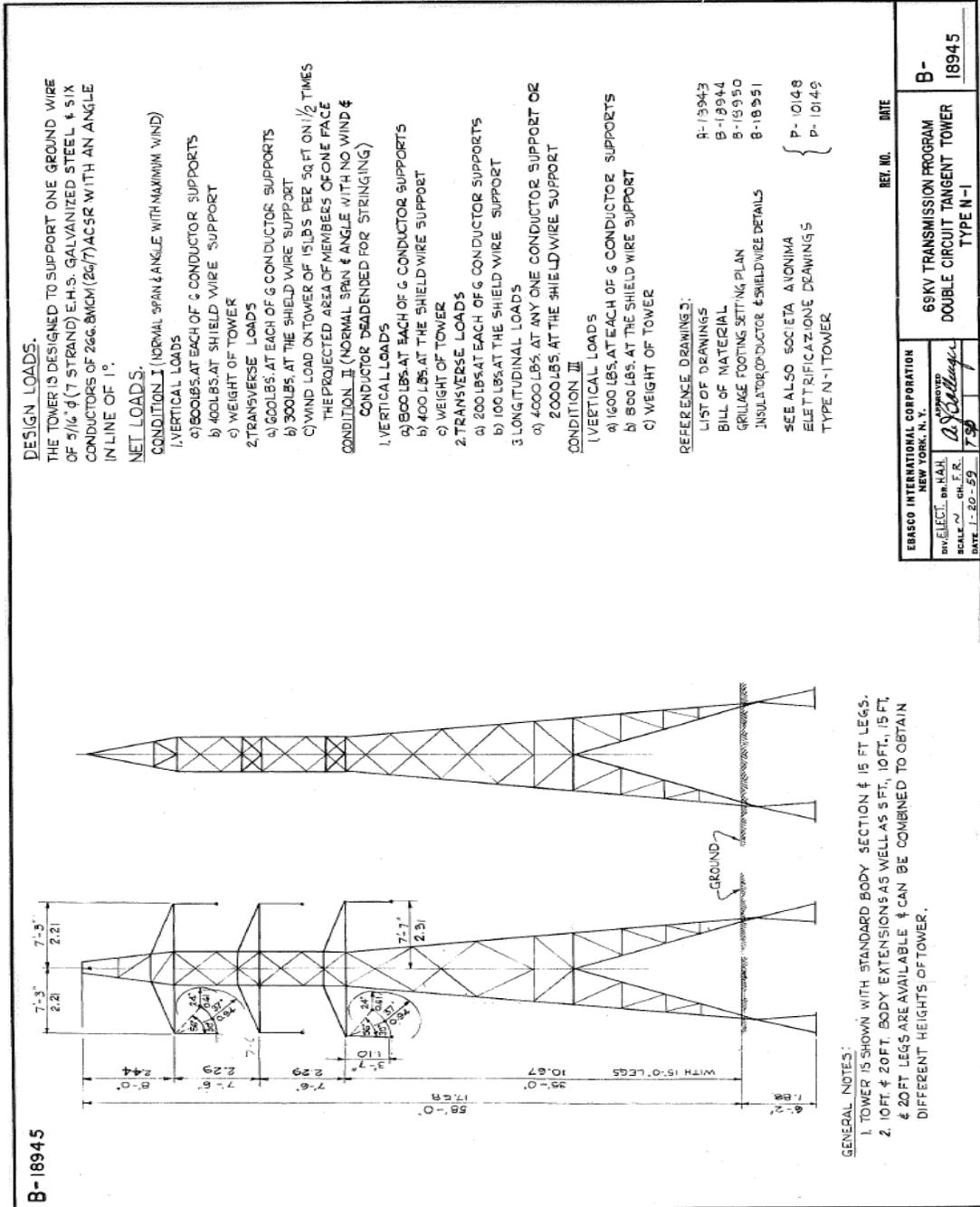
DADOS DE COMPRESIÓN REQUERIDOS PARA EMPALMES Y REMATES MARCA FCI BURNDY													
Nombre código ACCC	No. Parte remate	No. Parte empalme	Diámetro de manga ó canisa exterior (plg)	Diámetro de manga ó canisa exterior (mm)	No. Dado FCI	No. Dado ACA	Paleta de conexión (plg)	Paleta de conexión (mm)	No. Dado FCI	No. Dado ACA			
Berna	5600-1008	5600-2008	1.97	50	L727	6030AH	TBD	TBD	TBD	TBD			
Linnet	5600-1020	5600-2020					1.19	30.23	L717	6076AH			
Copenhague	5600-1022	5600-2022					1.8	45.72	L725	6027AH			
Helsinki	5600-1024	5600-2024					TBD	TBD	TBD	TBD			
Oslo	5600-1026	5600-2026	2.5	63.5	L735	6040AH	1.8	45.72	L725	6027AH			
Hawk	5600-1030	5600-2030	1.97	50	L727	6030AH	1.41	35.81	L720	6024AH			
Lisboa	5600-1032	5600-2032					1.8	45.72	L725	6027AH			
Dove	5600-1040	5600-2040					1.5	38.10	L722	6024AH			
Ámsterdam	5600-1042	5600-2042					1.8	45.72	L725	6027AH			
Glasgow	5600-1044	5600-2044											
Grosbeak	5600-1050	5600-2050									1.61	40.89	L724
Bruselas	5600-1052	5600-2052	2.5	63.5	L735	6040AH	1.8	45.72	L725	6027AH			
Estocolmo	5600-1054	5600-2054											
Varsovia	5600-1056	5600-2056											
Hamburgo	5600-1058	5600-2058											
Drake	5600-1060	5600-2060											
Dublín	5600-1062	5600-2062											
Milán	5600-1064	5600-2064											
Roma	5600-1066	5600-2066											
Cardinal	5600-1070	5600-2070									50.00	L727	6030AH
Viena	5600-1072	5600-2072											
Budapest	5600-1074	5600-2074					45.72	L725	6027AH				
Praga	5600-1076	5600-2076											
Munich	5600-1078	5600-2078											
Londres	5600-1079	5600-2079					-	-	L729	-			
Bittern	5600-1080	5600-2080					2.13	54.10	L727	6030AH			
París	5600-1082	5600-2082					-	-	L729	-			
Amberes	5600-1088	5600-2088											
Madrid	5600-1092	5600-2092	L735	6040AH									

Continuación del anexo 5.

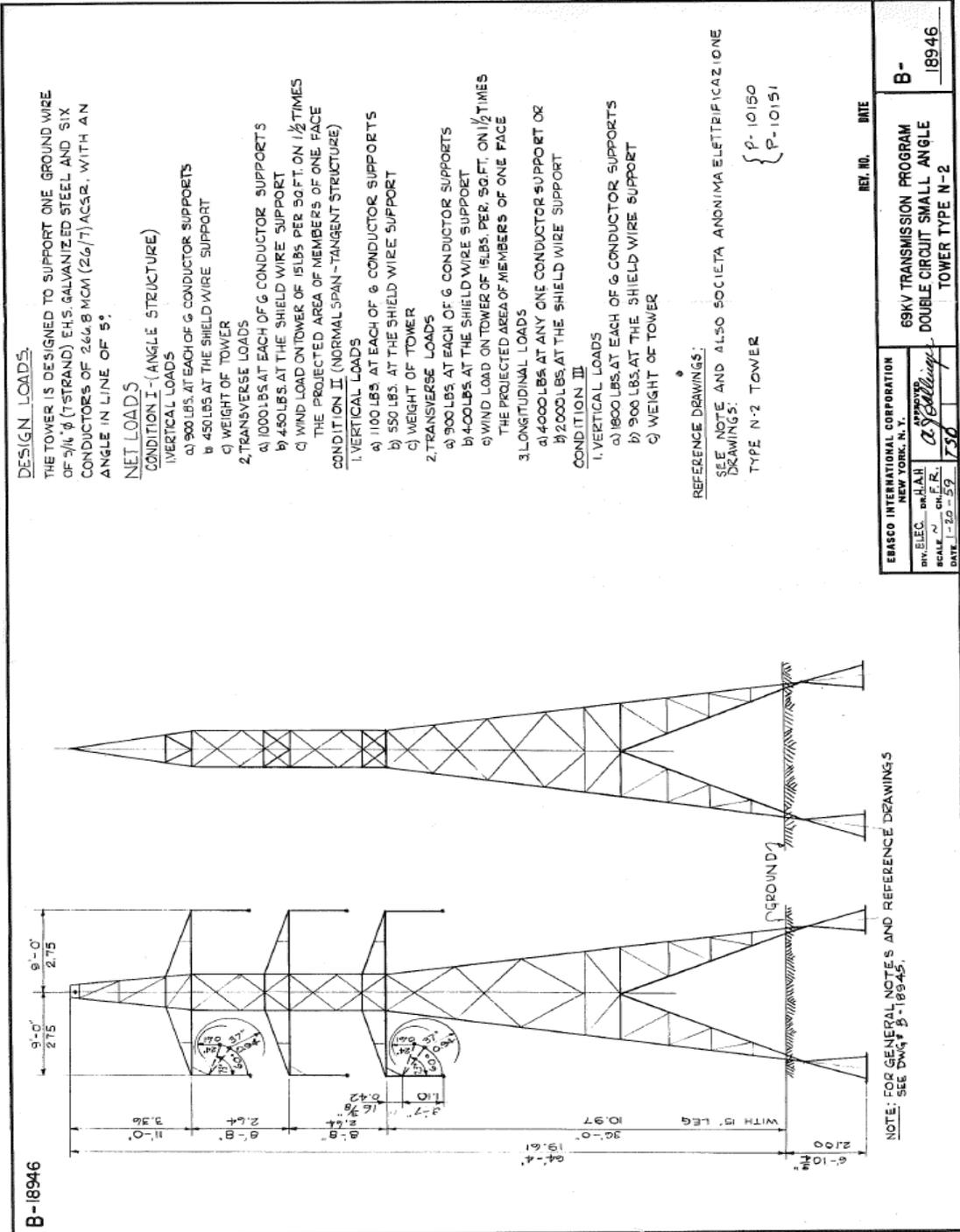
DADOS DE COMPRESIÓN REQUERIDOS PARA EMPALMES Y REMATES MARCA ACA CONDUCTOR ACCESORIES														
Nombre código ACCC	No. Parte remate	No. Parte empalme	Diámetro de manga ó camisa exterior (plg)	Diámetro de manga ó camisa exterior (mm)	No. Dado ACA	No. Dado FCI	Paleta de conexión (plg)	Paleta de conexión (mm)	No. Dado ACA	No. Dado FCI				
Berna	5600-1008	5600-2008	2.13	54	6034AH	L767	TBD	TBD	TBD	TBD				
Linnnet	5600-1020	5600-2020					-	-	6020AH	-				
Copenhague	5600-1022	5600-2022					-	-	-	-				
Helsinki	5600-1024	5600-2024					TBD	TBD	TBD	TBD				
Oslo	5600-1026	5600-2026	2.5	63.5	6040AH	L735	2.13	54.10	6034AH	L767				
Hawk	5600-1030	5600-2030	2.13	54	6034AH	L767	-	-	6024AH	L720				
Lisboa	5600-1032	5600-2032					2.13	54.10	6027AH	L725				
Dove	5600-1040	5600-2040					-	-	-	-				
Ámsterdam	5600-1042	5600-2042					2.13	54.10	6034AH	L767				
Glasgow	5600-1044	5600-2044					-	-	6030AH	L727				
Grosbeak	5600-1050	5600-2050					-	-	-	-				
Bruselas	5600-1052	5600-2052	2.5	63.5	6040AH	L735	2.13	54.10	6034AH	L767				
Estocolmo	5600-1054	5600-2054												
Varsovia	5600-1056	5600-2056												
Hamburgo	5600-1058	5600-2058												
Drake	5600-1060	5600-2060												
Dublín	5600-1062	5600-2062												
Milán	5600-1064	5600-2064												
Roma	5600-1066	5600-2066												
Cardinal	5600-1070	5600-2070												
Viena	5600-1072	5600-2072												
Budapest	5600-1074	5600-2074												
Praga	5600-1076	5600-2076												
Munich	5600-1078	5600-2078												
Londres	5600-1079	5600-2079									-	-	-	L729
Bittern	5600-1080	5600-2080									2.13	54.10	6034AH	L767
París	5600-1082	5600-2082									-	-	-	L729
Amberes	5600-1088	5600-2088	-	-	6040AH	L735								
Madrid	5600-1092	5600-2092	-	-	-	-								

Fuente: CTC, ACCC conductor installation guidelines. p. 18.

Anexo 6. Dimensiones e información técnica de torres tipo N-1 a N-4



Continuación del anexo 6.



DESIGN LOADS:
 THE TOWER IS DESIGNED TO SUPPORT ONE GROUND WIRE OF 3/4" Ø (1 STRAND) E.H.S. GALVANIZED STEEL AND SIX CONDUCTORS OF 266.8 MCM (26.7) ACSR, WITH AN ANGLE IN LINE OF 5°.

NET LOADS
 CONDITION I - (ANGLE STRUCTURE)
 1. VERTICAL LOADS
 a) 900 LBS. AT EACH OF 6 CONDUCTOR SUPPORTS
 b) 450 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 c) WEIGHT OF TOWER
 2. TRANSVERSE LOADS
 a) 1000 LBS. AT EACH OF 6 CONDUCTOR SUPPORTS
 b) 450 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 c) WIND LOAD ON TOWER OF 15 LBS. PER SQ. FT. ON 1/2 TIMES THE PROJECTED AREA OF MEMBERS OF ONE FACE

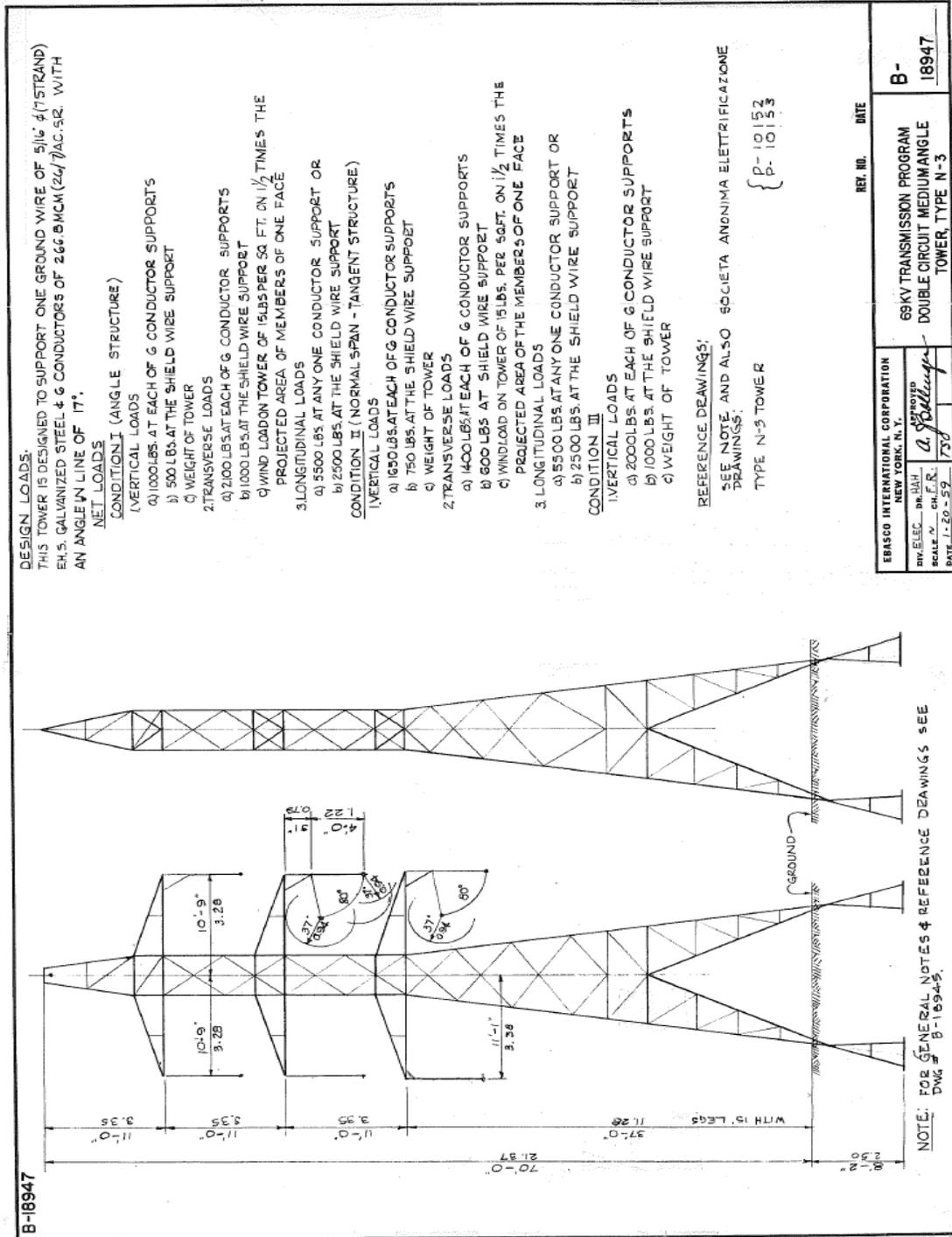
CONDITION II (NORMAL SPAN - TANGENT STRUCTURE)
 1. VERTICAL LOADS
 a) 1100 LBS. AT EACH OF 6 CONDUCTOR SUPPORTS
 b) 550 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 c) WEIGHT OF TOWER
 2. TRANSVERSE LOADS
 a) 900 LBS. AT EACH OF 6 CONDUCTOR SUPPORTS
 b) 400 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 c) WIND LOAD ON TOWER OF 15 LBS. PER SQ. FT. ON 1/2 TIMES THE PROJECTED AREA OF MEMBERS OF ONE FACE
 3. LONGITUDINAL LOADS
 a) 4000 LBS. AT ANY ONE CONDUCTOR SUPPORT OR
 b) 2000 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 1. VERTICAL LOADS
 a) 1800 LBS. AT EACH OF 6 CONDUCTOR SUPPORTS
 b) 900 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
 c) WEIGHT OF TOWER

REFERENCE DRAWINGS:
 SEE NOTE AND ALSO SOCIETA ANONIMA ELETTIFICAZIONE DRAWINGS:
 TYPE N-2 TOWER
 { P-10150
 P-10151

EMASCO INTERNATIONAL CORPORATION NEW YORK, N. Y.		REV. NO.	DATE
BY: ELEC. DR. J. A. H. SCALE: 1" = 20'-0" 59 DATE: 1-20-59	APPROVED: C. J. Callings	B-18946	18946
69KV TRANSMISSION PROGRAM DOUBLE CIRCUIT SMALL ANGLE TOWER TYPE N-2			

NOTE: FOR GENERAL NOTES AND REFERENCE DRAWINGS SEE DWG # B-18945.

Continuación del anexo 6.



DESIGN LOADS:
THIS TOWER IS DESIGNED TO SUPPORT ONE GROUND WIRE OF 5/16" ϕ (7 STRAND) EN.S. GALVANIZED STEEL & G CONDUCTORS OF 266 BMCK (24) 7/AC.SR. WITH AN ANGLE IN LINE OF 17°.

NET LOADS
CONDITION I (ANGLE STRUCTURE)
1. VERTICAL LOADS
a) 1000 LBS. AT EACH OF G CONDUCTOR SUPPORTS
b) 500 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
c) WEIGHT OF TOWER

2. TRANSVERSE LOADS
a) 2100 LBS. AT EACH OF G CONDUCTOR SUPPORTS
b) 1000 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
c) WIND LOAD ON TOWER OF 15 LBS PER SQ. FT. ON 1/2 TIMES THE PROJECTED AREA OF MEMBERS OF ONE FACE

3. LONGITUDINAL LOADS
a) 5500 LBS. AT ANY ONE CONDUCTOR SUPPORT OR
b) 2500 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
CONDITION II (NORMAL SPAN - TANGENT STRUCTURE)
1. VERTICAL LOADS
a) 1650 LBS. AT EACH OF G CONDUCTOR SUPPORTS
b) 750 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
c) WEIGHT OF TOWER

2. TRANSVERSE LOADS
a) 1400 LBS. AT EACH OF G CONDUCTOR SUPPORTS
b) 600 LBS. AT SHIELD WIRE SUPPORT
c) WIND LOAD ON TOWER OF 15 LBS. PER SQ. FT. ON 1/2 TIMES THE PROJECTED AREA OF THE MEMBERS OF ONE FACE

3. LONGITUDINAL LOADS
a) 5500 LBS. AT ANY ONE CONDUCTOR SUPPORT OR
b) 2500 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
CONDITION III
1. VERTICAL LOADS
a) 2000 LBS. AT EACH OF G CONDUCTOR SUPPORTS
b) 1000 LBS. AT THE SHIELD WIRE SUPPORT
c) WEIGHT OF TOWER

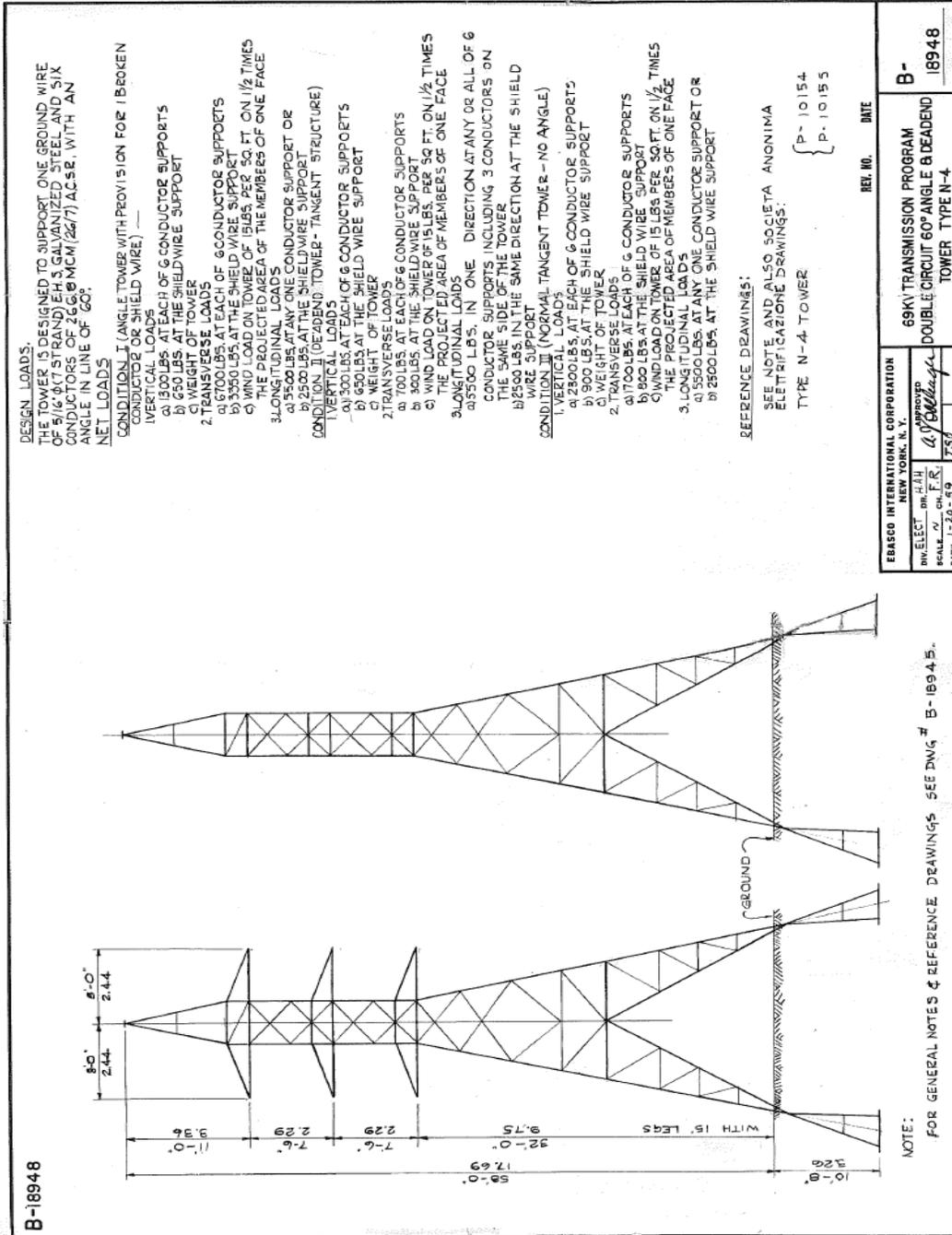
REFERENCE DRAWINGS:
SEE NOTE AND ALSO SOCIETA ANONIMA ELETTTRIFICAZIONE DRAWINGS:
TYPE N-3 TOWER

{
p- 10.152
p- 10.153

EBASCO INTERNATIONAL CORPORATION NEW YORK, N. Y.	REV. NO.	DATE
DIV. ELEC. - DR. 104 SCALE 1/4" = 1'-0" DATE 1-20-59		
APPROVED <i>A. Pellegrino</i>		
130		
69 KV TRANSMISSION PROGRAM DOUBLE CIRCUIT MEDIUM ANGLE TOWER, TYPE N-3	B-	18947

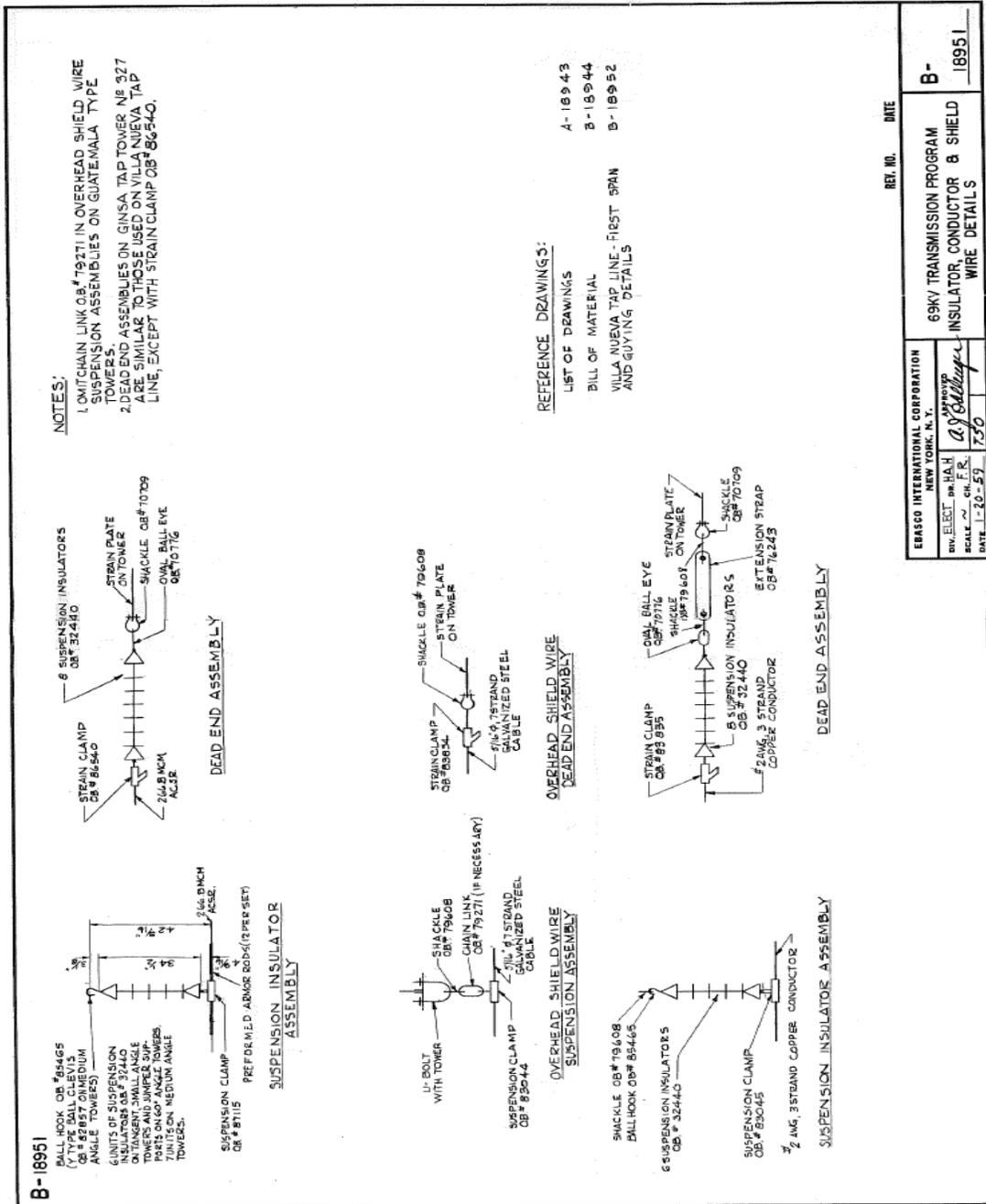
NOTE: FOR GENERAL NOTES & REFERENCE DRAWINGS SEE DWG # B-18945.

Continuación del anexo 6.



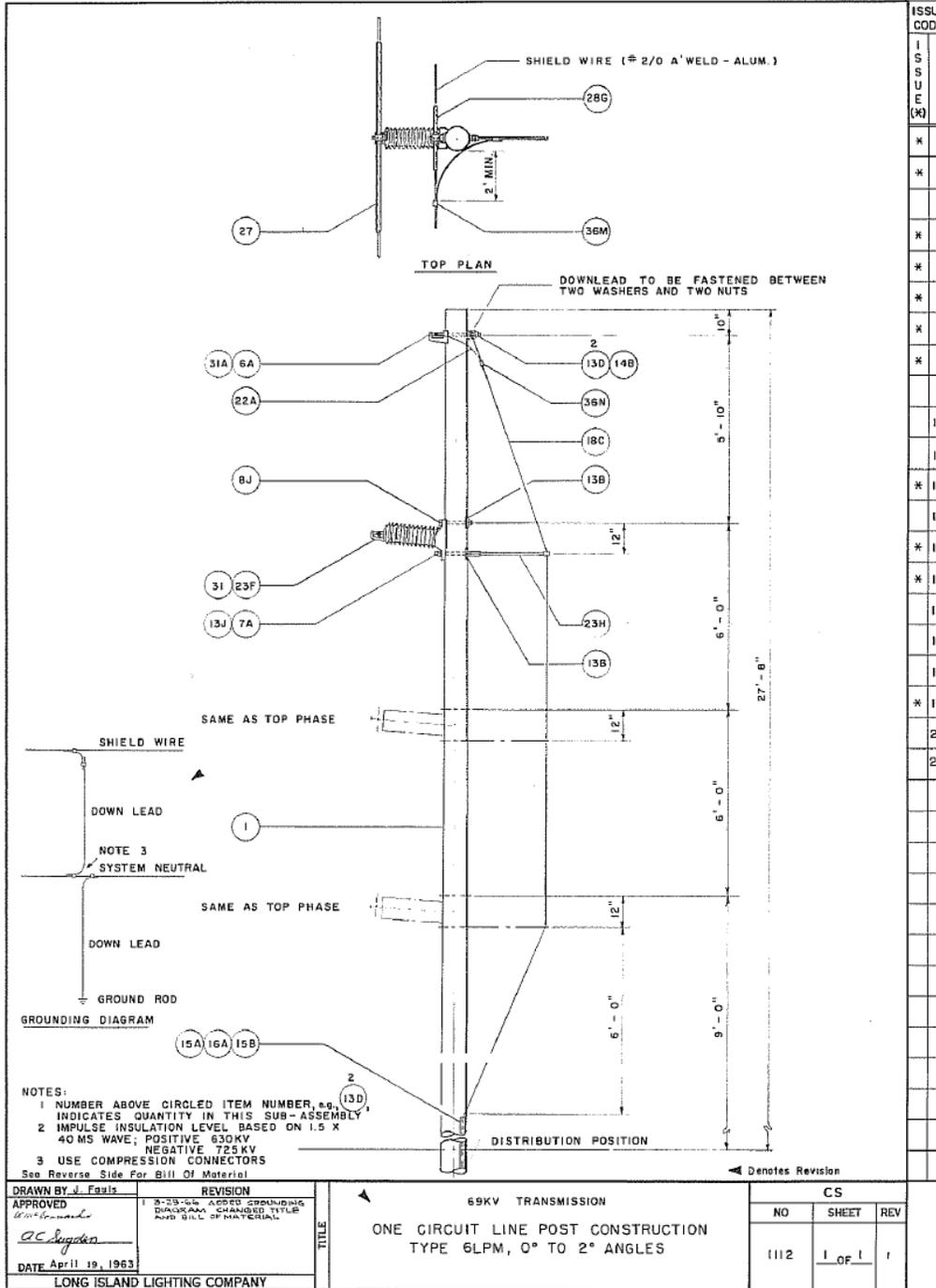
Fuente: Ebasco International Corporation specification for 69 KV transmission line construction program. p. B-18948.

Anexo 7. Detalle de herrajes y aisladores de torres tipo N-1 a N-4.



Fuente: Ebasco International Corporation specification for 69 KV transmission line construction program. p. B-18951.

Anexo 8. **Materiales y dimensiones de construcción tipo tangente 0° a 2° para poste de concreto**



ISSUE CODE	NUMBER
	1
*	2
	3
*	4
*	5
*	6
*	7
*	8
	9
	10
	11
*	12
	13
*	14
*	15
	16
	17
	18
*	19
	20
	21

Continuación del anexo 8.

BILL OF MATERIAL			
ITEM NO.	DESCRIPTION	QUAN-TITY	M & S CODE
1	POLE, SPECIFY LENGTH AND CLASS	1	170---
6A	BRACKET, GROUND WIRE, FOR CLAMP TOP CLAMP	1	113008
7A	BOLT, DOUBLE ARMING, GALV., 5/8" X 14"	3	110107
8J	BOLT, MACHINE, GALV., 3/4" X 14"	3	110065
13B	WASHER, STUB, GALV., (13/16" HOLE), 3 1/4"	6	198004
13D	WASHER, ROUND, GALV., (13/16" HOLE), 1 3/4"	2	198015
13J	WASHER, ROUND, GALV., (11/16" HOLE), 1 3/4"	3	198006
14B	STUD, CLAMP TOP BRACKET, GALV., 3/4" X 14"	1	110108
15A	STAPLES, C'WELD, 1 1/2" X 5/16" X .144"	*	180001
15B	STAPLES, C'WELD, 2 1/2" X 1 1/16" X 3/16"	*	180004
16A	MOULDING, WOOD, HALF ROUND, 1 1/4", 3/4" GROOVE(FT.)	*	154001
18C	WIRE, COPPER BARE, #4 SOL. S.D. (FT.)	*	199028
22A	WIRE, ALUMOWELD-ALUMINUM BARE, #2/0 (FT.)	*	199940
23F	INSULATOR, POST HORIZ. MOUNT., 88KV, WITH INTEGRAL BASE	3	146085
23H	INSULATOR, ROD FIBER GLASS DOWN LEAD, 30" LONG	3	173012
27	RODS, ARMOR, SPECIFY SIZE	3	121---
28G	GUARDS, LINE, 27" (#2/0 A'WELD-ALUM.) (13/ST.)	1	173123
31	CLAMP, CLAMP TOP TYPE, SPECIFY SIZE	3	121---
31A	CLAMP, CLAMP TOP TYPE, .35"-.84" (#2/0 A'WELD-ALUM.)	1	121007
36M	CONN., COMP., CABELOK CRIMPIT, #2/0 A'WELD-ALUM. R.&T.	1	124305
36N	CONN., COMP., CABELOK CRIMPIT, #2/0 A'WELD-ALUM. R. #4 SOL. COPPER T.	1	124304

WHEN COPPER CONDUCTORS ARE USED ELIMINATE ITEM 27

*AS REQUIRED

CS 1112

Fuente: Joslyn complete electrical construction equipment. p. CS-1112.