

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REDES COMPACTAS FRENTE AL  
SISTEMA CONVENCIONAL**

**SEBASTIAN AMIR MACHACADO ARIZA  
FRANCISCO JAVIER CRUZ PALOMAR**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2019**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REDES COMPACTAS FRENTE AL  
SISTEMA CONVENCIONAL**

**SEBASTIAN AMIR MACHACADO ARIZA  
FRANCISCO JAVIER CRUZ PALOMAR**

**Proyecto de investigación para optar al título de Ingeniero Electricista**

**Director:  
OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA  
PhD. en Tecnología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2019**

## DEDICATORIA

A **Dios**, por su infinito amor y bondad.

A mi querida mamá **María Luisa Ariza Castro**, por ser mi mayor motivación, mi motor, mi apoyo y mi amiga. Este logro es mas de ella que mío por ser la mejor madre que un hijo puede tener y por darme todo el amor, cariño, aliento y ayuda que necesité para obtener mi título. A ella este triunfo.

A mis queridos hermanos **Maríel Puentes Ariza** y **Leonardo Holguín Ariza**, por su constante apoyo y cariño hacia mí, porque son unos seres maravillosos, este logro también es de ustedes.

A mis familiares, gracias por las palabras de aliento y sus buenos deseos.

A mi padrastro Leonel Holguín Ortiz, por ser una excelente persona.

A mis amigos de colegio, de la universidad y de la vida.

A los profesores, por sus enseñanzas.

A los compañeros que hice en toda la Universidad.

**Sebastian A. M. Ariza**

## **DEDICATORIA**

Quiero agradecer a Dios por guiarme en este camino y brindarme las mejores posibilidades para salir adelante.

A mis padres Omar Francisco Cruz y Nancy Yanira ya que son el principal motivo de todo este proceso, por todo su esfuerzo, apoyo incondicional y por tanto amor que me han brindado.

A mi hermana Paula Andrea Cruz Palomar, por ser mi compañera de toda la vida y compartir cada momento, cada logro y brindarme su amor.

A mi novia Ana Gabriela Bustos Ramírez, por ser parte de este proceso, por darme tanta motivación, apoyo y amor para salir adelante.

A toda mi familia, amigos y compañeros por sus bendiciones y buenos consejos. También le doy gracias a la Universidad Industrial de Santander y docentes que hicieron parte de toda mi formación profesional.

**Francisco Javier Cruz Palomar**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a nuestros padres, familiares, amigos y compañeros.

A nuestro director de proyecto Oscar Quiroga Quiroga por confiar en nosotros.

A los ingenieros de la ESSA Jhon Lizcano y Edgar Ramírez por brindarnos su ayuda y colaboración con información importante para la realización de este proyecto.

Al profesor Gilberto Carrillo Caicedo por sus buenos comentarios, consejos e información que sirvieron para la elaboración del trabajo de grado.

A la Universidad Industrial de Santander, por ser un excelente campus de aprendizaje en donde vivimos experiencias únicas.

A los profesores de la E3T.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. GENERALIDADES DE LAS REDES CONVENCIONALES Y COMPACTAS ....	20
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 PROBLEMA.....	21
2.3 APLICACIONES DE LAS REDES COMPACTAS.....	22
2.4 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS REDES COMPACTAS.....	23
2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES .....	24
2.5.1 Sistema compacto .....	24
2.5.2 Sistema convencional. ....	34
2.6 DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y USOS PERMITIDOS.....	37
2.6.1 Redes compactas .....	37
2.6.2 Redes convencionales.....	38
2.6.3 Diferencias entre las distancias mínimas de seguridad. ....	39
2.7 ESTRUCTURAS USADAS .....	40
2.7.1 Sistema compacto. ....	41
2.7.2 Sistema convencional.....	47
3. COMPORTAMIENTO DEL CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO.....	51
3.1 CAMPO ELÉCTRICO .....	51
3.1.1 Red compacta.....	51
3.1.2 Red convencional. ....	55
3.2 CAMPO MAGNÉTICO .....	57
3.2.1 Red compacta.....	58

3.2.2 Red convencional. ....	59
3.3 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS .....	61
3.3.1 Cálculo de la reactancia inductiva.....	61
3.3.1.1 Cálculo de la reactancia inductiva en redes convencionales. ....	61
3.3.1.2 Cálculo de la reactancia inductiva en redes compactas.....	63
3.3.2 Comparativo de la reactancia inductiva en red compacta y convencional. ...	65
3.3.3 Cálculo de la reactancia capacitiva. ....	66
3.4 INFLUENCIA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO .....	66
4. COSTOS DE LAS REDES CONVENCIONALES Y COMPACTAS .....	68
4.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	68
4.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	69
4.3 ANÁLISIS DE COSTOS.....	70
5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REDES COMPACTAS RESPECTO A LAS CONVENCIONALES.....	71
5.1 VENTAJAS .....	71
5.1.1 Aspectos técnicos. ....	71
5.1.2 Costos de instalación y operativos.....	73
5.2 DESVENTAJAS .....	74
6. CONCLUSIONES .....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Montaje de fijación al poste .....	24
Figura 2. Aislador orgánico de perno rígido de 15 a 35 kV .....	25
Figura 3. Atadura de goma para aisladores .....	26
Figura 4. Espaciador poligonal de 35 kV .....	27
Figura 5. Espaciador poligonal de 15 kV .....	27
Figura 6. Espaciador poligonal con garras.....	28
Figura 7. Espaciador vertical de 15 kV .....	29
Figura 8. Espaciador monofásico de 15 kV .....	29
Figura 9. Atadura de goma para espaciadores .....	30
Figura 10. Brazo metálico tipo L .....	30
Figura 11. Brazo metálico tipo C.....	31
Figura 12. Brazo anti balanceo .....	31
Figura 13. Grapa de retención .....	32
Figura 14. Retención preformada .....	33
Figura 15. Cable conductor para las fases .....	33
Figura 16. Cable conductor de aluminio .....	34
Figura 17. Cable conductor de cobre.....	34
Figura 18. Aisladores de diferentes tipos.....	35
Figura 19. Cruceta metálica.....	35
Figura 20. Herrajes red convencional .....	36
Figura 21. Postes de concreto .....	36
Figura 22. Circuito trifásico 34,5 kV en suspensión disposición en bandera .....	41
Figura 23. Estructura en disposición circuito tangencial para (a) 34,5 y (b) 13,2 kV.....	42

Figura 24. Red compacta tipo C con ángulos y doble aislador (a) 34,5 y (b) 13,2 kV.....	43
Figura 25. Red compacta 13,2 kV final del circuito .....	44
Figura 26. Red compacta final del circuito triangular 13,2 y 34,5 kV .....	45
Figura 27. Estructura en ángulos, 3 circuitos tipo C 13,2 kV .....	46
Figura 28. Red compacta en construcción tangencial, 3 circuitos 13,2 kV .....	47
Figura 29. Estructura disposición triangular simétrica tipo R-130 hasta 13,2 kV ...	48
Figura 30. Estructura de paso disposición triangular simétrica tipo P-101 hasta 13,2 kV.....	49
Figura 31. Estructura disposición triangular simétrica terminal tipo R-114 hasta 13,2 kV.....	50
Figura 32. Representación gráfica de la disposición de los conductores cubiertos .....	52
Figura 33. Medición de E a 1 metro en red compacta .....	53
Figura 34. Medición de E a 4 metros en red compacta.....	54
Figura 35. Medición de E a 8 metros en red compacta.....	54
Figura 36. Representación gráfica de la disposición de los conductores desnudos .....	55
Figura 37. Medición de E a 1 metro en red convencional .....	56
Figura 38. Medición de E a 4 metros en red convencional .....	56
Figura 39. Medición de E a 8 metros en red convencional .....	57
Figura 40. Medición de H, B a 1 metro de en red compacta.....	58
Figura 41. Medición de H, B a 4 metros en red compacta .....	58
Figura 42. Medición de H, B a 8 metros en red compacta .....	59
Figura 43. Medición de H, B a 1 metro en red convencional .....	60
Figura 44. Medición de H, B a 4 metros en red convencional.....	60
Figura 45. Medición de H, B a 8 metros en red convencional.....	61
Figura 46. Configuración horizontal en red convencional .....	62
Figura 47. Reactancia inductiva versus diámetro del conductor desnudo .....	63
Figura 48. Dimensiones del espaciador.....	64

Figura 49. Reactancia inductiva versus diámetro del conductor cubierto .....65

Figura 50. Comparativo de la reactancia inductiva versus el diámetro del conductor en redes compactas y convencionales .....66

Figura 51. Costos de instalación versus confiabilidad .....70

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Separación de los espaciadores desde el apoyo .....	38
Tabla 2. Distancias mínimas entre estribos .....	38
Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad para las redes compactas y las convencionales .....	39
Tabla 4. Datos del conductor e instalación para la red compacta .....	52
Tabla 5. Datos del conductor e instalación para la red convencional .....	55
Tabla 6. Reactancias inductivas a diferentes diámetros de cable desnudo .....	62
Tabla 7. Dimensiones del espaciador .....	64
Tabla 8. Reactancias inductivas a diferentes diámetros de cable cubierto .....	65
Tabla 9. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos. ....	67
Tabla 10. Valores máximos de las mediciones de intensidades de campos .....	67
Tabla 11. Unidades constructivas de la red convencional a 13,2 kV .....	68
Tabla 12. Unidades constructivas de la red compacta a 13,2 kV .....	69
Tabla 13. Costos de mantenimientos preventivos para las redes .....	70
Tabla 14. Diferencias según los criterios técnicos para ambas redes .....	71
Tabla 15. Costos asociados a ambas redes .....	74
Tabla 16. Desventajas de cada red de distribución .....	74

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REDES COMPACTAS FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL\*.

**AUTORES:** SEBASTIAN AMIR MACHACADO ARIZA  
FRANCISCO JAVIER CRUZ PALOMAR\*\*

**PALABRAS CLAVES:** zona de servidumbre, distribución, mantenimiento, operación, seguridad, conductor, espaciadores.

### DESCRIPCIÓN:

Debido a la reducción de los espacios destinados para las redes aéreas de distribución en las urbes, las que se construyen de manera convencional necesitan de grandes zonas de servidumbres, por lo cual nace la necesidad de la construcción compacta que se convierte en una solución a este problema. En una red compacta se reducen sus dimensiones y las distancias entre fases mediante espaciadores con el propósito de disminuir el requerimiento del espacio físico. Este sistema se empezó a implementar en Colombia desde hace unos 10 años ya que es una buena alternativa al modelo convencional y mejorará la calidad del servicio y el entorno, aunque su inversión inicial sea mayor a la instalación de una red tradicional. En este trabajo de grado se llevará a cabo un comparativo entre las redes de distribución compactas y las convencionales con su respectivo análisis que conlleve a la determinación de las características de utilización de estos tipos de sistemas usados para el transporte de energía eléctrica. Dicho esto, se requiere un estudio profundo con la finalidad de verificar cuál de estos modelos garantiza un óptimo desempeño y eficiencia en el mercado eléctrico generando mayores beneficios para la población y para el sistema. Así pues, realizaremos un análisis de cada componente técnica y financieramente y los modos de usos de estas instalaciones aéreas.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga PhD. en Tecnología

## ABSTRACT

**TITLE:** COMPARATIVE ANALYSIS ON THE COMPACT GRID FRONT TO THE CONVENTIONAL SYSTEM\*

**AUTHORS:** SEBASTIAN AMIR MACHACADO ARIZA  
FRANCISCO JAVIER CRUZ PALOMAR\*\*

**KEY WORDS:** servitude's areas, distribution, maintenance, operation, security, conductive, spacers.

### DESCRIPTION:

Due to the space's reduction destined to the distribution's aerial grids on the towns, then the aerial grids have been builded a long time ago for a conventional way, need a lot of size on its servitude's areas therefore arise the need of compact construction, what it would be the solution to this problem. On a compact grid there's a spaces and dimensions reduction and the distances between phases through spacers with the purpose of decreasing the requirement of physical space. This system started to use in Colombia approximately 10 years ago, because it's a excellent alternative to the conventional modeling and it will improve the service quality and environment, though its initial investment is major to the traditional installation. This degree work will compare the two grids, conventional and modern and with theirs respective analysis to determine the usage characteristics about these systems types used to carry the electric power. Having said that, it requires a deep study with the purpose checking out which models guarantees a optimal performance and efficiency on the electric trading, generating a lot of profits to the population and off course to the system. By last we will perform a analysis about every technical component and economically and the modes of use on these electrical installations.

---

\* Bachelor thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga PhD. en Tecnología

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de energía eléctrica están experimentando muchos cambios hoy en día, lo cual plantea nuevos y mayores retos a nivel de ingeniería. En cuanto a los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, las restricciones para la construcción de nuevas líneas son cada vez mayores y eso ocurre tanto en Colombia como a nivel mundial. Sin embargo, la demanda de energía eléctrica no se detiene y va en aumento. Los índices de confiabilidad exigidos son cada vez mayores, por lo que se busca obtener mejores niveles de calidad del servicio y los aspectos ambientales y sociales asociados a la distribución de la energía eléctrica son cada vez más complejos. Por lo anterior, se encuentra que cada vez es más difícil constituir zonas de servidumbre para las líneas eléctricas<sup>1</sup> y disponer de los espacios que garanticen las distancias mínimas de seguridad a las redes eléctricas, principalmente en las ciudades.

Una solución que permite reducir los espacios requeridos para el paso de una línea eléctrica aérea consiste en disminuir la separación entre los conductores de fase, pero manteniendo la instalación aérea. A esta solución se le conoce como línea o red compacta. Dado que este sistema es de reciente aplicación en Colombia y el RETIE lo contempla como alternativa a los sistemas de distribución convencionales en zonas urbanas principalmente, en este trabajo de grado se pretende profundizar en las características y ventajas de este tipo de instalación frente al sistema convencional. Se analizan aspectos técnicos de diseño, construcción, mantenimiento y seguridad, así como el costo de este tipo de infraestructura en comparación con la red convencional.

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea] disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

El documento se organiza en seis capítulos. En el primero se describen los objetivos del trabajo de grado, en el segundo se dan las generalidades de las redes convencionales y compactas en cuanto a componentes, tipos de estructuras y usos recomendados. En el tercer capítulo se hace una revisión comparativa del comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos, y también de los parámetros eléctricos, para los dos sistemas. En el cuarto capítulo se comparan los costos y en el quinto capítulo se resumen las ventajas y desventajas para los dos tipos de redes. El documento se finaliza con las principales conclusiones del trabajo de grado y las referencias que se usaron para la realización del trabajo.

## **1. OBJETIVOS**

Los objetivos generales y específicos planteados para la realización de este Trabajo de Grado son:

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis comparativo de las redes compactas respecto a las convencionales, destacando sus características técnicas y financieras.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Detallar los elementos constructivos de las redes compactas y del sistema convencional.
- Documentar el comportamiento del campo eléctrico y magnético en estos sistemas de distribución y los cálculos de los parámetros eléctricos.
- Documentar las ventajas y desventajas que se tienen en la implementación de las redes compactas sobre los sistemas convencionales, teniendo en cuenta los costos y los aspectos técnicos.

## **2. GENERALIDADES DE LAS REDES CONVENCIONALES Y COMPACTAS**

Las instalaciones convencionales de media tensión para las redes de distribución se componen de conductores desnudos que se apoyan en aisladores de vidrio o porcelana y estos van sujetos a crucetas metálicas o de madera. En zonas en donde hay gran presencia de vegetación, de personas o en donde se requiera de un servicio que no presente fallas o que haya poca interrupción del suministro de energía, esta red presenta problemas de confiabilidad, por lo cual está siendo sustituida por las redes compactas.

### **2.1 ANTECEDENTES**

El mejoramiento de la calidad y la confiabilidad del servicio de energía eléctrica han hecho que las empresas transmisoras y distribuidoras de energía investiguen diferentes tipos de tecnologías usadas para el transporte de la electricidad, que sirvan como solución a dicho propósito. Una de estas tecnologías son las líneas aéreas compactas, también conocidas como cables aéreos con espaciadores y aislados.

En los años 60 se empezó a tomar en consideración la apariencia de las instalaciones destinadas para prestar los servicios eléctricos, empezando por investigar cómo hacer que las líneas sean menos intrusivas para la vista, así que una solución fue la compactación de los sistemas de distribución.

Este sistema se empezó a implementar en los Estados Unidos y se refiere a las líneas aéreas cuya característica principal es reducir la distancia entre fases, contrastada con las tradicionales. Las compañías locales de electricidad empezaron

a interesarse por lo estético con el fin de que hubiera mayor aceptación por parte de la comunidad urbana. Sin embargo, también fue de suma importancia para aquel entonces que las líneas tuviesen los conductores más cercanos entre sí y que estas líneas pudieran ajustarse en caminos de paso más pequeños.

## 2.2 PROBLEMA

Con el paso de los años se está evidenciando un crecimiento poblacional elevado y esto conlleva a que en las ciudades se masifique el número de viviendas y edificaciones, por consiguiente, se presenta una disminución en las zonas destinadas al uso de líneas y redes de distribución aéreas. Estas líneas de cable desnudo son las que por años se han usado en gran proporción para la distribución de la energía, pero esta configuración a pesar de ser económica resulta desfavorable en algunas ocasiones, como por ejemplo cuando las fases se tocan, cuando por contacto de los cables con ramas o aves se presentan interrupciones del servicio o cuando no soportan las condiciones de intemperie o por vandalismo.

Las líneas usadas en redes de distribución de energía eléctrica se construyen de manera convencional de forma aérea para aprovechar el aislamiento del aire, lo cual implica menores costos en materiales, pero requieren mayores distancias de seguridad, lo cual genera un aumento de los impactos ambientales y sociales. Como alternativa a las convencionales, se propuso la construcción compacta, que busca reducir las distancias de aislamiento entre fases, pero conservando la instalación aérea. *“Una línea compacta es una línea eléctrica donde sus dimensiones, altura y ancho de estructura y ancho de servidumbres son reducidas, respecto de las líneas convencionales, gracias a un diseño y construcción optimizada”<sup>2</sup>.*

---

<sup>2</sup> Ibíd.

La implementación de las redes aéreas compactas se ofrece como una solución tecnológica que permite mejorar la calidad del servicio, la confiabilidad del sistema, se disminuyen las pérdidas y también se mejora el impacto ambiental que ocasionan las convencionales. Este tipo de instalación se está haciendo en su gran mayoría en corredores urbanos, dado al crecimiento de las ciudades, por lo cual se reduce el espacio para las redes de distribución convencionales y, por ende, surge la necesidad de aplicar los modelos compactos.

### **2.3 APLICACIONES DE LAS REDES COMPACTAS**

El sistema compacto se está implementando como una alternativa para sustituir a las redes aéreas convencionales con el fin de atender las necesidades del transporte de energía y la demanda de los usuarios de la mejor manera. Así, este sistema se aplica a redes de distribución nuevas o modificaciones de las ya existentes en áreas urbanas o rurales, en donde se presentan constantes interrupciones del servicio a causa de contactos por aves o ramas de árboles, y en donde se requieren altos niveles de confiabilidad y seguridad, entre otras. Por lo tanto, las redes compactas son aplicables para los siguientes criterios:

- En zonas urbanas en donde se requiera instalar nuevas o reemplazar a las ya existentes.
- En las salidas de subestaciones, puesto que se encuentra mucha densidad de los circuitos y se busca instalar varios de estos en el mismo poste.
- Zonas que exigen mayor grado de confiabilidad, como los hospitales, centros automatizados y de procesamientos de datos, canales de telecomunicaciones, entre otros, ya que se consideran como cargas críticas.
- En zonas de difícil acceso o donde hay presencia de edificaciones y resulta difícil la instalación de las redes convencionales.
- En lugares donde hay mucha presencia de árboles o zonas preservadas por la ley.

- Zonas con gran incursión de aves y sitios donde se frecuentan actos vandálicos.

Los circuitos primarios de las redes compactas se protegen de igual forma que las del tipo convencional en cuanto a fallas de cortocircuito. Los conductores se dimensionan respecto a la corriente y caída de tensión máxima admisible, se usan conductores de sección transversal de 35 a 185 mm<sup>2</sup>.

La protección de sobretensiones se hace por medio de descargadores de óxido de zinc y se disponen a lo largo del tendido de la línea, en su inicio, en puntos intermedios, en el final, en estructuras de transición, en estructuras con transformadores de distribución, entre otras. Deben ser instalados y dimensionados adecuadamente para proteger al máximo la red<sup>3</sup>.

## **2.4 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS REDES COMPACTAS**

Las redes compactas aplican el mismo mecanismo para la seguridad que las del tipo tradicional, por lo que deben ser consideradas las normas de precaución para trabajos de construcción, mantenimiento y operación en línea viva, así pues, sus accesorios y los conductores no deben ser tocados hasta no asegurarse de que haya ausencia de tensión y estén debidamente aterrizados.

Como medida de garantía en la confiabilidad de la red y para facilitar la construcción o mantenimiento de la instalación, donde se tengan largos tramos de línea es recomendable instalar estructuras de retención cada medio kilómetro aproximadamente. Es necesario la utilización de protectores de estribos, de cable de guarda y de descargadores en lugares donde haya frecuentemente

---

<sup>3</sup> COMPAÑÍA ENERGÉTICA DEL TOLIMA S.A. ESP ENERTOLIMA. Criterios de diseño y normas para construcción de instalaciones de distribución y uso final de la energía [en línea] disponible en: [http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/norma\\_tecnica\\_2018/CAPITULO4/IMPLEMENTACION\\_DE\\_NUEVAS%20TECNOLOGIAS.pdf](http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/norma_tecnica_2018/CAPITULO4/IMPLEMENTACION_DE_NUEVAS%20TECNOLOGIAS.pdf)

interrupciones del servicio al entrar en contacto los conductores con animales, árboles, etc.<sup>4</sup>

Algunos componentes de las redes compactas son fabricados en polietileno con muy buenas características mecánicas y son resistentes a la intemperie, a los rayos ultravioletas y al fenómeno tracking que consiste en el desgaste de las capas semi aislantes de los conductores originado por descargas superficiales. También se utilizan elementos metálicos. Este tipo de instalación puede realizarse en lugares con gran presencia de arbustos, en estructuras que tengan más de un circuito por estructura, lugares con espacio reducido, salidas de subestaciones, alimentadores troncales, entre otras.

## 2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

### 2.5.1 Sistema compacto

**Figura 1. Montaje de fijación al poste**



Fuente PLP BRASIL Brazo Antibalanceo – BAB [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/es/distribucion/linea-compacta/brazo-antibalanceo-bab/>

---

<sup>4</sup> CODENSA S.A. Norma LA 450 Generalidades red compacta [en línea] disponible en: [http://ikinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/red\\_compacta/la450\\_generalidades\\_red\\_compacta](http://ikinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/red_compacta/la450_generalidades_red_compacta)

La instalación de las redes compactas se plantea como una alternativa de elevada seguridad en la operación y confiabilidad del suministro energético para los sistemas de distribución y se compone de un grupo de conductores aislados por una capa gruesa, un cable portante o conductor de neutro que sostiene a los conductores de fase por medio de unos espaciadores.

A continuación, se mostrarán los elementos que componen dicha instalación:

## **AISLADORES**

Estos elementos están compuestos por polietileno de alta densidad con muy buena resistencia al impacto, a las condiciones de intemperie y al efecto tracking, tienen como función sostener mecánicamente conductores, manteniéndolos aislados de la tierra y de otros conductores, soportando la carga mecánica que estos conductores ejercen sobre la torre.

**Aisladores orgánicos de perno rígido:** usualmente utilizados en regiones de alta polución o concentración salina. Se utilizan para cables desnudos y protegidos con un diámetro hasta los 32 mm y son de escasa radio interferencia. Se usan en niveles de tensión de 15 a 35 kV. En la Figura 2 se muestra dicho componente.

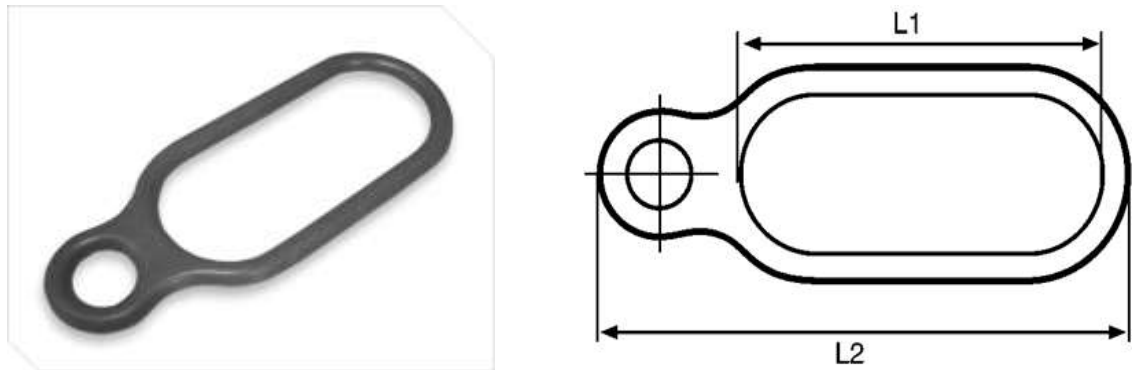
**Figura 2. Aislador orgánico de perno rígido de 15 a 35 kV**



Fuente PLP BRASIL Aislador Polimérico - 15 kV [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/ip-15kv.pdf>

**Atadura de goma para los aisladores (anillo de amarre):** está hecho de goma de silicona, con excelentes características mecánicas como se muestra en la Figura 3. Resistente a los efectos de tracking e intemperie, tamaño único para cables de 12 a 32 mm y se aplica en la parte superior o lateral del aislador.

**Figura 3. Atadura de goma para aisladores**



Fuente PLP BRASIL Anillo de Amarre [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/an.pdf>

Donde L1 son 110 mm y L2 160 mm para el aislador de 15 kV. L1 son 182 mm y L2 son 245 mm para el aislador de 35 kV.

## **ESPACIADORES**

Accesorio compuesto por polietileno de alta densidad HDPE o PEAD tipo III, clase B o C, resistente al tracking y con muy buenas características mecánicas. Tiene como función principal sostener y separar los cables conductores que van a lo largo del vano y mantener el nivel de aislamiento de éste, se pueden encontrar diferentes tipos de acuerdo con la necesidad:

**Espaciador poligonal (tipo rombo):** utilizados en redes trifásicas de media tensión que van sujetos por un cable de guarda, esencialmente utilizados en zonas urbanas y donde se encuentra gran presencia de arbustos. Tienen una gran

resistencia a la intemperie y a efectos del campo eléctrico generado. Sus compartimientos, también llamados cunas, tienen capacidad de alojar cables protegidos de diámetro entre 9 a 32 mm. Son aplicados para líneas que tengan más de un circuito por poste.

### **Espaciador poligonal - 35 kV:**

**Figura 4. Espaciador poligonal de 35 kV**



Fuente PLP BRASIL Espaciador Poligonal - 35 kV Retención Doble Preformada de Distribución [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/ec-35kv.pdf>

### **Espaciador poligonal - 15 kV:**

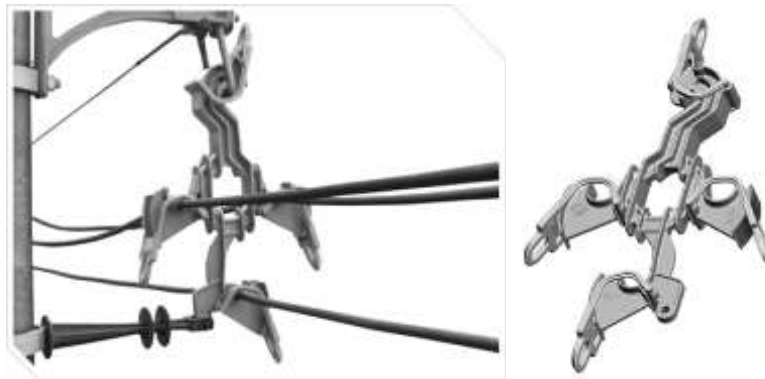
**Figura 5. Espaciador poligonal de 15 kV**



Fuente PLP BRASIL Espaciador Poligonal - 15 kV Retención Doble Preformada de Distribución [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/ec-15kv.pdf>

**Espaciador poligonal con garras:** es utilizado en redes de distribución de hasta 15 kV. Es fabricado en polietileno de alta densidad para soportar los esfuerzos mecánicos y eléctricos, tiene un mecanismo especial que asegura el cable a través de una garra que mantiene la presión de apriete, para cables protegidos con un diámetro de 11 mm hasta 48 mm, a través de un sistema mecánico. Ver Figura 6.

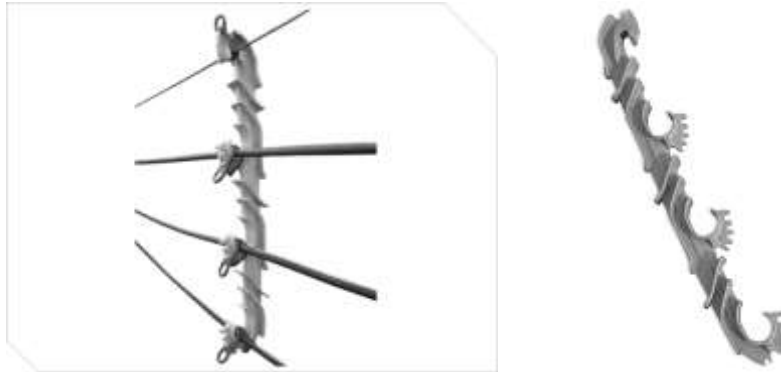
**Figura 6. Espaciador poligonal con garras**



Fuente PLP BRASIL Espaciador poligonal con garras – 15 kV – ECR [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/es/distribucion/linea-compacta/espaciador-poligonal-con-garras-15-kv-ecr/>

**Espaciador vertical - 15 kV:** va sujeto del cable de guarda y se usa para sostener y separar los cables manteniendo la aislación eléctrica de la línea, tal como se muestra en la Figura 7. Posee grandes ventajas mecánicas y buena resistencia contra rayos ultravioleta y efectos eléctricos exigidos en este tipo de líneas.

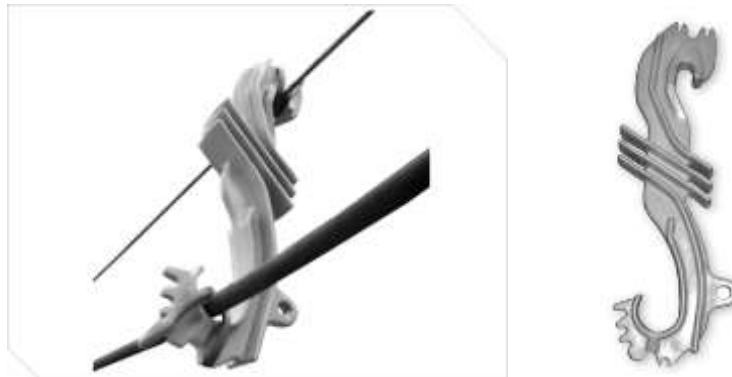
**Figura 7. Espaciador vertical de 15 kV**



Fuente PLP BRASIL Línea compacta [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/es/distribucion/linea-compacta/>

**Espaciador monofásico:** utilizado en redes compactas rurales de hasta 15 kV. Cuelga de un cable de guarda y sostiene el cable de fase a lo largo del vano como se observa en la Figura 8.

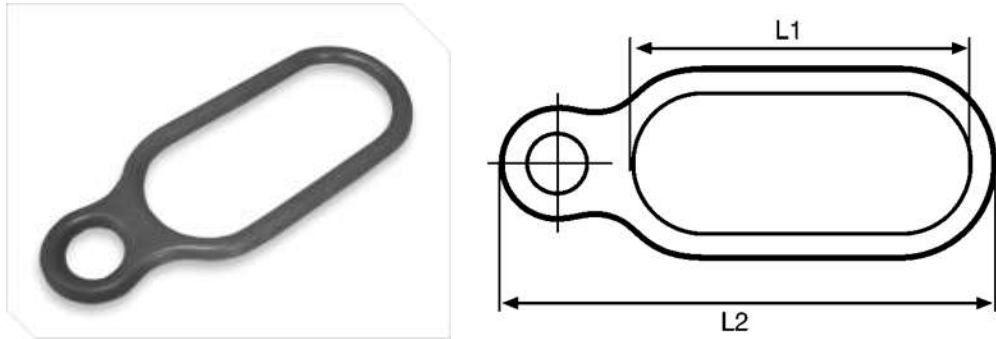
**Figura 8. Espaciador monofásico de 15 kV**



Fuente PLP BRASIL Espaciador Monofásico - 15 kV [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/em.pdf>

**Atadura de goma para los espaciadores:** está hecho de un material de goma silicona, de fácil y rápida instalación, resistente a los efectos de tracking e intemperie, tamaño único para cables de 9 a 32 mm. Su aplicación se debe a la sujeción de los cables conductores de fase y del cable de guarda. Ver Figura 9.

**Figura 9. Atadura de goma para espaciadores**



Fuente PLP BRASIL Anillo de Amarre [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/an.pdf>

Donde L1 y L2 son 90 y 140 mm respectivamente para espaciadores de 15 y 35 kV.

### **BRAZO METÁLICO TIPO L**

Se emplea en instalaciones con tensiones de 15 hasta 25 kV, compuesto de acero galvanizado con alta resistencia a la corrosión, va sujeto al poste y tiene como función principal soportar al cable de acero portante y a los espaciadores cuando se emplea en estructuras con el brazo anti balanceo. Ver Figura 10.

**Figura 10. Brazo metálico tipo L**



Fuente PLP BRASIL Energía | Distribución Catálogo de Productos [en línea] disponible en: <https://www.relsamex.com/wp-content/uploads/2016/02/16-CATALOGO-PLP.pdf>

## **BRAZO METÁLICO TIPO C**

Se instala en los postes donde se requieran puntos de derivación de línea, puntos de conexión de equipos y en el final de línea. Se emplean para fijar los aisladores que soportan a los conductores. En la Figura 11 se aprecia dicho componente.

**Figura 11. Brazo metálico tipo C**



Fuente PLP BRASIL Energía | Distribución Catálogo de Productos [en línea] disponible en: <https://www.relsamex.com/wp-content/uploads/2016/02/16-CATALOGO-PLP.pdf>

## **BRAZO ANTIBALANCEO**

Accesorio de material polimérico, su función principal es fijar el espaciador poligonal para evitar la aproximación de los cables con la estructura y también para evitar las vibraciones mecánicas de las líneas. Es de gran resistencia mecánica y una longitud de 320 y 580 mm para 15 y 35 kV respectivamente. Ver Figura 12.

**Figura 12. Brazo anti balanceo**

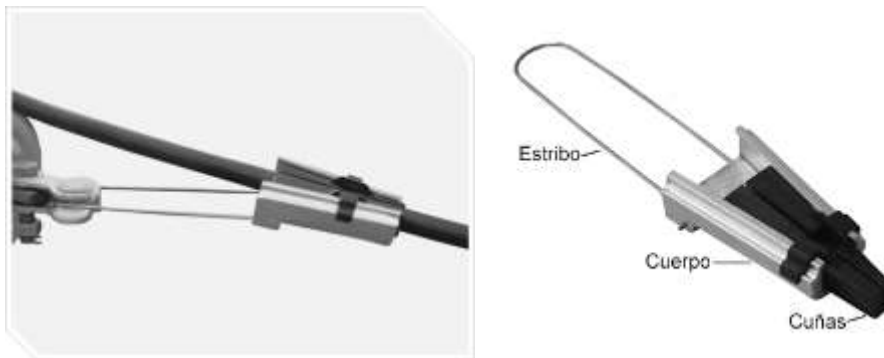


Fuente PLP BRASIL Brazo Antibalanceo [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/bab.pdf>

## GRAPA DE RETENCIÓN

Accesorio en forma de cuña empleado directamente sobre la protección del cable conductor como se muestra en la Figura 13. Se encarga de anclar los cables de fase en las estructuras de fin de línea, donde haya necesidad de anclaje debido a los grandes vanos o también, donde se presenten grandes ángulos de deflexión.

**Figura 13. Grapa de retención**



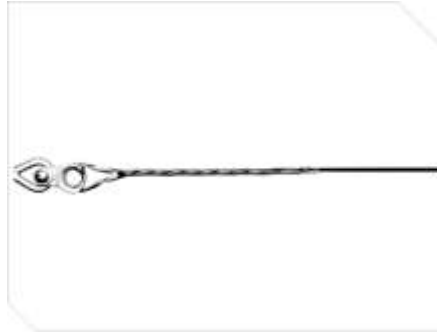
Fuente PLP BRASIL Grapa de Retención Dieléctrica [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/bab.pdf>

El cuerpo de la grapa está fabricado con una aleación de aluminio, el estribo con acero inoxidable o recubierto con poliamida y las cuñas están hechas con poliamida resistente al efecto tracking eléctrico y a las condiciones de intemperie.

## RETENCIÓN PREFORMADA

Fabricada con hilos de acero galvanizado o recubiertos en aluminio, tal como se muestra en la Figura 14. Sirve como anclaje de los conductores de fase en estructuras de fin de línea o en donde se presenten seccionamientos de fases.

**Figura 14. Retención preformada**

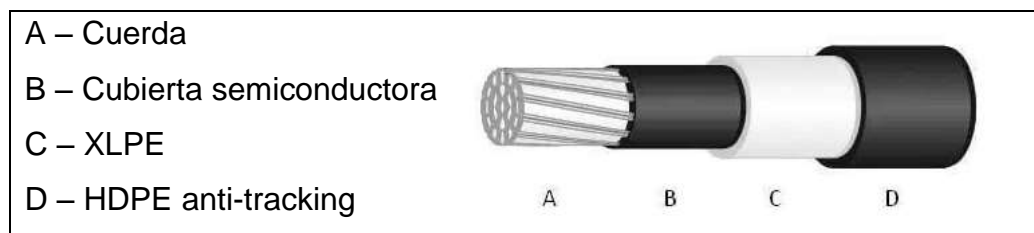


Fuente PLP BRASIL Retención Preformada para Cable de Acero [en línea] disponible en: <http://plp.com.br/wp-content/uploads/2018/05/de-1.pdf>

## **CABLE CONDUCTOR DE FASE**

Para redes compactas se utilizan conductores protegidos ya que tienen buenas características y óptimo nivel de seguridad en redes aéreas de distribución primaria, en zonas arborizadas y donde se presentan constantes peligros ambientales. Están compuestos por aluminio-acero (ACSR) o aleación de aluminio (AAAC), con una pantalla semiconductora sobre el conductor impidiendo que se filtre agua dentro del mismo, evitando su destrucción. También tiene una cubierta de polietileno reticulado (XLPE) termoestable con tratamiento anti-tracking y anti rayos UV y una cubierta externa de polietileno de alta densidad (HDPE) que garantizan una temperatura de servicio continuo de la cuerda de 90 grados. En la Figura 15 se aprecia el conductor.

**Figura 15. Cable conductor para las fases**



Fuente PLP BRASIL Línea compacta protegida [en línea] disponible en: <http://www.plp.com.br/es/distribucion-catalogo/itemlist/category/27-!%C3%ADnea-compacta-prottegida>

## CABLE GUARDA O DE NEUTRO

El cable de guarda es de acero galvanizado y actúa como soporte mecánico del conjunto de las tres fases aisladas dispuestas sobre el espaciador, debe resistir a las condiciones de intemperie y contar con la capacidad de soportar las corrientes de corto circuito que se presenten.

**2.5.2 Sistema convencional.** La instalación de este tipo se compone de cables conductores desnudos soportados por aisladores que van fijados en crucetas sobre postes de concreto.

**CONDUCTORES:** por lo general se emplean cables desnudos de aluminio o ACSR, en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG tanto en circuitos primarios como en secundarios compuestos por tres o cuatro hilos con el neutro aterrizado. En la Figura 16 se muestra el cable conductor de aluminio y en la Figura 17 el conductor de cobre.

**Figura 16. Cable conductor de aluminio**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Cable de aluminio desnudo ACSR – Cables eléctricos [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/cable-de-aluminio-desnudo-acsr-colombia/>

**Figura 17. Cable conductor de cobre**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Alambre de cobre desnudo Cu – Distribuidor de cables eléctricos [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/alambre-de-cobre-desnudo-cu-colombia/>

**AISLADORES:** estos actúan como soporte mecánico de los conductores y además se encargan de suministrar el aislamiento eléctrico entre la estructura y los conductores. Estos aisladores son de vidrio o porcelana, en media tensión se emplean los de tipo pin y en baja los de tipo carrete. En la Figura 18 se muestran algunos tipos de aisladores de porcelana.

**Figura 18. Aisladores de diferentes tipos**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Aisladores eléctricos – Distribuidor de materiales eléctricos [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/aisladores-electricos-en-colombia/>

**CRUCETAS:** se usan crucetas metálicas de hierro galvanizado como se muestra en la Figura 19, con dimensiones de hasta dos metros para niveles de tensión de 13,2 y 11,4 kV.

**Figura 19. Cruceta metálica**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Herrajes eléctricos galvanizados – Distribuidor de materiales - Colombia [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/herrajes-electricos-galvanizados-en-colombia/>

**HERRAJES:** las grapas, tornillos, varillas de anclajes, grilletes y demás herrajes empleados en las redes de media tensión son de acero galvanizado. Algunos de estos herrajes se muestran en la Figura 20.

**Figura 20. Herrajes red convencional**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Herrajes eléctricos galvanizados - Distribuidor de materiales - Colombia [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/herrajes-electricos-galvanizados-en-colombia/>

**POSTES:** usualmente son de concreto, de acuerdo con la configuración de la instalación se determinan las características de peso, longitud y resistencia a la ruptura. En las instalaciones se utilizan postes de 10, 12 y 14 metros de longitud y resistencias de ruptura de 510, 750 y 1050 kg respectivamente. Ver Figura 21

**Figura 21. Postes de concreto**



Fuente: SUMINISTRO DE MATERIALES ELÉCTRICOS. Postes de concreto - Distribuidor de materiales eléctricos - Colombia [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/aisladores-electricos-en-colombia/>

## 2.6 DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y USOS PERMITIDOS

**2.6.1 Redes compactas** La utilización de las redes compactas está enfocada en áreas urbanas con zonas de alta presencia de arbustos y de poco espacio, donde instalar las de tipo convencional resulta difícil. Sin embargo, las redes compactas no deben ser usadas en regiones con alta salinidad en el aire o en zonas con alto nivel de polución, puesto que al entrar en contacto ciertas partículas con el cable conductor pueden originarse descargas parciales que se conocen como el fenómeno tracking.

Del artículo 13, capítulo 2 del ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES, en la nota 10 se tienen las especificaciones para las distancias de seguridad de la red compacta: ...

Donde el espacio disponible no permita cumplir las distancias horizontales de la Tabla 3 para redes de media tensión, tales como edificaciones con fachadas o terrazas cercanas, la separación se puede reducir hasta en un 30%, siempre y cuando, los conductores, empalmes y herrajes tengan una cubierta que proporcione suficiente rigidez dieléctrica para limitar la probabilidad de falla a tierra, tal como la de los cables cubiertos con tres capas para red compacta. Adicionalmente, deben tener espaciadores y una señalización que indique que es cable no aislado. En zonas arborizadas urbanas se recomienda usar esta tecnología para disminuir las podas<sup>5</sup>.

Las redes compactas al igual que las convencionales deben cumplir con unas distancias de seguridad para garantizar la integridad y vida humana, protección del medio ambiente y asegurar una mejor confiabilidad al no generar fallas en las redes por contactos de animales u objetos extraños con los conductores de fase. Así, las redes de cable cubierto al tener una configuración diferente a las convencionales cuentan con unas distancias adicionales que se deben cumplir cuando se instalen

---

<sup>5</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Op. Cit.

los espaciadores. La disposición de los espaciadores a lo largo del vano debe cumplir con las siguientes separaciones mostradas en la Tabla 1 y la Tabla 2:

- Distanciamiento del primer espaciador desde la estructura:

**Tabla 1. Separación de los espaciadores desde el apoyo**

Tipo de estructura	Distancia [m]
Estructura tangencial	1
Estructura tangencial con brazo anti balanceo	7 a 10
Otras estructuras	12

Fuente: CODENSA S. A. Norma LA 450 Generalidades red compacta [en línea] disponible en: [http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/red\\_compacta/la450\\_generalidades\\_red\\_compacta](http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/red_compacta/la450_generalidades_red_compacta))

- Distancias mínimas entre estribos:

**Tabla 2. Distancias mínimas entre estribos**

Descripción	Distancia [m]
Del estribo al apoyo	0,6
Entre estribos consecutivos	0,4

Fuente: CODENSA S. A. Norma LA 450 Generalidades red compacta [en línea] disponible en: [http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/red\\_compacta/la450\\_generalidades\\_red\\_compacta](http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/red_compacta/la450_generalidades_red_compacta))

- Distancia entre espaciadores en un tramo de línea:

Normalmente deben estar separados a unos 7 o 12 metros, siendo esta última la máxima distancia a la cual pueden estar entre sí.

**2.6.2 Redes convencionales.** A diferencia de las redes con cable ecológico o cubierto, en las redes de cable desnudo no se emplean espaciadores. Las distancias mínimas de seguridad asociadas a esta red se muestran en la Tabla 3.

**2.6.3 Diferencias entre las distancias mínimas de seguridad.** Las distancias de seguridad para las redes aéreas tanto compactas como convencionales están consignadas en la Tabla 3:

**Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad para las redes compactas y las convencionales**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>RED COMPACTA</b>	<b>RED CONVENCIONAL</b>
	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia [m]</b>
Distancias mínimas de seguridad de conductores al suelo a niveles de tensión de 13,2 y 34,5 kV en cruces con:	Zona peatonal: <b>5,5</b> Calles y avenidas: <b>6</b> Áreas de tráfico vehicular: <b>6</b> Área rural: <b>6</b> Carreteras: <b>7</b> Ferrovías: <b>9</b>	Zona peatonal: <b>5,6</b> Calles y avenidas: <b>5,6</b> Áreas de tráfico vehicular: <b>5,6</b> Área rural: <b>6</b> Carreteras: <b>5,6</b> Ferrovías: <b>8,1</b>
Distancia mínima para 11,4 kV a:	Circuitos de B.T.: <b>0,8</b> Cond de comunicación: <b>1,5</b>	Circuitos de B.T.: <b>1,2</b> Cond de comunicación: <b>1,8</b>
Distancia mínima para 34,5 kV a:	Circuitos de B.T.: <b>1</b> Cond de comunicación: <b>2</b>	Circuitos de B.T.: <b>1,2</b> Cond de comunicación: <b>1,8</b>
Distancias verticales para considerar en zonas urbanas:	Por encima o por debajo de balcones en MT: <b>4,1</b> Techos de fácil acceso a personas: <b>4,1</b> Áreas con vehículos de altura $\leq$ a 2,45 m: <b>4,1</b> Vehículos de tráfico pesado de altura $>$ 2,45 m: <b>5,6</b>	Por encima o por debajo de balcones en MT: <b>4,1</b> Techos de fácil acceso a personas: <b>4,1</b> Áreas con vehículos de altura $\leq$ a 2,45 m: <b>4,1</b> Vehículos de tráfico pesado altura $>$ 2,45 m: <b>5,6</b>
Distancia horizontal entre conductores y paredes de edificaciones. A muros, proyecciones y ventanas, avisos, antenas de radio, TV y chimeneas:	66 / 57,5 kV: <b>2,5</b>  44 / 34,5 / 33 kV: <b>2,3</b>  13,8 / 13,2 / 11,4 / 7,6 kV: <b>2,3</b>  <1: <b>1,7</b>	66 / 57,5 kV: <b>2,5</b>  44 / 34,5 / 33 kV: <b>2,3</b>  13,8/13,2/11,4/7,6 kV: <b>2,3</b>  <1: <b>1,7</b>

	<b>RED COMPACTA</b>	<b>RED CONVENCIONAL</b>
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia [m]</b>
Distancia mínima vertical entre conductores del mismo circuito en la misma estructura:	Tensiones < 15 kV: <b>0,18</b>  15 ≤ V ≤ 34,5 kV: <b>0,27</b>	Tensiones entre 7,6-66 kV: 1 ≤ V ≤ 7,6 kV: <b>0,4 más 0,01m por kV sobre 7,6 kV</b> 11,4 ≤ V ≤ 34,5 kV: <b>0,6 más 0,01m por kV sobre 7,6 kV</b>
Distancia horizontal entre conductores del mismo circuito soportados en la misma estructura:	15 kV: <b>0,18</b>  34,5 kV: <b>0,27</b>	0 ≤ V ≤ 8,7 kV: <b>0,3</b>  8,7 ≤ V ≤ 50 kV: <b>0,3 más 0,01 m por kV sobre 8,7 kV</b>
Distancia horizontal entre conductores de diferente circuito soportados en la misma estructura:	15 kV: ---  34,5 kV: ---	0 ≤ V ≤ 8,7 kV: <b>0,3</b>  8,7 ≤ V ≤ 50 kV: <b>0,3 más 0,01 m por kV sobre 8,7 kV</b>
Alturas que se consideran para el montaje de las redes aéreas:	11,4 kV: <b>9,4</b>  34,5 kV: <b>11</b>	11,4 kV: <b>10,2</b>  34,5 kV: <b>12,28</b>

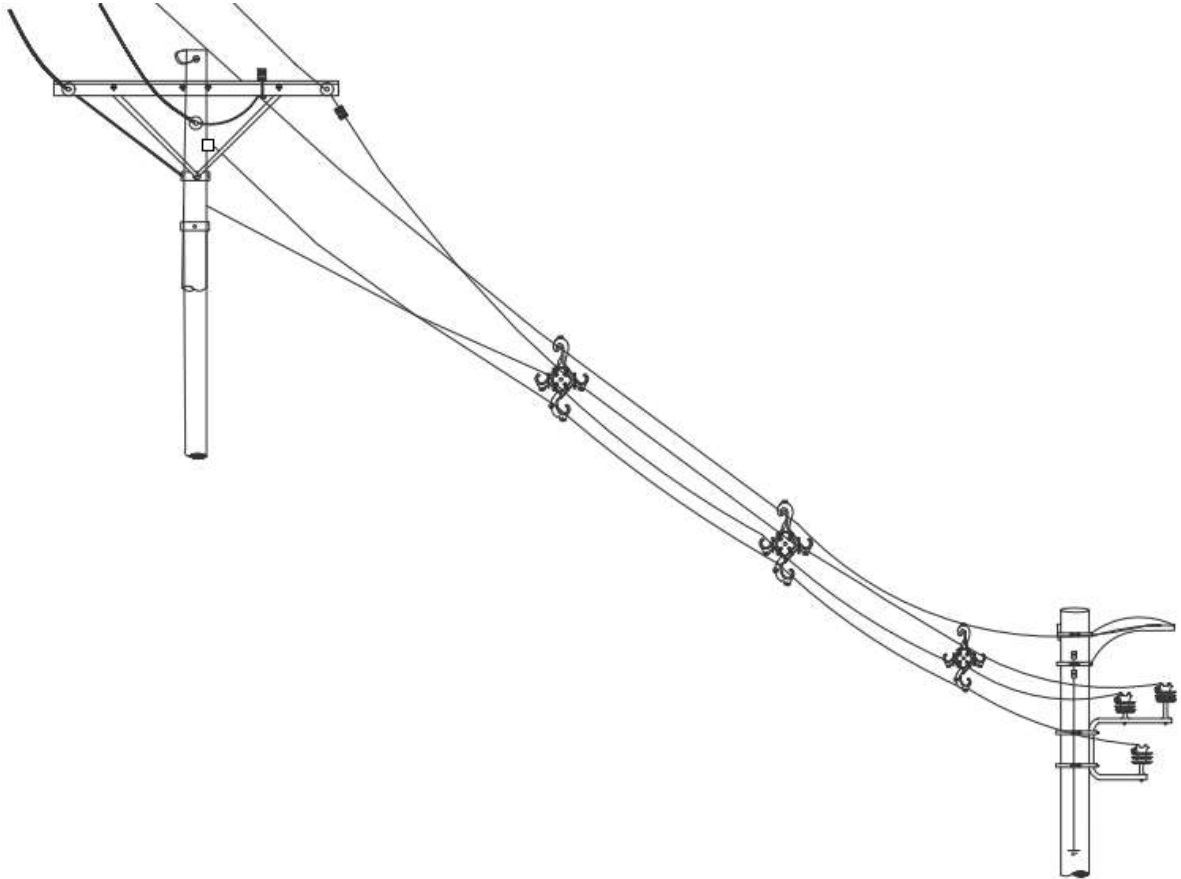
## 2.7 ESTRUCTURAS USADAS

A continuación, se mostrarán las estructuras o apoyos que comúnmente emplean las principales electrificadoras y agentes distribuidores del país tales como: EPM, CODENSA, ESSA, CENS, ENERTOLIMA. Entre estas se destacan las de tipo bandera (espaciadores a lo largo del vano), las estructuras tipo C, y las tangenciales para las redes compactas y para las convencionales se emplean la triangular simétrica tipo R-130, triangular simétrica tipo P-101, triangular simétrica terminal tipo R-114.

**2.7.1 Sistema compacto.** En las redes compactas con cable ecológico o semi aislado se emplean las siguientes estructuras:

- Circuito trifásico 34,5 kV en suspensión disposición en bandera

**Figura 22. Circuito trifásico 34,5 kV en suspensión disposición en bandera**



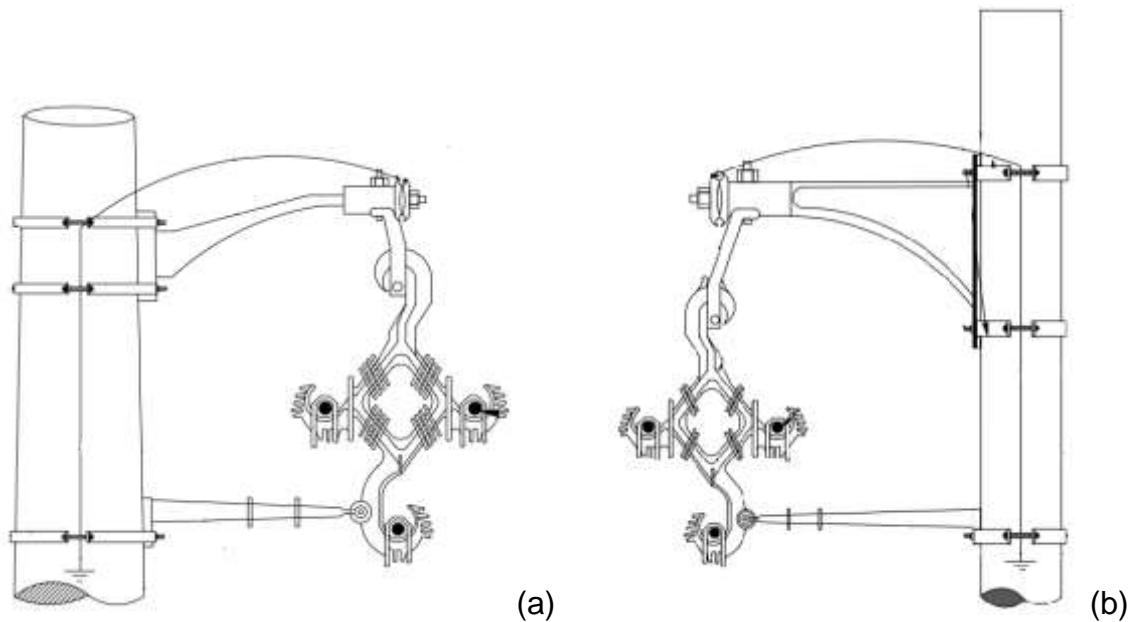
Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

Los espaciadores se deben ubicar a unos 12 metros como máximo desde el apoyo (poste) a ambos lados y entre cada espaciador como se aprecia en la Figura 16. La cantidad de espaciadores que se utilizan depende de la longitud del vano. El vano máximo permitido para las redes compactas es de unos 60 metros, si se excede en

esta distancia, se debe desarrollar un análisis de viabilidad. Esta disposición es aplicable también para niveles de tensión de 13,2 kV.

- Estructura en disposición circuito tangencial

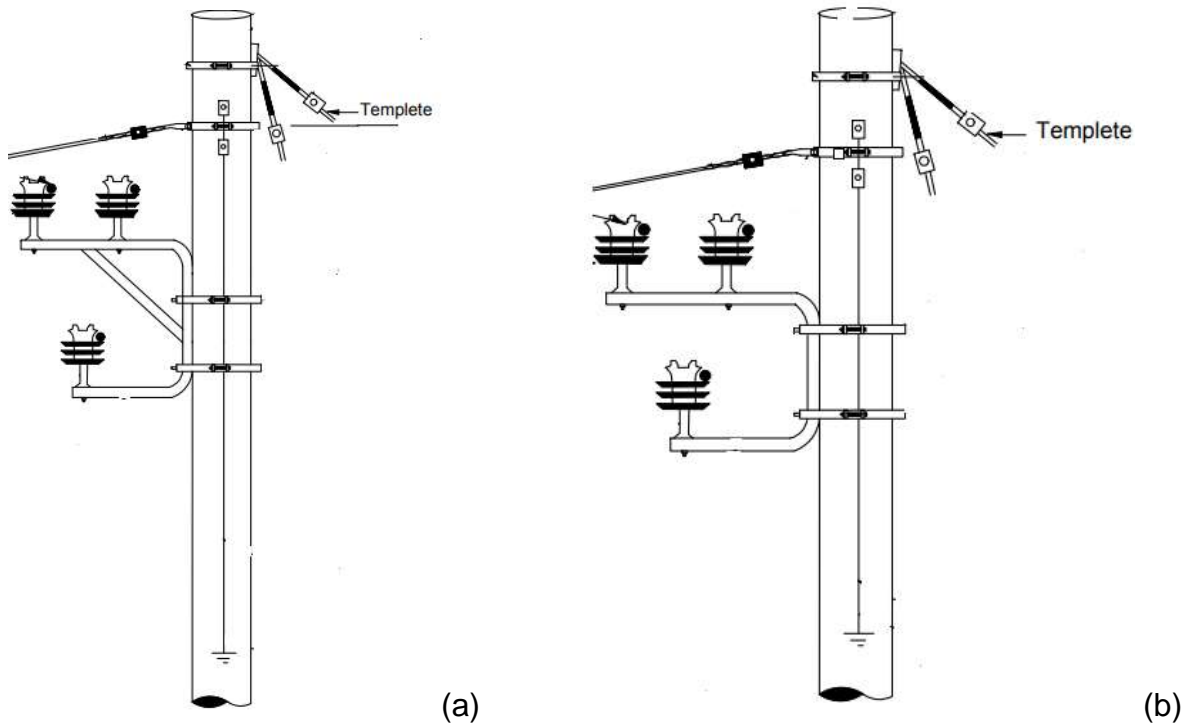
**Figura 23. Estructura en disposición circuito tangencial para (a) 34,5 y (b) 13,2 kV**



Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

- Red compacta para ángulos de 60° a 90° con doble aislador, 13,2 kV

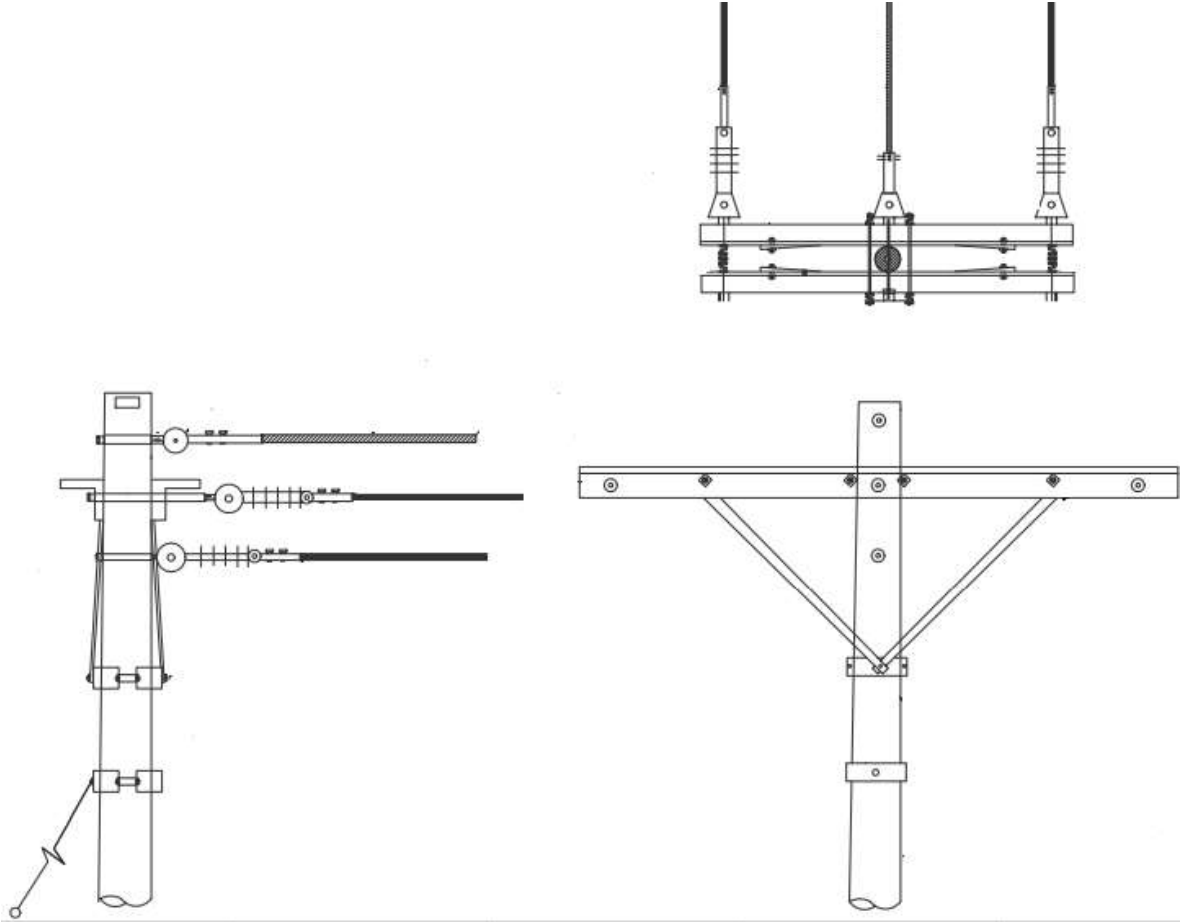
**Figura 24. Red compacta tipo C con ángulos y doble aislador (a) 34,5 y (b) 13,2 kV**



Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

- Red compacta 13,2 kV final del circuito

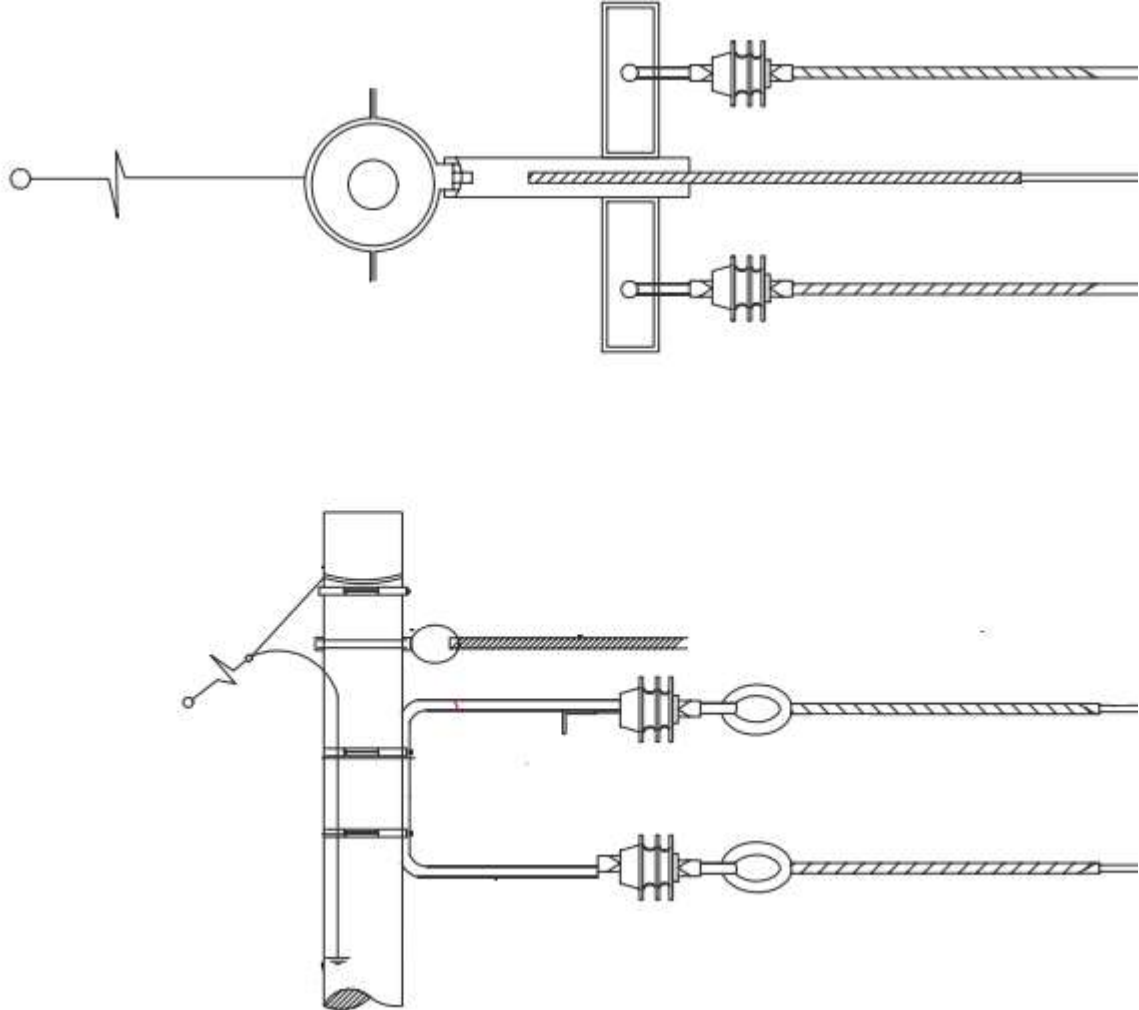
**Figura 25. Red compacta 13,2 kV final del circuito**



Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

- Red compacta final del circuito triangular 13,2 y 34,5 kV

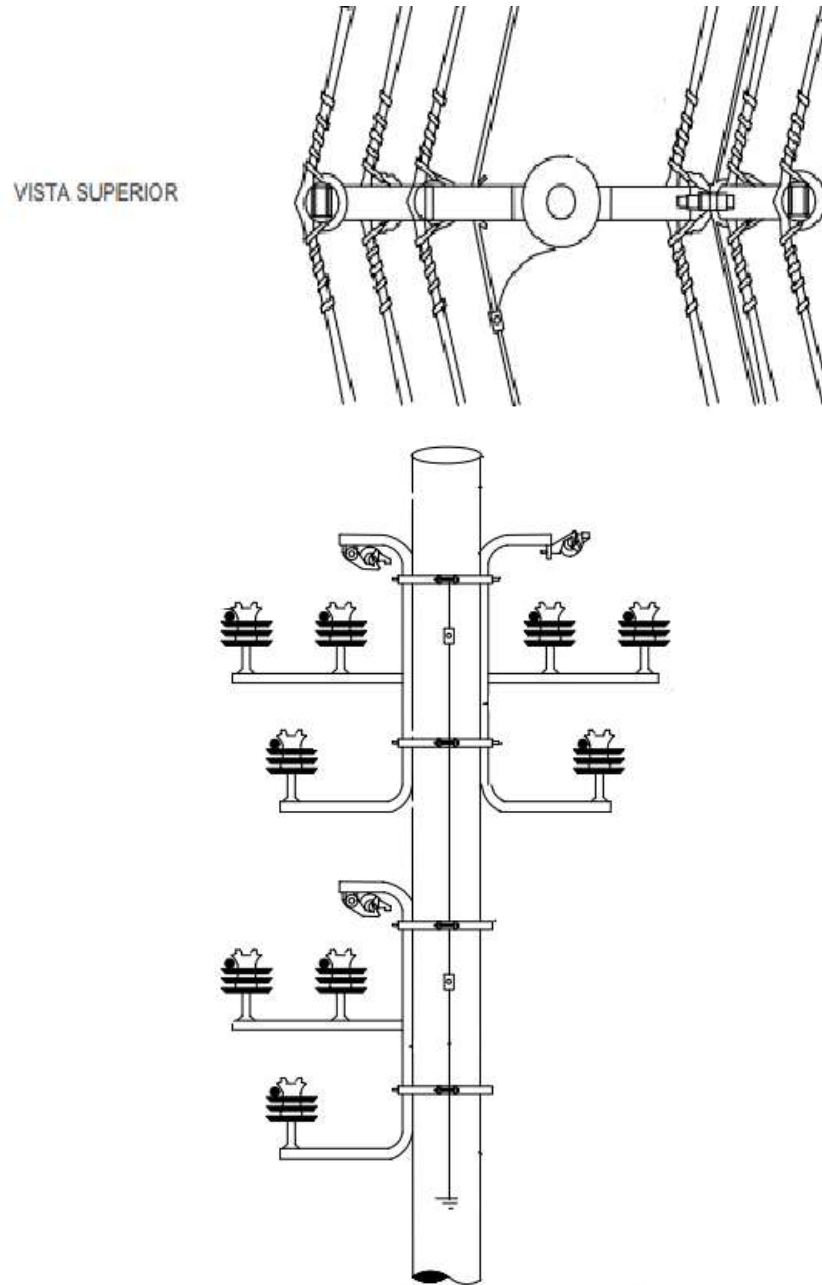
**Figura 26. Red compacta final del circuito triangular 13,2 y 34,5 kV**



Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

- Estructura en ángulos, 3 circuitos 13,2 kV

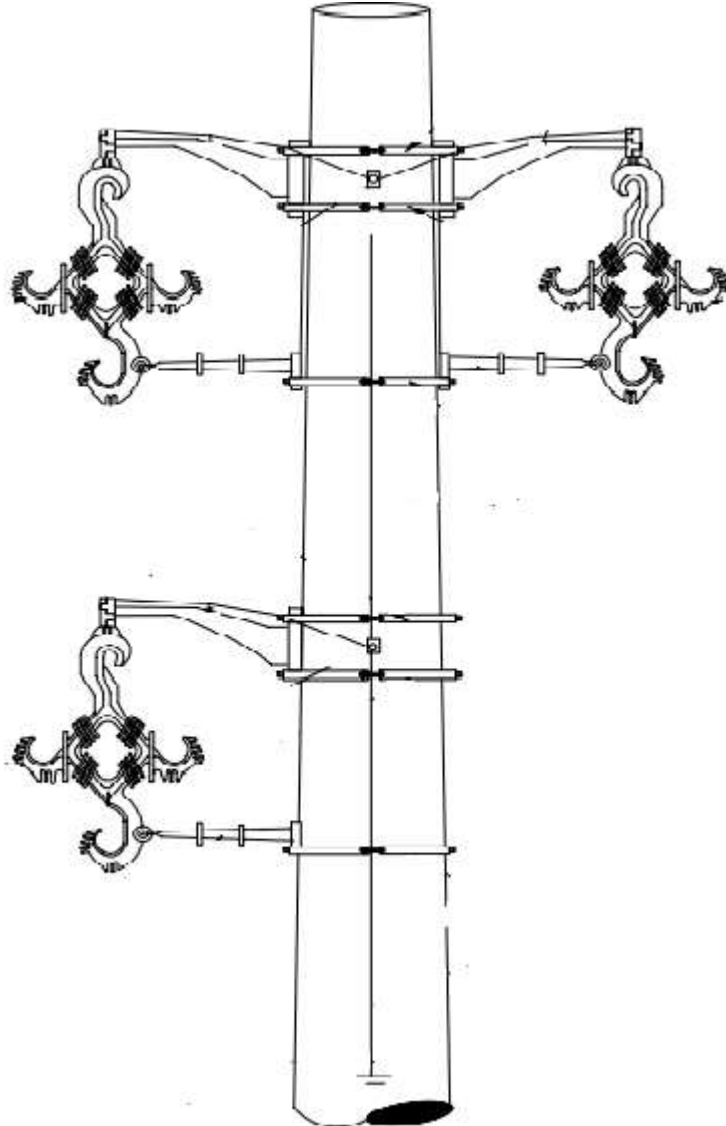
**Figura 27. Estructura en ángulos, 3 circuitos tipo C 13,2 kV**



Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en:  
[http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

- Red compacta en disposición tangencial, 3 circuitos 13,2 kV

**Figura 28. Red compacta en construcción tangencial, 3 circuitos 13,2 kV**

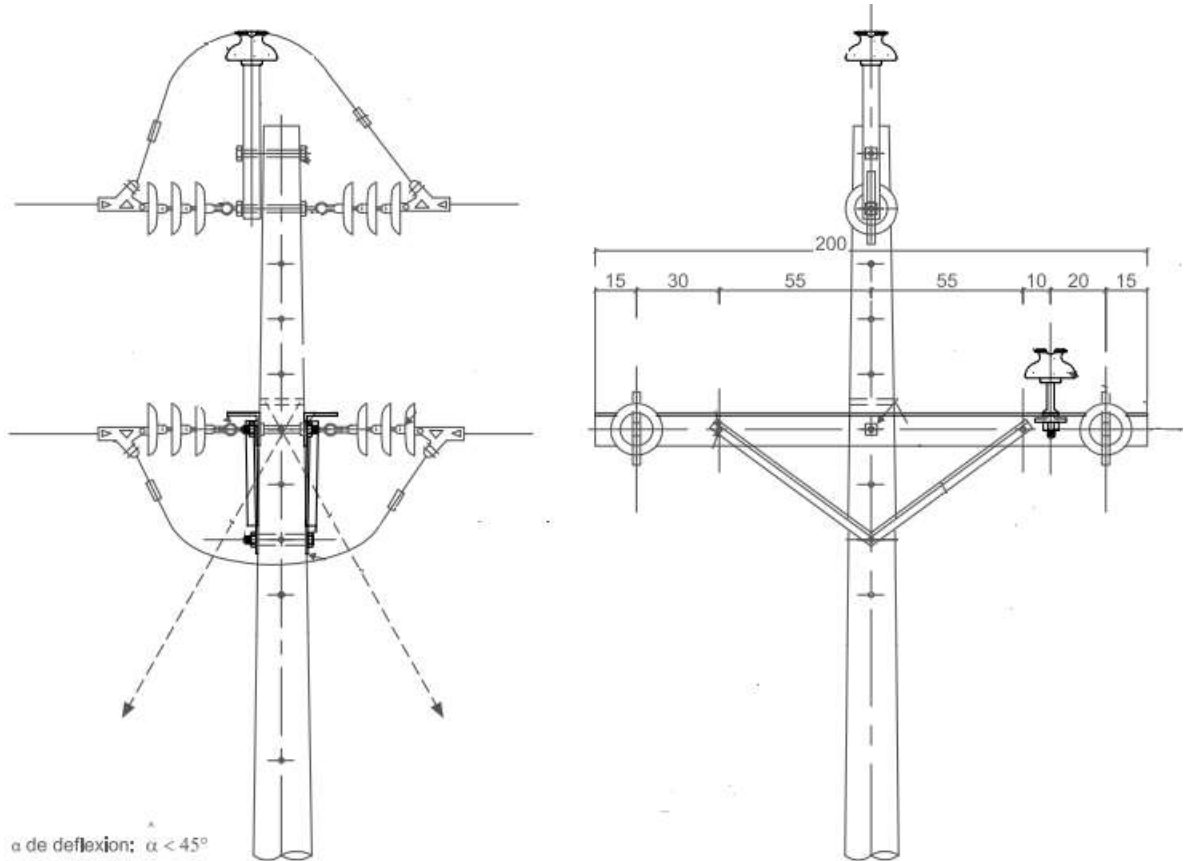


Fuente: ENERTOLIMA Normas con construcción redes aéreas [en línea] disponible en: [http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolim8a.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

**2.7.2 Sistema convencional.** En las redes convencionales de cable desnudo, se emplean las siguientes estructuras:

- Estructura disposición triangular simétrica tipo R-130 hasta 13,2 kV

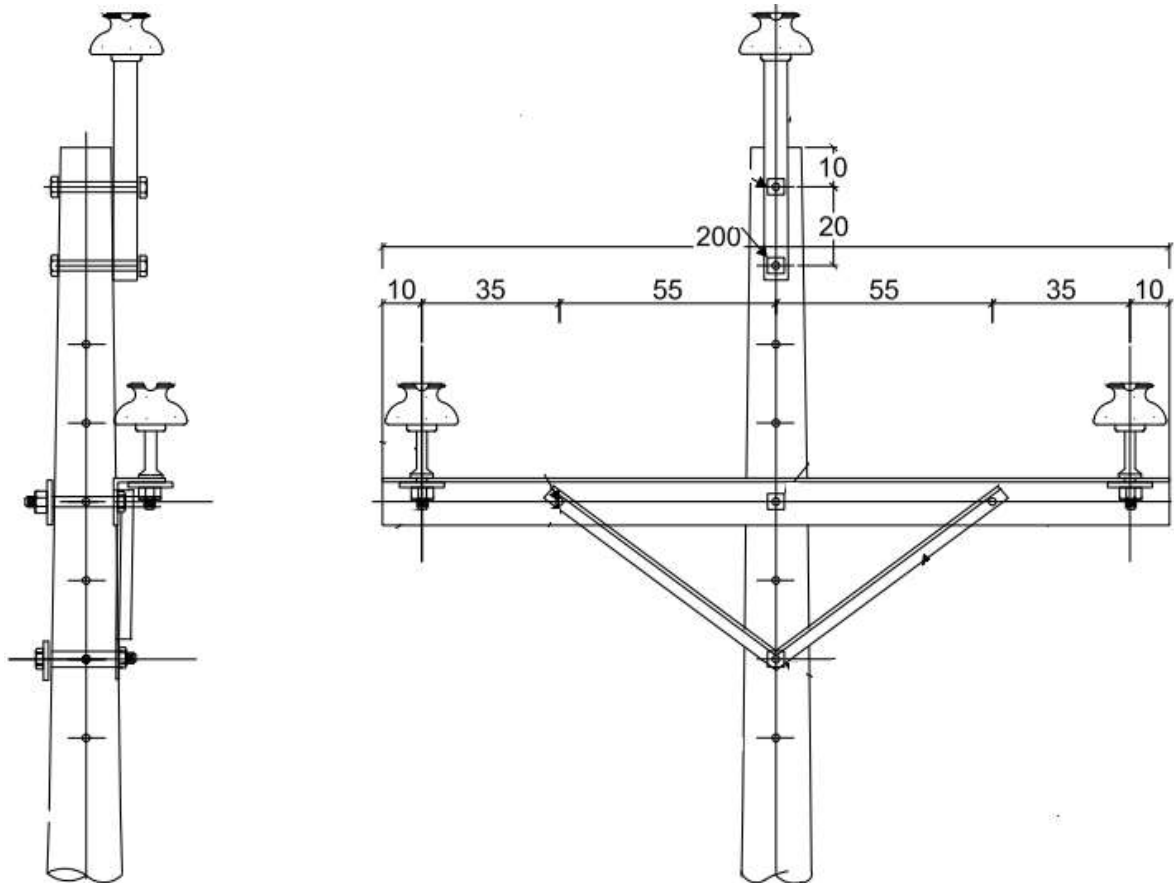
**Figura 29. Estructura disposición triangular simétrica tipo R-130 hasta 13,2 kV**



Fuente: Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. Estructuras 13.2 kV [en línea] disponible en: <https://www.cens.com.co/Portals/2/ESTRUCTURAS%2013.2%20KV%2016-01-2017.pdf>

- Estructura de paso disposición triangular simétrica tipo P-101 hasta 13,2 kV

**Figura 30. Estructura de paso disposición triangular simétrica tipo P-101 hasta 13,2 kV**



Fuente: Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. Estructuras 13.2 kV [en línea] disponible en: <https://www.cens.com.co/Portals/2/ESTRUCTURAS%2013.2%20KV%2016-01-2017.pdf>



### 3. COMPORTAMIENTO DEL CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

Los campos electromagnéticos se miden para establecer los límites máximos de la intensidad del campo eléctrico y del campo magnético a los que pueden ser expuestas las personas sin sufrir daños que atenten su salud. Al final de este capítulo se muestra la influencia de estos campos de acuerdo con los límites establecidos por el ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES.

Se efectuaron unas simulaciones para determinar los valores máximos de los campos electromagnéticos a 1, 4 y 8 metros desde el nivel del suelo para los dos tipos de redes, con el fin de analizar la variación de las intensidades de los campos según la distancia existente por debajo del vano y la implicación en las personas.

#### 3.1 CAMPO ELÉCTRICO

Para revisar el comportamiento del campo eléctrico en las redes compactas con cable ecológico y en las redes convencionales de cable desnudo se tomó como referencia un documento de ELECTRICAL ENGINEERING PORTAL llamado Calculation of electro magnetic field (EMF) around T&D overhead lines, que permite ver dicho comportamiento<sup>6</sup>.

**3.1.1 Red compacta.** Los datos para simular las mediciones del campo eléctrico tomados para la red compacta son los que se muestran en la Tabla 4:

---

<sup>6</sup> ELECTRICAL-ENGINEERING-PORTAL Calculation of electro magnetic field (EMF) around T&D overhead lines Electro magnetic field (EMF) [en línea] disponible en: <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-ms-excel-spreadsheets/emf-td-overhead-lines>

**Tabla 4. Datos del conductor e instalación para la red compacta**

			X[m]	Y[m]	$U_{max}$ [kV]	I[A]	$r_A$ [mm]	$d_A$ [mm]	n	Ph-seq
Línea	Circuito 1	L1	-0,089	9,554	15	248	4,3	5	7	1
		L2	0	9,4	15	248	4,3	5	7	2
		L3	0,089	9,554	15	248	4,3	5	7	3
		g.w.	0	9,7	0	0	3,15	3	7	0

Donde, los datos de la línea son:

X [m] - Longitud horizontal desde el centro de la línea

Y [m] - Altura en la que se suspenden los cables

$U_{max}$  [kV] - Máxima tensión de línea admisible

I [A] - Máxima corriente de línea admisible

$r_A$  [mm] - Radio del cable

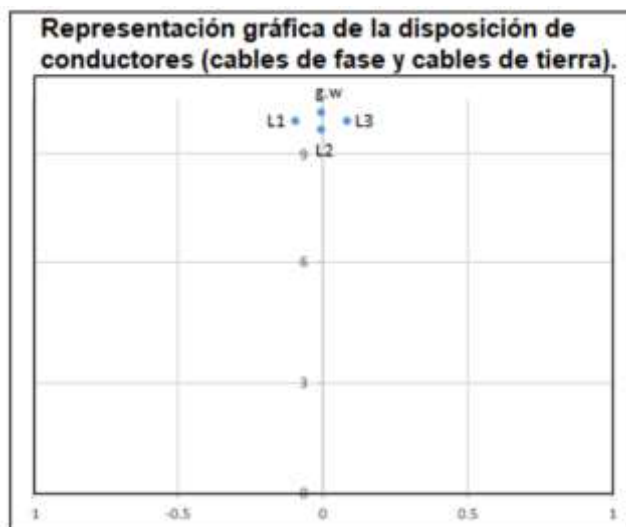
$d_A$  [mm] - Distancia entre los cables en haz

n - Número de cables en haz

Ph-seq - Secuencia de fases

La configuración de la red compacta es la que se muestra en la Figura 26:

**Figura 32. Representación gráfica de la disposición de los conductores cubiertos**

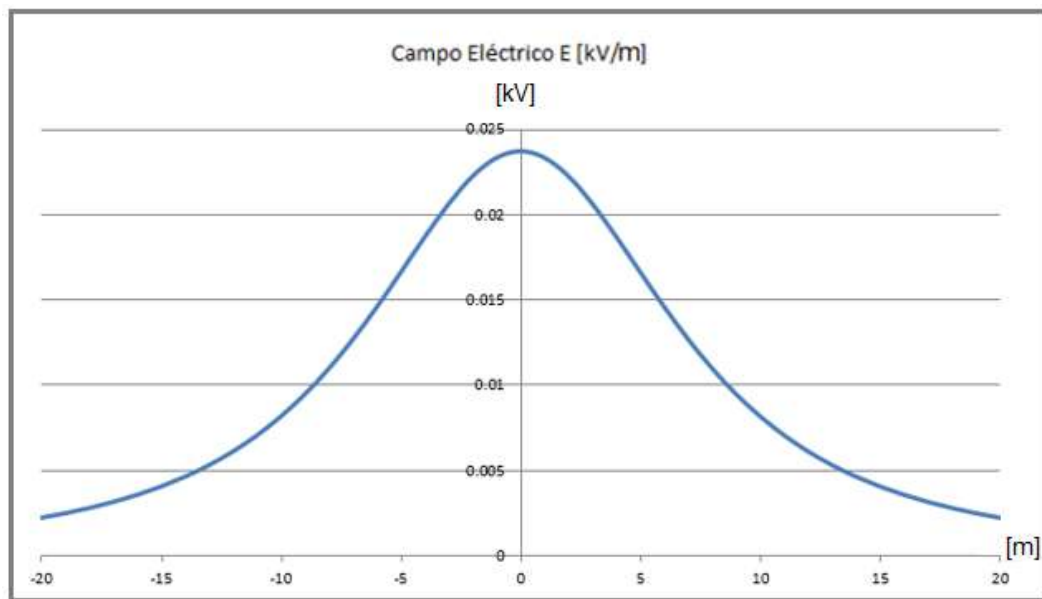


El conductor usado para las fases de la red compacta es de aluminio puro con una sección de 50 [mm<sup>2</sup>], diámetro de 8,6 [mm] y una capacidad de conducción de corriente de 248 [A]. El conductor de neutro o cable portante que se empleó es de acero inoxidable AISI 304 de 6,3 [mm] de diámetro.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones:

- Distancia: 1 metro de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 27

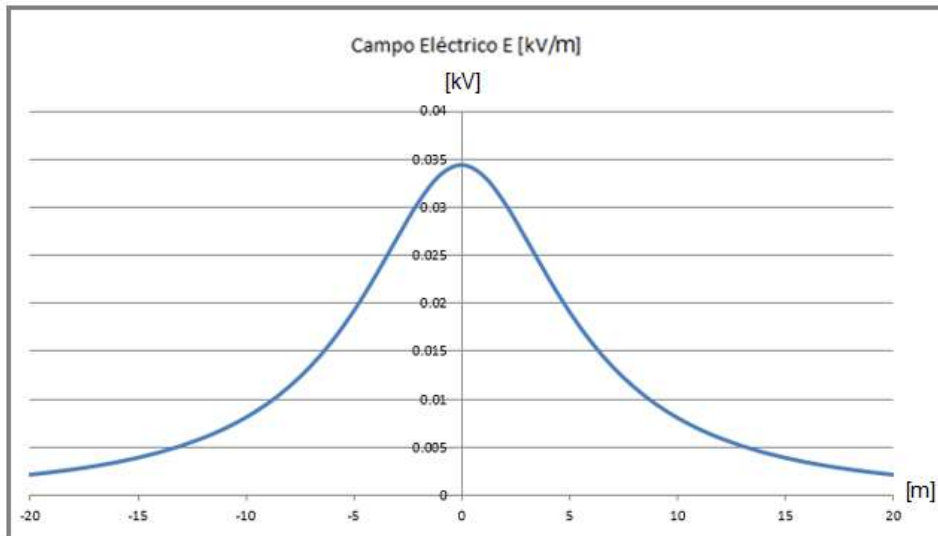
**Figura 33. Medición de E a 1 metro en red compacta**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló resulta despreciable ya que la intensidad máxima de campo eléctrico es de 0,024 [kV/m].

- Distancia: 4 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 28

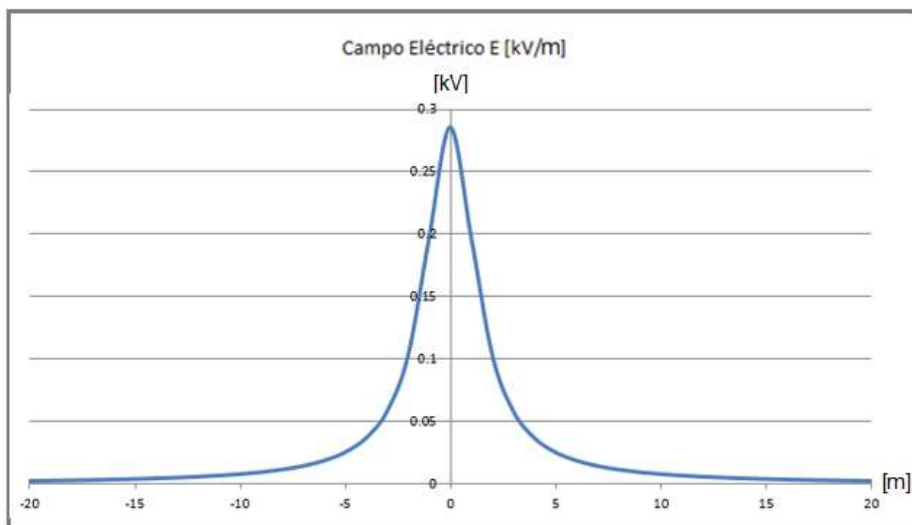
**Figura 34. Medición de E a 4 metros en red compacta**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló resulta despreciable ya que la intensidad máxima de campo eléctrico es de 0,034 [kV/m].

- Distancia: 8 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 29

**Figura 35. Medición de E a 8 metros en red compacta**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló se percibe un poco, pero sigue es despreciable puesto que la  $E_{\max}$  es de 0,29 [kV/m].

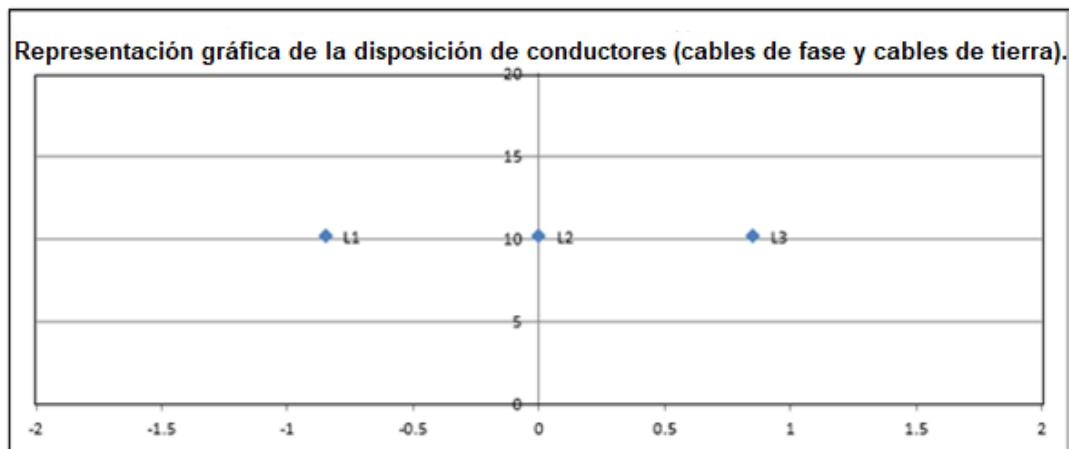
**3.1.2 Red convencional.** Los datos para simular las mediciones del campo eléctrico que se tomaron son los que se muestran en la Tabla 5:

**Tabla 5. Datos del conductor e instalación para la red convencional**

		X[m]	Y[m]	$U_{\max}$ [kV]	I[A]	$r_A$ [mm]	$d_A$ [mm]	n	Ph-seq	
Línea	Circuito 1	L1	-0,85	10,2	15	242	5,0545	3,37	6	1
		L2	0	10,2	15	242	5,0545	3,37	6	2
		L3	0,85	10,2	15	242	5,0545	3,37	6	3
		g.w.	0	0	0	0	0	0	0	0

La configuración de la red convencional se muestra en la Figura 30:

**Figura 36. Representación gráfica de la disposición de los conductores desnudos**

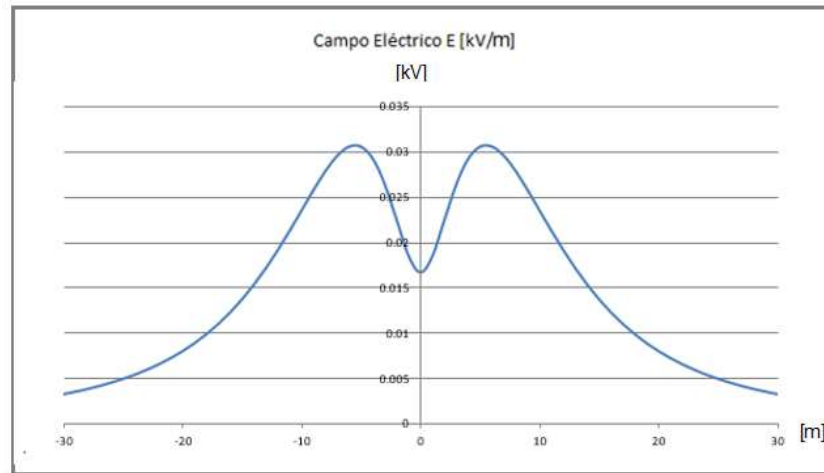


El conductor usado para las fases de la red convencional es de aluminio ACSR RAVEN 1/0 AWG con sección de 53,55 [mm<sup>2</sup>], diámetro de 10,109 [mm] y una capacidad de corriente de 242 [A].

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones:

- Distancia: 1 metro de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 31

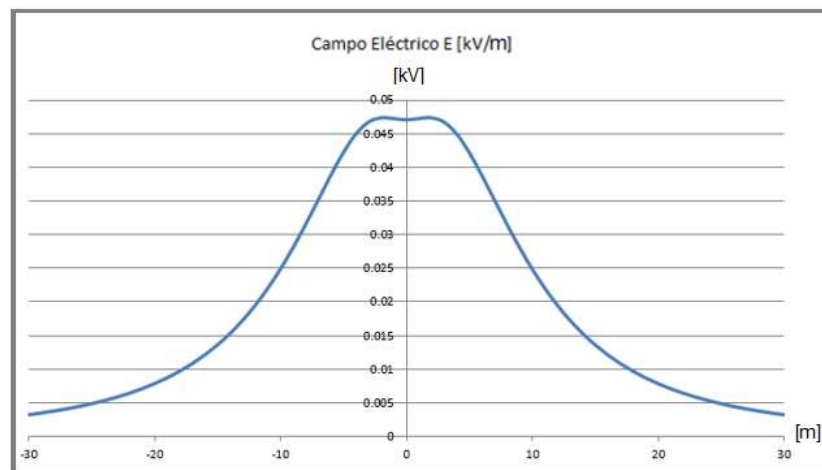
**Figura 37. Medición de E a 1 metro en red convencional**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló resulta despreciable ya que la intensidad máxima de campo eléctrico es de 0,031 [kV/m].

- Distancia: 4 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 32

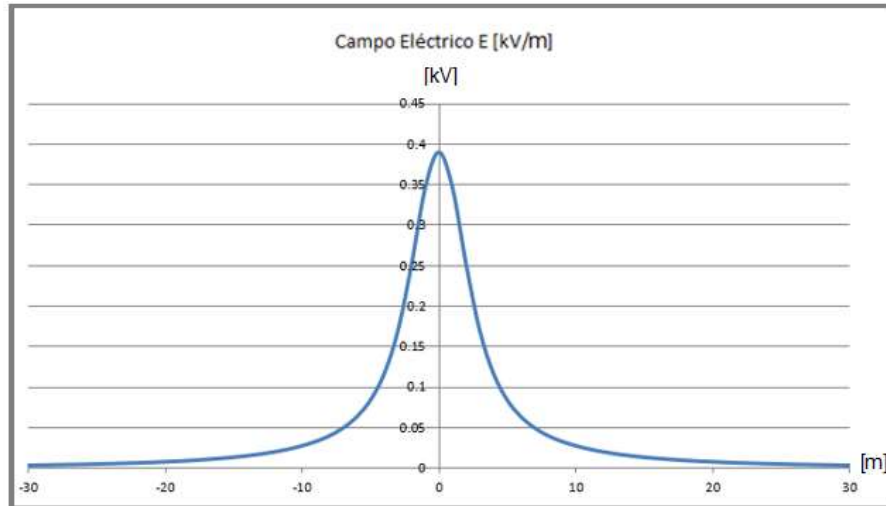
**Figura 38. Medición de E a 4 metros en red convencional**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló resulta despreciable ya que la intensidad máxima de campo eléctrico es de 0,0475 [kV/m].

- Distancia: 8 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 33

**Figura 39. Medición de E a 8 metros en red convencional**



El resultado de la medición del campo eléctrico que se simuló se percibe un poco, pero es despreciable puesto que la  $E_{máx}$  es de 0,39 [kV/m].

### 3.2 CAMPO MAGNÉTICO

Para revisar el comportamiento del campo magnético en las redes compactas con cable ecológico y en las redes convencionales de cable desnudo se tomó como referencia un documento de Excel de ELECTRICAL ENGINEERING PORTAL llamado Calculation of electro magnetic field (EMF) around T&D overhead lines, que permite ver dicho comportamiento<sup>7</sup>.

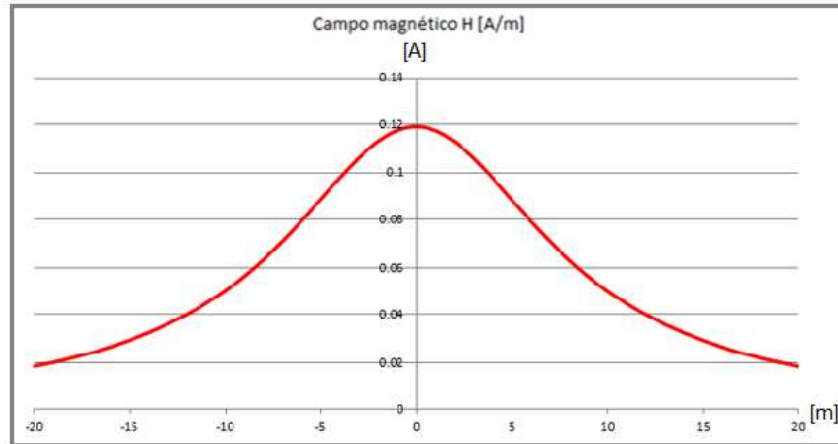
---

<sup>7</sup> Ibíd.

**3.2.1 Red compacta.** Los datos son los mismos de la Tabla 4. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones:

- Distancia: 1 metro de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 34

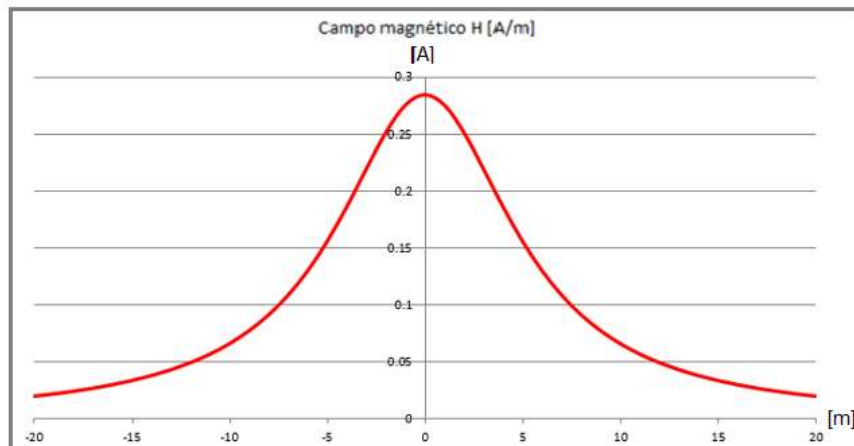
**Figura 40. Medición de H, B a 1 metro de en red compacta**



El resultado de la medición del campo magnético que se simuló se percibe un poco, pero es despreciable puesto que la  $H_{\text{máx}}$  es de 0,12 [A/m] y  $B_{\text{máx}}$  es 0,1509 [ $\mu\text{T}$ ].

- Distancia: 4 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 35

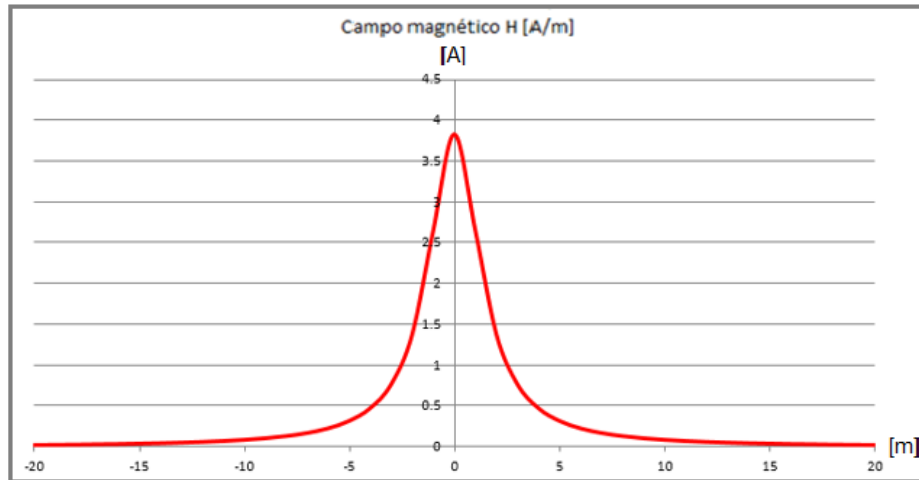
**Figura 41. Medición de H, B a 4 metros en red compacta**



El resultado de la medición del campo magnético que se simuló se percibe un poco, pero es despreciable puesto que la  $H_{\text{máx}}$  es de 0,28 [A/m] y  $B_{\text{máx}}$  es 0,3518 [ $\mu\text{T}$ ].

- Distancia: 8 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 36

**Figura 42. Medición de H, B a 8 metros en red compacta**



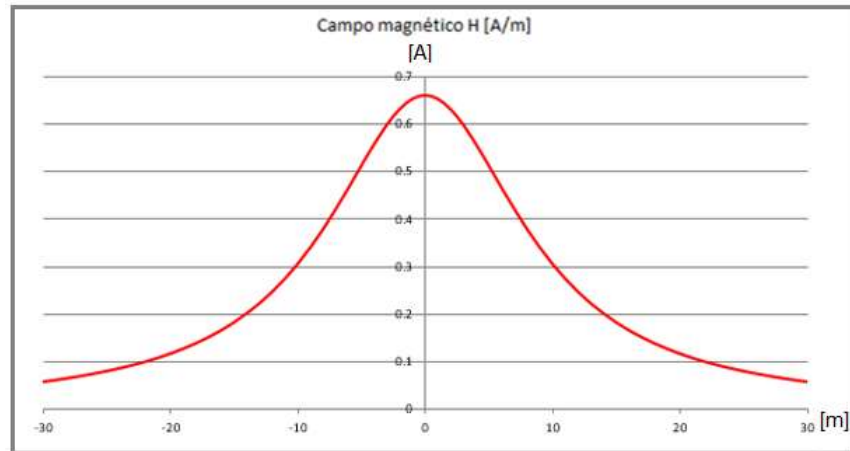
El resultado de la medición del campo magnético que se simuló es despreciable ya que la  $H_{\text{máx}}$  es de 3,82 [A/m] y  $B_{\text{máx}}$  es 4,8 [ $\mu\text{T}$ ].

**3.2.2 Red convencional.** Los datos son los mismos de la Tabla 5.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones:

- Distancia: 1 metro de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 37

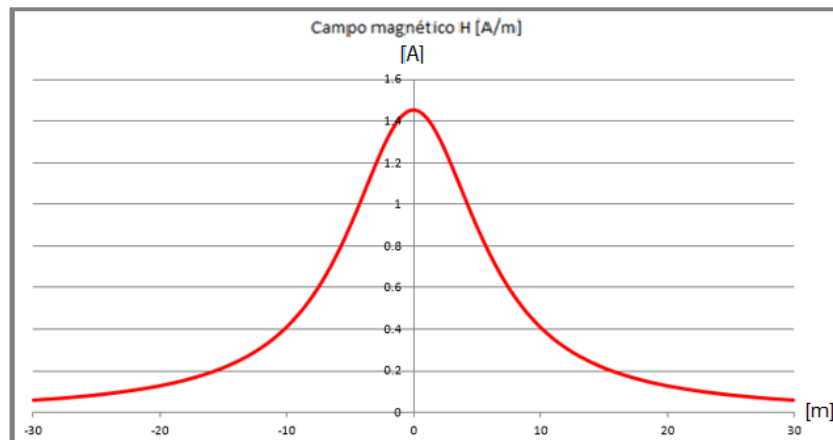
**Figura 43. Medición de H, B a 1 metro en red convencional**



El resultado de la medición del campo magnético que se simuló es despreciable ya que la  $H_{\text{máx}}$  es de 0,67 [A/m] y  $B_{\text{máx}}$  es 0,8419 [ $\mu\text{T}$ ].

- Distancia: 4 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 38

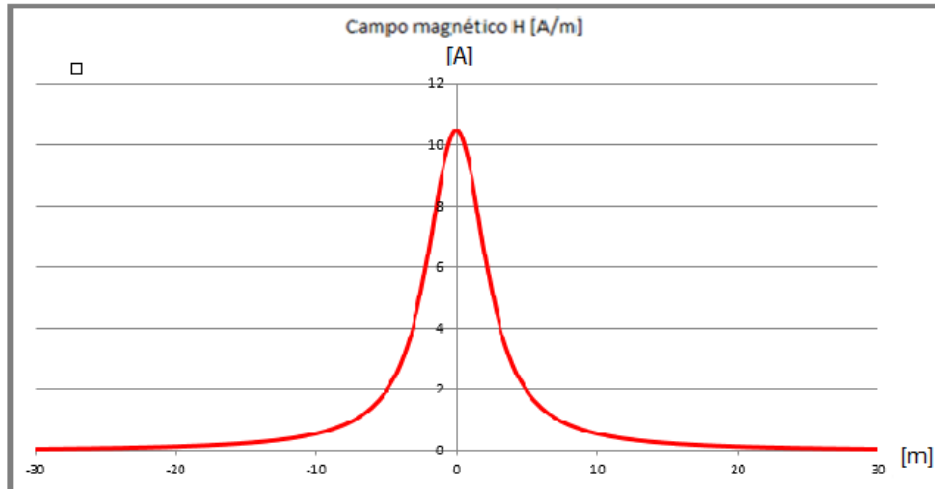
**Figura 44. Medición de H, B a 4 metros en red convencional**



El resultado de la medición del campo magnético que se simuló es despreciable ya que la  $H_{\text{máx}}$  es de 1,5 [A/m] y  $B_{\text{máx}}$  es 1,88 [ $\mu\text{T}$ ].

- Distancia: 8 metros de altura desde el nivel del suelo. Ver Figura 39

**Figura 45. Medición de H, B a 8 metros en red convencional**



El resultado de la medición del campo magnético que se simuló es despreciable ya que la  $H_{\text{máx}}$  es de  $10,44 A/m$  y  $B_{\text{máx}}$  es  $13,11 \mu T$ .

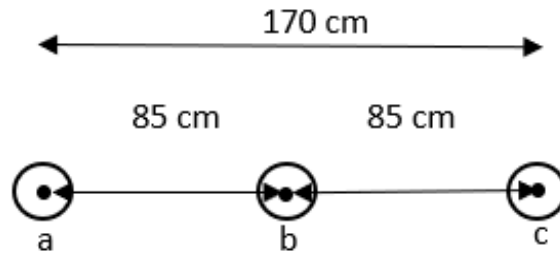
### 3.3 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Los parámetros que se calcularon fueron la reactancia inductiva y la capacitiva.

**3.3.1 Cálculo de la reactancia inductiva.** Se efectuaron los cálculos de la reactancia correspondientes a las redes convencionales (cable desnudo) y las compactas (cable cubierto con espaciador).

**3.3.1.1 Cálculo de la reactancia inductiva en redes convencionales.** Para el siguiente cálculo se utiliza la configuración horizontal con cruceta metálica de 2 metros tal como se muestra en la Figura 40, con un conductor ACSR RAVEN (Cuervo) con sección transversal de  $53,484 \text{ mm}^2$  y diámetro de  $10,109 \text{ mm}$ .

**Figura 46. Configuración horizontal en red convencional**



$$DMG = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}} = \sqrt[3]{85 \cdot 85 \cdot 170} = 107,0932 \text{ cm} = 1,0709 \text{ m}$$

$$r' = e^{-1/4} \cdot \frac{D_c}{2} = e^{-1/4} \cdot \frac{10,109 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,9364 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left( \frac{DMG}{r'} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left( \frac{1,0709}{3,9364 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,1212 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 0,4226 \text{ } \Omega/\text{km}$$

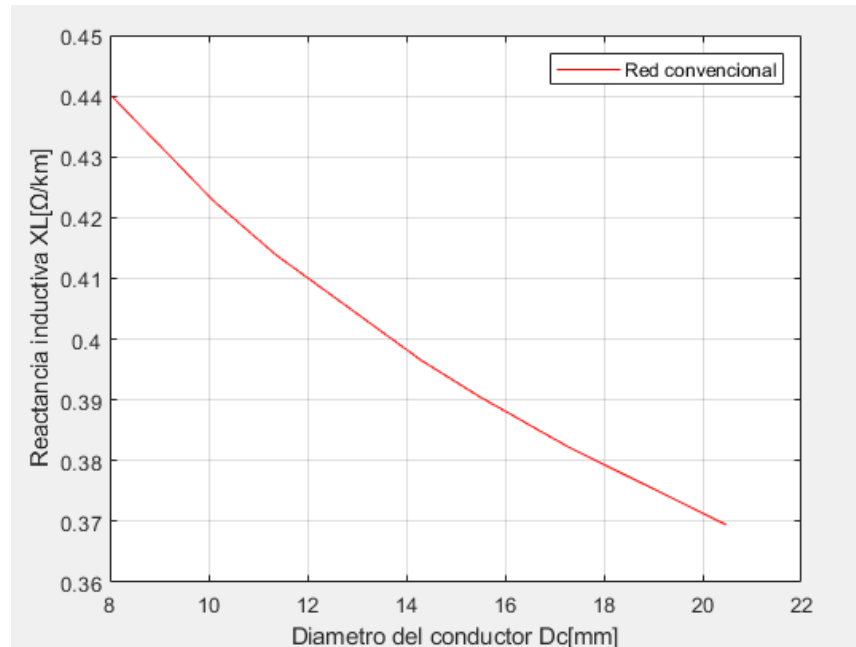
Este mismo procedimiento se hizo para otros conductores de diferentes diámetros que son comúnmente utilizados en las redes convencionales, la Tabla 6 muestra estos resultados y se muestran gráficamente en la Figura 41:

**Tabla 6. Reactancias inductivas a diferentes diámetros de cable desnudo**

Red convencional, cable desnudo	
Dc [mm]	X <sub>L</sub> [Ω/km]
8,026	0,4401
10,109	0,4226
14,3	0,3965
17,272	0,3823
20,47	0,3695

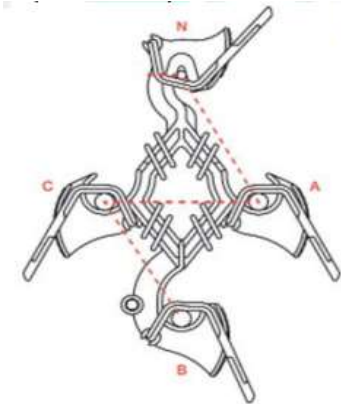
Se presenta una relación inversa ya que al aumentar el diámetro del conductor disminuye la reactancia inductiva tal como se muestra en la Figura 41.

**Figura 47. Reactancia inductiva versus diámetro del conductor desnudo**



**3.3.1.2 Cálculo de la reactancia inductiva en redes compactas.** Para el cálculo de la reactancia inductiva, se utilizó un conductor compuesto de aluminio puro con una sección transversal de  $50 \text{ mm}^2$  y diámetro de 8,6 mm. Las distancias entre cada punto correspondiente a la disposición de los conductores en el espaciador se muestran en la Figura 42 y en la Tabla 7.

**Figura 48. Dimensiones del espaciador**



Fuente: GRUPO EPM Especificación técnica espaciadores para red compacta [en línea] disponible en: [https://www.cens.com.co/Portals/2/Documentos/Norma\\_Actualizada/ET-TD-ME26-03%20ESPACIADORES%20RED%20COMPACTA.pdf](https://www.cens.com.co/Portals/2/Documentos/Norma_Actualizada/ET-TD-ME26-03%20ESPACIADORES%20RED%20COMPACTA.pdf)

**Tabla 7. Dimensiones del espaciador**

NA [cm]	AC [cm]	CB [cm]	BA [cm]
16,5	17,8	17,8	17,8

$$DMG = \sqrt[3]{D_{ac} \cdot D_{cb} \cdot D_{ba}} = 17,8 \text{ cm} = 0,178 \text{ m}$$

$$r' = e^{-1/4} \cdot \frac{D_c}{2} = e^{-1/4} \cdot \frac{8,6 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,3488 \cdot 10^{-3}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{DMG}{r'}\right) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{0,178}{3,3488 \cdot 10^{-3}}\right) = 7,9463 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 0,2995 \text{ } \Omega/\text{km}$$

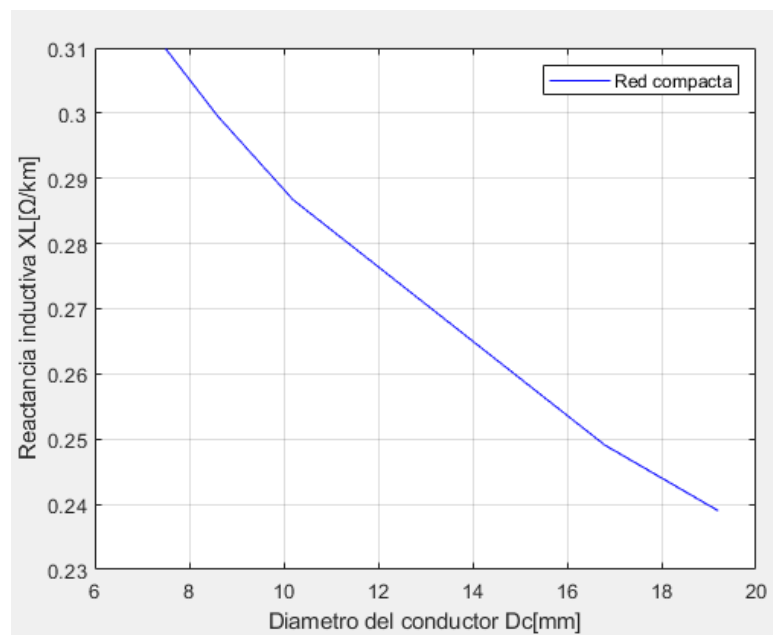
Este mismo procedimiento se hizo para otros conductores de diferentes diámetros que son comúnmente utilizados en las redes compactas, la Tabla 8 muestra estos resultados y se muestran gráficamente en la Figura 43:

**Tabla 8. Reactancias inductivas a diferentes diámetros de cable cubierto**

Red compacta, cable cubierto	
Dc [mm]	X <sub>L</sub> [Ω/km]
7,5	0,3099
8,6	0,2995
10,2	0,2867
16,8	0,2491
19,3	0,239

Se evidencia una relación inversa ya que al aumentar el diámetro del conductor disminuye la reactancia inductiva tal como se muestra en la Figura 43.

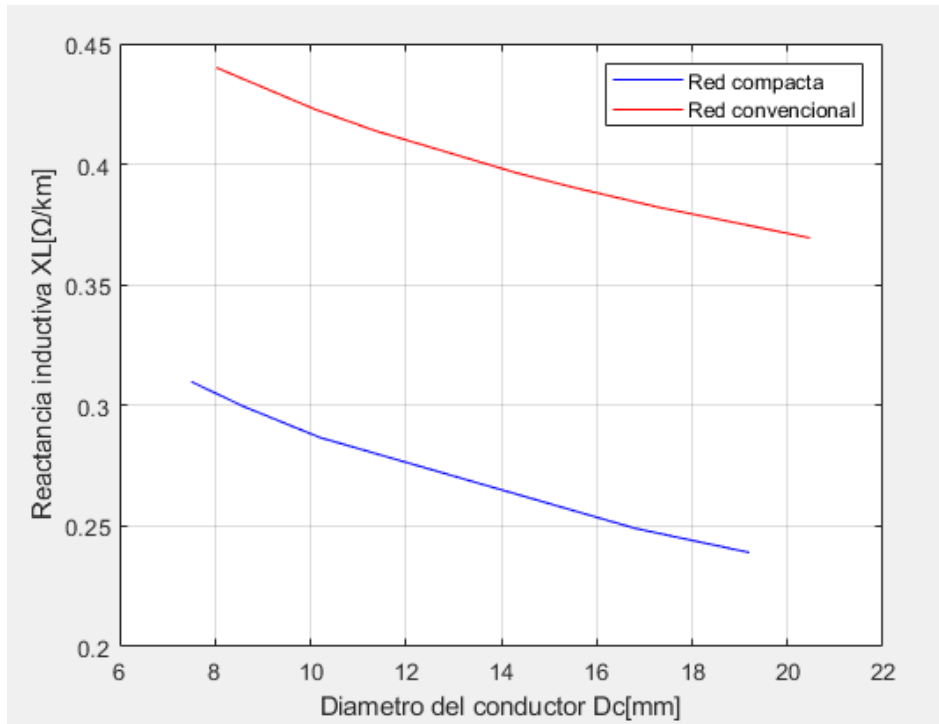
**Figura 49. Reactancia inductiva versus diámetro del conductor cubierto**



### **3.3.2 Comparativo de la reactancia inductiva en red compacta y convencional.**

El cálculo de este parámetro eléctrico muestra una relación inversa al variar el calibre del conductor. La Figura 44 ilustra dicho comportamiento en las redes compactas y en las convencionales, observando que la reactancia inductiva en la primera de estas es menor, así pues, la caída de tensión también lo será.

**Figura 50. Comparativo de la reactancia inductiva versus el diámetro del conductor en redes compactas y convencionales**



**3.3.3 Cálculo de la reactancia capacitiva.** Este cálculo no se tendrá en cuenta ya que la capacidad de transporte de las redes de distribución es muy baja, además la longitud y los niveles de tensión no superan los 80 km y los 57,5 kV respectivamente, requeridos para considerar las reactancias capacitivas de fase en la línea.

### **3.4 INFLUENCIA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO**

Los valores límites de exposición a los campos electromagnéticos fijados por el ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES son los que se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos.**

<b>TIPO DE EXPOSICIÓN</b>	<b>INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO "E" [kV/m]</b>	<b>INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO "H" [A/m]</b>	<b>DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO "B" [μT]</b>
Exposición ocupacional en un día de trabajo de ocho horas	8,3	795,7747	1000
Exposición del público en general hasta ocho horas continuas	4,16	159,1549	200

Fuente. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea] disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

Analizando los valores de la Tabla 9 con respecto a los obtenidos para las intensidades de los campos eléctricos y los campos magnéticos tanto en las redes compactas como en las convencionales, estos resultan ser insignificantes para la percepción del cuerpo humano puesto que el valor más alto para la intensidad de campo eléctrico ( $E_{m\acute{a}x}$ ) es de 0,29 [kV/m] para la red compacta y realizando la medición a 8 metros de altura desde el nivel del suelo, para la red convencional el  $E_{m\acute{a}x}$  es de 0,39 [kV/m] y el valor más significativo en la medición de la intensidad de campo magnético  $H_{m\acute{a}x}$  y  $B_{m\acute{a}x}$  a 8 metros de altura para el sistema compacto son de 3,82 [A/m] y 4,8[μT] respectivamente y para el convencional son de 10,44 [A/m] y 13,11 [μT]. Los valores máximos medidos se muestran en la Tabla 10 con el fin de comparar las intensidades de campos en los dos tipos de redes que se trabajan en este proyecto.

**Tabla 10. Valores máximos de las mediciones de intensidades de campos**

<b>RED / INTENSIDAD</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math> [kV/m]</b>	<b><math>H_{m\acute{a}x}</math> [A/m]</b>	<b><math>B_{m\acute{a}x}</math> [μT]</b>
Compacta	0,29	3,82	4,8
Convencional	0,39	10,44	13,11

#### 4. COSTOS DE LAS REDES CONVENCIONALES Y COMPACTAS

Los precios asociados a las redes compactas y a las convencionales se muestran a continuación. Estos costos representan una instalación tipo para un tramo ideal de 1 kilómetro y se asocian a los precios de las unidades constructivas que se encuentran en la resolución CREG 015 de 2018 y a precios suministrados por la Electrificadora de Santander S.A. ESSA.

##### 4.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Para la instalación de un kilómetro de red convencional de 13,2 kV se requiere de los siguientes componentes y se muestran sus respectivos precios en la Tabla 11. Los postes se encuentran separados cada 80 metros y se emplean 9 postes de suspensión y 4 de retención. No se requiere cable de guarda ni puesta a tierra.

**Tabla 11. Unidades constructivas de la red convencional a 13,2 kV**

<b>UC</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO POR UNIDAD INSTALADA [\$ COP]</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL [\$ COP]</b>
N2L70	Poste de concreto de 12 metros, 510 kg – suspensión	3'215.000	9	28'935.000
N2L72	Poste de concreto de 12 metros, 750 kg - retención	4'086.000	4	16'344.000
N2L83	km de conductor (3 fases) ACSR 1/0 AWG	14'814.000	1	14'814.000
<b>GLB</b>	<b>TOTAL INSTALACIÓN RED CONVENCIONAL</b>	--	<b>1</b>	<b>60'093.000</b>

Para la instalación de un kilómetro de red compacta de 13,2 kV dispuestos en 16 vanos de 60 metros, se requiere de los siguientes materiales y se muestran sus respectivos precios en la Tabla 12. La disposición de los postes es la siguiente: separados cada 60 metros, se utilizan 12 postes de suspensión, 5 de retención (cada uno puesto a tierra) y se necesita del cable de guarda que anteriormente se definió y se usa para sostener los espaciadores a lo largo del tramo de red.

**Tabla 12. Unidades constructivas de la red compacta a 13,2 kV**

<b>UC</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO POR UNIDAD INSTALADA [\$ COP]</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL [\$ COP]</b>
N2L70	Poste de concreto de 12 metros, 510 kg – suspensión	3'215.000	12	38'580.000
N2L71	Poste de concreto de 12 metros, 1050 kg – retención	4'226.000	5	21'130.000
N2L96	km de conductor (3 fases) semi aislado 1/0 AWG	23'386.000	1	23'386.000
N2L136	km cable de guarda	2'960.000	1	2'960.000
N2L137	Sistema de puesta a tierra diseño típico	270.000	5	1'350.000
UND	Espaciador polimérico para cable ecológico 13,2 kV (5 cada 10 m en cada vano)	100.369	80	8'029.520
<b>GLB</b>	<b>TOTAL INSTALACIÓN RED COMPACTA</b>	--	<b>1</b>	<b>95'435.520</b>

#### **4.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los costos de mantenimiento se dan de acuerdo con las actividades de las tablas anteriores según se requiera con el tiempo. Cada 6 meses se hacen mantenimientos

preventivos a estas redes por medio de recorridos a los tramos de líneas instaladas, por lo que se dispone de una cuadrilla que realiza dicha labor, por lo general el mantenimiento que se realiza es poda e inspección del tramo de red. Un costo aproximado de mantenimiento a un circuito de 1 km es el mostrado en la Tabla 13:

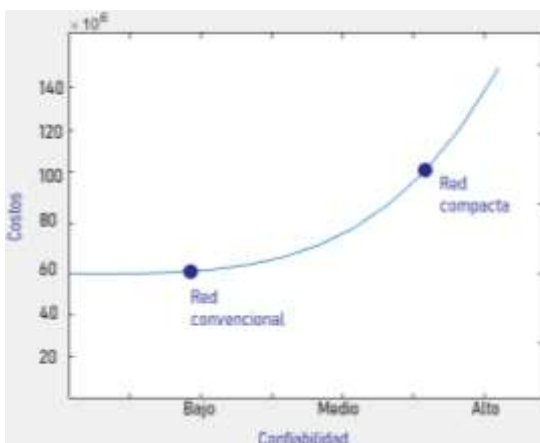
**Tabla 13. Costos de mantenimientos preventivos para las redes**

ACTIVIDAD	PRECIO [\$ COP]
Cuadrilla (inspección y poda cada 6 meses)	3'000.000
TOTAL MANTENIMIENTO	3'000.000

### 4.3 ANÁLISIS DE COSTOS

El costo de inversión por kilómetro de una red compacta es cerca de 1,5 veces mayor al de una red convencional. Sin embargo, los costos de operación resultan menores para la red compacta puesto que requiere menos mantenimiento y es más confiable porque está construida con conductores semi aislados que la protegen de fallas por contactos o acercamientos. La Figura 45 da un ejemplo del comportamiento de los costos y la confiabilidad para estas redes.

**Figura 51. Costos de instalación versus confiabilidad**



Fuente: PROCABLES. Infocables Edición 15 [en línea] disponible en: [http://www.procables.com.co/downloads/infocables\\_edicion\\_15.pdf](http://www.procables.com.co/downloads/infocables_edicion_15.pdf)

## 5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REDES COMPACTAS RESPECTO A LAS CONVENCIONALES

En las Tablas 14 y 15 se muestran algunos criterios de diferenciación de las redes compactas frente a la configuración convencional en cuanto a los aspectos técnicos y a los costos de instalación y de operación. La Tabla 16 muestra las desventajas de los dos sistemas de redes.

### 5.1 VENTAJAS

**5.1.1 Aspectos técnicos.** En la Tabla 14 se consignan las diferencias entre las ventajas que ofrece la instalación compacta sobre la red convencional de acuerdo con los criterios técnicos tanto en las redes compactas como en las convencionales.

**Tabla 14. Diferencias según los criterios técnicos para ambas redes**

CRITERIO	RED COMPACTA	RED CONVENCIONAL
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En las estructuras se pueden instalar los conductores de las fases más cercanos entre sí y a las ramas de los árboles sin que se presente cortocircuito por contactos ya que están protegidos o cubiertos con una capa semi aislante.</li> <li>✓ Las distancias de seguridad se pueden reducir hasta en un 30 % que las convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Las distancias pueden llegar a ser hasta cinco veces más entre los conductores de las fases y deben ser distantes a las ramas de los árboles para no presentar interrupciones en el servicio por contactos.</li> <li>✓ Deben conservar unas distancias de seguridad superiores a las compactas.</li> <li>✓ No se recomienda la</li> </ul>

<b>CRITERIO</b>	<b>RED COMPACTA</b>	<b>RED CONVENCIONAL</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Permite la instalación de múltiples circuitos en la misma estructura.</li> <li>✓ Presenta una mejor aceptabilidad ya que su apariencia compacta es más estética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>instalación de doble o más circuitos sobre la misma estructura.</li> <li>✓ Poca aceptación por parte de la población ya que es más intrusiva para la vista.</li> </ul>
Construcción y confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Brinda mejor confiabilidad al instalarse como alternativa en corredores urbanos, lugares con poco espacio y con mucha presencia de árboles y de aves, entre otros.</li> <li>✓ Es menos dispendioso el montaje de estas redes y se requiere menor personal y equipamiento.</li> <li>✓ Es eficiente en la capacidad de transporte y con caídas de tensión menores debido a que la reactancia inductiva es menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se presenta un trazado difícil debido a la reducción de los espacios en las zonas urbanas y se presentan constantes interrupciones del suministro de energía haciendo que sea menos confiable.</li> <li>✓ Se requieren periodos de tiempos más largos, con mayor personal y equipamiento para su construcción.</li> <li>✓ Mayor reactancia inductiva y por ende mayor caída de tensión y menor capacidad de transporte.</li> </ul>
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los mantenimientos correctivos y preventivos se reducen considerablemente.</li> <li>✓ El mantenimiento e inspección se efectúa con mayor rapidez y con menor personal técnico.</li> <li>✓ Mas amigable con el ambiente puesto que se requiere menor frecuencia de poda a las ramas de los árboles y el área podada es</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor intervención a la red con mantenimientos preventivos y correctivos.</li> <li>✓ Para la inspección se aumenta el tiempo requerido al igual que las cuadrillas.</li> <li>✓ Es más frecuente la poda y debe realizarse en mayor volumen, ocasionando así un impacto negativo para el entorno.</li> <li>✓ Las estructuras, herrajes y</li> </ul>

CRITERIO	RED COMPACTA	RED CONVENCIONAL
	<p>menor.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los herrajes y demás componentes que constituyen la red tienen una superficie uniforme y semi aislada que evita el deterioro por la acumulación de partículas o suciedad.</li> </ul>	<p>conductores acumulan demasiada suciedad y al ser desnudos o no estar cubiertos se hace más complejo llevar a cabo su limpieza.</p>
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A pesar de que los conductores poseen un recubrimiento, esta red debe ser tratada igual que la convencional ya que los conductores no son aislados.</li> <li>✓ Es menor el espacio requerido en zonas muy recurrentes ya que las fases se encuentran más cercanas, por consiguiente, se evitan accidentes.</li> <li>✓ Las intensidades de los campos eléctricos y magnéticos son insignificantes en media tensión y, por ende, no tiene ninguna repercusión en la salud de los seres vivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No presenta algún tipo de seguridad por contactos con la red, tiene gran probabilidad de accidentalidad y fallas afectando el transporte de energía.</li> <li>✓ Presenta mayores riesgos de accidentes cuando la red pasa por zonas cercanas a los balcones de las edificaciones así que se requiere una mayor zona de servidumbre.</li> <li>✓ Los valores de las intensidades de los campos electromagnéticos en redes de distribución de media tensión resultan ser bajos.</li> </ul>

**5.1.2 Costos de instalación y operativos.** En la Tabla 15 se muestra el comparativo de acuerdo con los costos de instalación, operación y mantenimiento en las redes de distribución compactas y convencionales que fueron presentados en el capítulo 4, en las Tablas 11, 12 y 13.

**Tabla 15. Costos asociados a ambas redes**

<b>CRITERIO</b>	<b>RED COMPACTA</b>	<b>RED CONVENCIONAL</b>
Instalación	La implementación de esta red es económicamente superior ya que sus componentes son costosos y se emplean en mayor cantidad al igual que el número de postes, adicional a esto se usan espaciadores. Sin embargo, a futuro resulta ser la mejor opción ya que los costos operacionales son más reducidos.	Si bien es más económico, esta configuración requiere mayores costos operacionales por ser más frecuente la intervención a la red.
Mantenimiento	Se reducen los costos de mantenimientos preventivos (inspección de los circuitos, poda) y correctivos.	Dado que es más común las interrupciones del servicio, se incrementan los costos de mantenimientos.

## 5.2 DESVENTAJAS

**Tabla 16. Desventajas de cada red de distribución**

<b>RED COMPACTA</b>	<b>RED CONVENCIONAL</b>
Su principal desventaja es el efecto tracking que consiste en el deterioro del aislamiento de los cables conductores ocasionando descargas superficiales y se desgastan las cubiertas de polietileno del cable.	Las constantes intervenciones a la red por interrupciones del suministro de energía la hacen poco confiable y la calidad del servicio se ve afectada por dichos inconvenientes.

## 6. CONCLUSIONES

- Se dio cumplimiento al primer objetivo en el que se trazó detallar los elementos que componen las redes compactas y las convencionales. Además, se muestran los usos permitidos y las distancias mínimas de seguridad que se deben tener en cuenta cuando se requiera instalar cualquier tipo de estas redes eléctricas aéreas.
- El segundo objetivo propuesto también se cumplió a cabalidad, se consignaron las mediciones de las intensidades de los campos electromagnéticos que se simularon y se analizó la influencia de estar expuestos a ciertos niveles que afecten la salud de los seres vivos cuando están próximos a los tendidos de las redes aéreas convencionales o compactas. También se realizaron los cálculos de los parámetros eléctricos en conductores de distintos calibres, en donde se encontró que la reactancia inductiva en una red compacta es menor si se compara con la de una red convencional, lo cual hace que sea menor la caída de tensión en el sistema compacto.
- Al final, en el capítulo 5 se documentaron las ventajas y desventajas de acuerdo con algunos criterios técnicos y a los costos que conllevaron a la determinación de cuál red eléctrica aérea es más conveniente implementar. Así, en la comparación de las redes compactas y las convencionales, la primera de estas es mucho más confiable, requiere menor intervención y los costos operativos a futuro son menores. En los siguientes ítems se muestran los aspectos por los cuales se determina que las redes compactas son mejores que su contraparte.
- La red compacta con cable cubierto es una excelente solución a los problemas que se presentan continuamente en el sistema convencional, tales como las salidas del servicio por contactos indeseados con ramas de árboles, aves y cometas, las constantes intervenciones a los tendidos eléctricos para reestablecer el suministro de energía, la seguridad y accidentalidad de los

operarios, la poda o tala de árboles, la capacidad de transporte, entre otras. Es por eso por lo que las empresas distribuidoras están implementando la tecnología compacta en sus redes eléctricas.

- El cable cubierto o semi aislado empleado en las redes compactas posee unas capas semi aislantes que permiten una cercanía entre las fases y a las ramas de los árboles sin que se presente corto circuito ocasionado por contactos no prolongados entre los conductores o con la vegetación.
- Las redes compactas son más seguras y requieren menores intervenciones por lo que económicamente se gasta menos en mantenimientos preventivos y correctivos, ambientalmente se considera un sistema ecológico ya que la poda se reduce en frecuencia y volumen respecto a las redes convencionales. Esta red tiene mayor capacidad de transporte que la convencional porque se pueden instalar múltiples circuitos en la misma estructura gracias a la disminución de las distancias de seguridad.
- Con todo lo dicho y analizando los costos de instalación de las redes compactas que, si bien son mayores, con el tiempo resulta más económico que el sistema convencional ya que se reducen los costos operativos, estas redes son una alternativa muy buena en cuanto a costos de instalación, operación y mantenimiento y en cuanto a los aspectos técnicos trabajados.
- Con la realización de este trabajo de grado se deja a la Universidad una metodología de diferenciación entre las redes aéreas de distribución en media tensión convencionales y las compactas, para la cual se muestran unos aspectos o criterios básicos de comparación tanto en la parte técnica como en la de costos. Este proyecto marca un precedente para la Universidad Industrial de Santander y para la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones ya que antes no se había trabajado el tema de las redes compactas y actualmente se está empleando significativamente por parte de los operadores de red para la distribución de la energía eléctrica.

## BIBLIOGRAFÍA

ARCE Cristián Hernán y VERGER Martín Rodrigo Evaluación técnica, económica y ambiental de la implementación de líneas aéreas de media tensión 13,2 kV compactas con espaciadores. Revista Ingeniería Eléctrica Número: 300 Mes: Julio Año: 2015 [en línea] disponible en: [https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/300/arce\\_verger\\_implementacion\\_de\\_lineas\\_aereas\\_media\\_tension](https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/300/arce_verger_implementacion_de_lineas_aereas_media_tension)

CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P. Estructuras 13.2 kV [en línea] disponible en: <https://www.cens.com.co/Portals/2/ESTRUCTURAS%2013.2%20KV%2016-01-2017.pdf>

CETELSA Boletín cables cubiertos [en línea] disponible en: [http://www.centelsa.com.co/archivos/BOLETIN\\_CABLES\\_CUBIERTOS.pdf](http://www.centelsa.com.co/archivos/BOLETIN_CABLES_CUBIERTOS.pdf)

CODENSA S. A. Generalidades 1.1 Normas de construcción redes aéreas urbanas de distribución [en línea] disponible en: [https://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/generalidades/lageneralidades\\_1\\_1\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas\\_urbanas](https://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/generalidades/lageneralidades_1_1_normas_construccion_redes_aereas_urbanas)

CODENSA S. A. Más seguridad en sus obras Guía práctica de seguridad. [en línea] disponible en: [http://www.cdnsafbapps.com/2014/empresas/guiaseguridad/Guia\\_Seguridad\\_en\\_Obra%20julio\\_2014\\_APRO\\_VF.PDF](http://www.cdnsafbapps.com/2014/empresas/guiaseguridad/Guia_Seguridad_en_Obra%20julio_2014_APRO_VF.PDF)

CODENSA S.A. Norma LA 450 Generalidades red compacta [en línea] disponible en:

[http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/red\\_compacta/la450\\_generalidades\\_red\\_compacta](http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/red_compacta/la450_generalidades_red_compacta)

CODENSA S.A. Red Compacta [en línea] disponible en:

[http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas\\_aereas\\_urbanas\\_distribucion/red\\_compacta](http://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/red_compacta)

COIDEASA Líneas Aéreas Compactas [en línea] disponible en:

<https://coideasa.com/producto/linea-area-compacta/lineas-aereas-compactas>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS CREG Estudio para la determinación de unidades constructivas del STN, STR y SDL revisión unidades constructivas líneas del STN, STR y SDL documento IEB-560-13-03 [en línea] disponible en:

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/1aac1f3ebdf5b5b05257cfd006ac84a/\\$FILE/Circular038-2014%20Anexo4.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/1aac1f3ebdf5b5b05257cfd006ac84a/$FILE/Circular038-2014%20Anexo4.pdf)

COMPAÑÍA ENERGÉTICA DEL TOLIMA S.A. ESP ENERTOLIMA. Criterios de diseño y normas para construcción de instalaciones de distribución y uso final de la energía [en línea] disponible en:

[http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/norma\\_tecnica\\_2018/CAPITULO4/IMPLEMENTACION\\_DE\\_NUEVAS%20TECNOLOGIAS.pdf](http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/norma_tecnica_2018/CAPITULO4/IMPLEMENTACION_DE_NUEVAS%20TECNOLOGIAS.pdf)

COMPAÑÍA ENERGÉTICA DEL TOLIMA S.A. ESP ENERTOLIMA. Normas construcción de redes aéreas [en línea] disponible en:

[http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5\\_normas\\_construccion\\_redes\\_aereas.pdf](http://www.enertolima.com/images/contenido/clientes/pdfs/capitulo5_normas_construccion_redes_aereas.pdf)

EDITORES SRL Tendido de líneas | Línea Compacta, de PLP [en línea] disponible en: [https://editores-srl.com.ar/revistas/ie/316/plp\\_linea\\_compacta](https://editores-srl.com.ar/revistas/ie/316/plp_linea_compacta)

ELECTRA MERCEDES Accesorios para redes compactas de MT [en línea] disponible en: [http://www.electramercedes.com.ar/5\\_05001-05006.pdf](http://www.electramercedes.com.ar/5_05001-05006.pdf)

ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS AND HEALTH EMFS Voltage [en línea] disponible en: <http://www.emfs.info/sources/overhead/factors/voltage/>

ELECTRICAL ENGINEERING PORTAL Calculation of electro magnetic field (EMF) around T&D overhead lines Electro magnetic field (EMF) [en línea] disponible en: <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-ms-excel-spreadsheets/emf-td-overhead-lines>

ELECTRICAL-ENGINEERING-PORTAL Calculation of electro magnetic field (EMF) around T&D overhead lines Electro magnetic field (EMF) [en línea] disponible en: <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-ms-excel-spreadsheets/emf-td-overhead-lines>

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER ESSA Normas para calculo y diseño de sistemas de distribución [en línea] disponible en: <https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

EMPRESA PROVISIONAL DE ENERGÍA DE CÓRDOBA ET 1002/2 Línea aéreas con cable protegido – no aislado de media tensión 13.2 y 33 kV en disposición compacta [en línea] disponible en: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/normasT/ET1002-2Ed2016.PDF>

GROSSO Omar José Transmisión y distribución de la energía eléctrica Línea eléctrica de distribución en media tensión - tipo compacta protegida - urbana / rural [en línea] disponible en: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/le-gro/compacta.htm>

GRUPO EPM Especificación técnica espaciadores para red compacta [en línea] disponible en: [https://www.cens.com.co/Portals/2/Documentos/Norma\\_Actualizada/ET-TD-ME26-03%20ESPACIADORES%20RED%20COMPACTA.pdf](https://www.cens.com.co/Portals/2/Documentos/Norma_Actualizada/ET-TD-ME26-03%20ESPACIADORES%20RED%20COMPACTA.pdf)

J DE ELECTRICOS Productos eléctricos en Colombia [en línea] disponible en: <http://jdelectricos.com.co/productos-electricos-en-colombia/>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea] disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Resolución 015 (enero 29 de 2018) Por medio de la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional [en línea] disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aa1d57726a90525822900064dac/\\$FILE/Creg015-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aa1d57726a90525822900064dac/$FILE/Creg015-2018.pdf)

PLP BRASIL Energía | Distribución [en línea] disponible en: Catálogo de Productos <https://www.relsamex.com/wp-content/uploads/2016/02/16-CATALOGO-PLP.pdf>

PLP BRASIL Línea compacta [en línea] disponible en:  
<http://plp.com.br/es/distribucion/linea-compacta/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE Uso de líneas de distribución en configuración multitensión y/o multicircuito para conectar energías renovables [en línea] disponible en:  
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/multi/informe%20pagina%20mercados.htm>

PROCABLES Cable cubierto para sistemas de distribución de red aérea Usos correctos de cables flexibles Infocables Número 15 octubre 2010 Bogotá - Colombia [en línea] disponible en:  
[http://www.procables.com.co/downloads/infocables\\_edicion\\_15.pdf](http://www.procables.com.co/downloads/infocables_edicion_15.pdf)

RAMIREZ CASTAÑO Samuel Redes de Distribución de Energía [en línea] disponible en: [http://bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7\\_Parte1.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7_Parte1.pdf)

VÉLEZ MAYA Juan Camilo Tesis especialización Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana 2015 [en línea] disponible en:  
[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2447/Tesis%20especializaci%C3%B3n%20TYD\\_Juan%20Camilo%20V%C3%A9lez%20Maya\\_Julio%20de%202015\\_Versi%C3%B3n%20Final.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2447/Tesis%20especializaci%C3%B3n%20TYD_Juan%20Camilo%20V%C3%A9lez%20Maya_Julio%20de%202015_Versi%C3%B3n%20Final.pdf?sequence=1)