



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
VICERRECTORIA ACADEMICA
SISTEMAS DE BIBLIOTECAS
2017

**Utilización de estructuras compactas en líneas de transmisión a 110 kV en el
Valle de Aburrá**

Autor:

Wbier Fernando Ciro Gómez

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica

Medellín

2017

2017

**Utilización de estructuras compactas en líneas de transmisión a 110 kV en el
Valle de Aburrá**

Autor:

Wbier Fernando Ciro Gómez

**Trabajo de grado para optar al título de especialista en Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía
Eléctrica**

Asesor:

Germán Ortiz Ladino

Ingeniero electricista

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería

**Especialización en Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía
Eléctrica**

Medellín

2017

2017

23 de octubre de 2017

Wbier Fernando Ciro Gómez

Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra Universidad” Art 85 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Fernando Ciro

Firma

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMÉN	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO	5
1.1. ANTECEDENTES	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO	6
1.5.1. RAÍCES PRINCIPALES – TÉCNICAS	6
1.5.2. RAÍCES PRINCIPALES – SOCIAL	6
1.5.3. RAÍCES PRINCIPALES – REGULACIÓN	7
1.5.4. RAÍZ SECUNDARIA – SOCIAL	7
1.5.5. RAÍZ SECUNDARIA – REGULATORIA	7
1.5.6. ELEMENTOS PRIMARIOS	7
1.5.7. ELEMENTOS SECUNDARIOS	7
1.5.8. PERCEPTORES DIRECTOS	7
1.5.9. PERCEPTORES INDIRECTOS	8
1.5.10. PROBLEMA	8
1.5.11. PROPUESTA INVESTIGATIVA	8
1.3. ESTADO DEL ARTE	8
1.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	10
1.4.1. ELEMENTOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	11
1.4.2. CONDUCTORES	12
1.4.3. AISLADORES	12
1.4.4. ESTRUCTURAS DE SOPORTES	12
1.4.5. ZONA DE SERVIDUMBRE O ZONA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA	13
1.4.6. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD	16
1.5. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COMPACTAS	19
1.5.1. TIPOS DE LAS ESTRUCTURAS DE LÍNEAS COMPACTAS	19
1.5.2. COMPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE LÍNEAS COMPACTAS CON LAS ESTRUCTURAS CONVENCIONALES	20
1.5.3. LONGITUD DE LOS VANOS DE ACUERDO A LA UTILIZACIÓN DE LÍNEAS COMPACTAS	22
1.6. VIGILANCIA TECNOLÓGICA	23
1.7. CASOS DE ÉXITO	28
CAPÍTULO 2. UTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS COMPACTAS EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 110 KV	36
2.1 INVASIÓN A LA SERVIDUMBRE DE LA LÍNEA ZAMORA-HORIZONTE Y OCCIDENTE-ZAMORA	36
2.2 SIMULACIÓN EN PLS CADD	41
2.2.1 Descripción de la línea de transmisión en estudio	41
2.2.2 Criterios de diseño	42
2.2.2.1 Distancias mínimas de seguridad	42
2.2.2.2 Parámetros meteorológicos	43
2.2.2.3 Campo eléctrico y magnético	45

CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	47
3.1 ESTUDIO DE BALANCEO CON LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES.....	47
3.2 ESTUDIO DE BALANCEO CON LAS ESTRUCTURAS COMPACTAS.....	54
3.2.1 Alternativa 1- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 4 metros	54
3.2.2 Alternativa 2- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 3 metros	57
3.2.3 Alternativa 3- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 4 metros e instalación de un apoyo adicional.....	59
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de servidumbre en la línea de transmisión	6
Figura 2. Ancho de Servidumbre	15
Figura 3. Zona de servidumbre en la línea de transmisión	15
Figura 4. Distancias “d” y “d1” en cruce y recorridos de vías	17
Figura 5. Distancia “e” en cruces con ferrocarriles sin electrificar	17
Figura 6. Distancia “f” y “g” para cruces con ferrocarriles y ríos.....	17
Figura 7. Evolución del número de publicaciones	24
Figura 8. Palabras Clave líneas de transmisión compactas	24
Figura 9. Top 10 autores	25
Figura 10. Red de cooperación profesor Aleksandrov	26
Figura 11. Evolución de citaciones a Aleksandrov	26
Figura 12. Top 20 Instituciones.....	27
Figura 13. Evolución publicaciones por país	28
Figura 14. Países con publicaciones	28
Figura 15. Esquema del aislamiento	30
Figura 16. Esquema del brazo aislado.....	32
Figura 17. Esquema del cruce de la línea de transmisión	36
Figura 18. Trazado del tramo de línea	42
Figura 11. Temperatura de plantillado	44
Figura 20. Campo Magnético.....	46
Figura 21. Campo eléctrico.....	46
Figura 22. Medidas de las torres convencionales	47
Figura 23. Perfil del tramo de la línea	48
Figura 24. Vista 3D del tramo de la línea	49
Figura 25. Balanceo de los conductores en la torre	50
Figura 26. Balanceo de los conductores en el vano.....	51
Figura 27. Máximo Balanceo de los conductores en el vano.....	53
Figura 28. Franja de servidumbre debido al balanceo	54
Figura 29. Perfil del tramo de la línea con estructura compacta	55
Figura 30. Máximo Balanceo de los conductores en el vano.....	56
Figura 31. Franja de servidumbre debido al balanceo	57
Figura 32. Franja de servidumbre debido al balanceo	58
Figura 33. Perfil del tramo de la línea con estructura compacta adicionando una estructura	59
Figura 34. Franja de servidumbre debido al balanceo	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones	17
Tabla 2. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones [1]	19
Tabla 3. Inventario de viviendas invadiendo la servidumbre de la línea entre el vano de la torre No. 6 y torre No. 7	37
Tabla 4. Características de las estructuras	42
Tabla 5. Distancias mínimas de seguridad para 110 kV [1]	43
Tabla 6. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones [1]	43
Tabla 7. Parámetros meteorológicos.....	44
Tabla 8. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos [1]	45
Tabla 9. Balanceo en los conductores de fase	51
Tabla 10. Balanceo en los conductores de fase	55
Tabla 11. Balanceo en los conductores de fase-Alternativa 3	59

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Líneas de transmisión sobre los barrios	10
Fotografía 2. Elementos de una línea de transmisión	11
Fotografía 3. Estructuras compactas	20
Fotografía 4. Comparación entre estructuras convencionales y estructuras compactas- circuito sencillo....	21
Fotografía 5. Comparación entre estructuras convencionales y estructuras compactas-doble circuito	22
Fotografía 6. Brazo aislado	33
Fotografía 7. Estructura compacta	35
Fotografía 8. Torres del caso en estudio	40
Fotografía 9. Línea sobre la calle.....	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Comparación del RETIE del año 2013 con su próxima modificación
---------	--

GLOSARIO

- **Aisladores:** Piezas de material aislante utilizadas para soportar los conductores eléctricos de las líneas eléctricas de transmisión y distribución. Fabricados normalmente den vidrio, porcelana y poliméricos.
- **Cable de guarda:** Cables sin tensión dispuestos en la parte superior de las redes de alta tensión y que se conectan a la estructura metálica en cada torre y que sirven para: generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea y apantalla o captar las descargas atmosféricas que pueden caer en la línea.
- **Área Metropolitana:** Territorio que comprende los términos municipales de una gran ciudad y de un conjunto de poblaciones de su alrededor, en el que se desarrollan acciones de planificación conjunta.
- **AT:** Alta tensión
- **Cable de guarda:** Cables sin tensión dispuestos en la parte superior de las líneas de alta tensión y que se conectan a la estructura metálica en cada torre y que sirven para generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea y servir como apantallamiento o captar las descargas atmosféricas que pueden sobre la línea.
- **Campos Electromagnéticos:** Campo físico de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afectan a partículas con carga eléctrica.
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- **kV:** Kilo Voltios.
- **Líneas de Transmisión:** Son el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo.
- **MANTENIMIENTO:** Conservación de un activo en buen estado para evitar su degradación.
- **Perfil Topográfico:** Representación lineal y gráfica del relieve de un terreno a partir de dos ejes, que permite establecer las diferencias altitudinales que se presentan a lo largo de un recorrido.
- **Plantillado:** Localización geoespacial de las estructuras que conforman una línea de

transmisión a lo largo de una ruta y en un perfil topográfico, en base a unos criterios preestablecidos.

- **PLS-CADD:** Del Inglés, Power Line Systems - Computer Aided Design and Drafting.
- **RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
- **Servidumbre (derecho):** Es la denominación de un tipo de derecho real que limita el dominio de un predio denominado fundo sirviente en favor de las necesidades de otro llamado fundo dominante perteneciente a otra persona.
- **Topografía Convencional:** Representación gráfica o numéricamente de un terreno con todos sus detalles realizada directamente en sitio y por medio de métodos convencionales.
- **Torre energía:** Una torre eléctrica o apoyo es una estructura de gran altura, normalmente construida en celosía de acero, cuya función principal es servir de soporte de los conductores eléctricos aéreos de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

RESUMÉN

A raíz del crecimiento desbordando de las ciudades donde se ha reducido el espacio drásticamente de los corredores por donde las empresas de servicios públicos tienen para la construcción de su infraestructura necesaria para la prestación de los servicios, es necesario buscar diferentes alternativas para su construcción garantizando la seguridad de las personas del entorno y donde se minimice su impacto. Por lo anterior es que las grandes ciudades han puesto su mirada en la alternativa de construcción de líneas de transmisión con estructuras compactas y han desarrollado grandes avances para su implementación, donde su función principal es reducir la distancia entre los conductores de fases en comparación con las estructuras tradicionales donde dicha distancia se puede reducir hasta un 60 %. Al buscar la reducción de la distancia entre las fases, una línea de transmisión compacta tiene la ventaja que se puede construir en un derecho de paso más reducido que si se construye una línea tradicional por lo que en ocasiones se confunde con circuitos en niveles de tensión denominados de distribución.

En Colombia, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE reglamenta su utilización y da parámetros que se deben de tener en cuenta a la hora de realizar un diseño buscando reducir el ancho de servidumbre ya establecido en el literal h del artículo 22.2 Zonas de servidumbre. Una de las condiciones que se debe de cumplir es realizar el estudio de balanceo y garantizar que ante el desplazamiento máximo horizontal del conductor energizado no se sobrepase la distancia mínima de seguridad de 3,5 m para 57,5 kV, 4 m para 115 kV, 6 m para 230 kV y 8,6 m para 500 kV.

INTRODUCCIÓN

En las etapas de construcción de las líneas de transmisión que ingresan a las diferentes subestaciones que se encuentran dentro de los municipios del Valle de Aburrá, se buscaba construirla por fuera de las zonas pobladas o bordeando la ciudad con el fin de cumplir las distancias mínimas de seguridad a construcciones, pero debido al crecimiento desordenado, desbordado y continuo de los diferentes municipios ciudad y la falta de control de los entes territoriales y de los dueños de la infraestructura eléctrica, la mayoría de las líneas de transmisión se encuentran inmersas dentro de barrios incumpliendo las normas mínimas de seguridad y generando un riesgo alto para la vida de la comunidad aledaña a la línea.

Esta situación es complicada ya que las viviendas que están invadiendo la servidumbre, generalmente cuentan con títulos de propiedad y con los servicios públicos legalizados.

La zona de servidumbre o zona de seguridad eléctrica de una línea de transmisión, es una franja de terreno que se deja a lo largo de la línea para garantizar que bajo ninguna circunstancia se presenten accidentes con personas o animales. En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, artículo 22.2 Zonas de servidumbre de las líneas de transmisión se especifica las características que se debe cumplir dentro de estas. Esto aplica tanto para líneas de transmisión nuevas como para construcciones nuevas.

La problemática de las invasiones a la servidumbre de las líneas de transmisión desborda la capacidad de tomar acciones de restitución de las empresas dueñas de las líneas de transmisión, puesto que en el área metropolitana hay barrios enteros debajo de las líneas donde también influye el orden público de dichas zonas. Por lo anterior, es necesario implementar otras alternativas de solución, en este caso, el caso de estudio es la reducción del ancho de servidumbre en dichas zonas en las líneas de transmisión con el nivel de tensión de 110 kV mediante la utilización de líneas compactas con el fin de cumplir con las distancias mínimas de seguridad del conductor energizado a las edificaciones.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO

1.1. ANTECEDENTES

- ✓ Broschat y Clayton en 1981, demostraron que la conversión de un circuito de 41,6 kV a 115kV haciendo uso de la configuración compacta permitía un ahorro sustancial, empleándose únicamente 1/3 del costo total de una nueva línea de 115 kV. [5]
- ✓ En Rusia en el año de 1985, Malkin mostro que para voltaje de 35-220 kV puede emplearse con mayor fundamento económico la línea compacta con fases plana. (5)
- ✓ En 1991/1992 se desarrollaron proyectos de las primeras líneas compactas de 400 kV en Sudáfrica, interconectándose de manera exitosa con líneas de transmisión convencionales de países cercanos. [5]
- ✓ En el artículo 22.2 Ancho de servidumbre del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE Resolución N° 90708 de 2013, regula en las literales i y j el uso de estructuras compactas para líneas de transmisión. [1]
- ✓ En algunos tramos de las líneas de transmisión dentro del área metropolitana del Valle de Aburrá se utiliza líneas compactas por la restricción de espacio.
- ✓ Actualmente en Colombia hay proveedores que suministran Postes en fibra de vidrio para ser utilizados en líneas de transmisión.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO

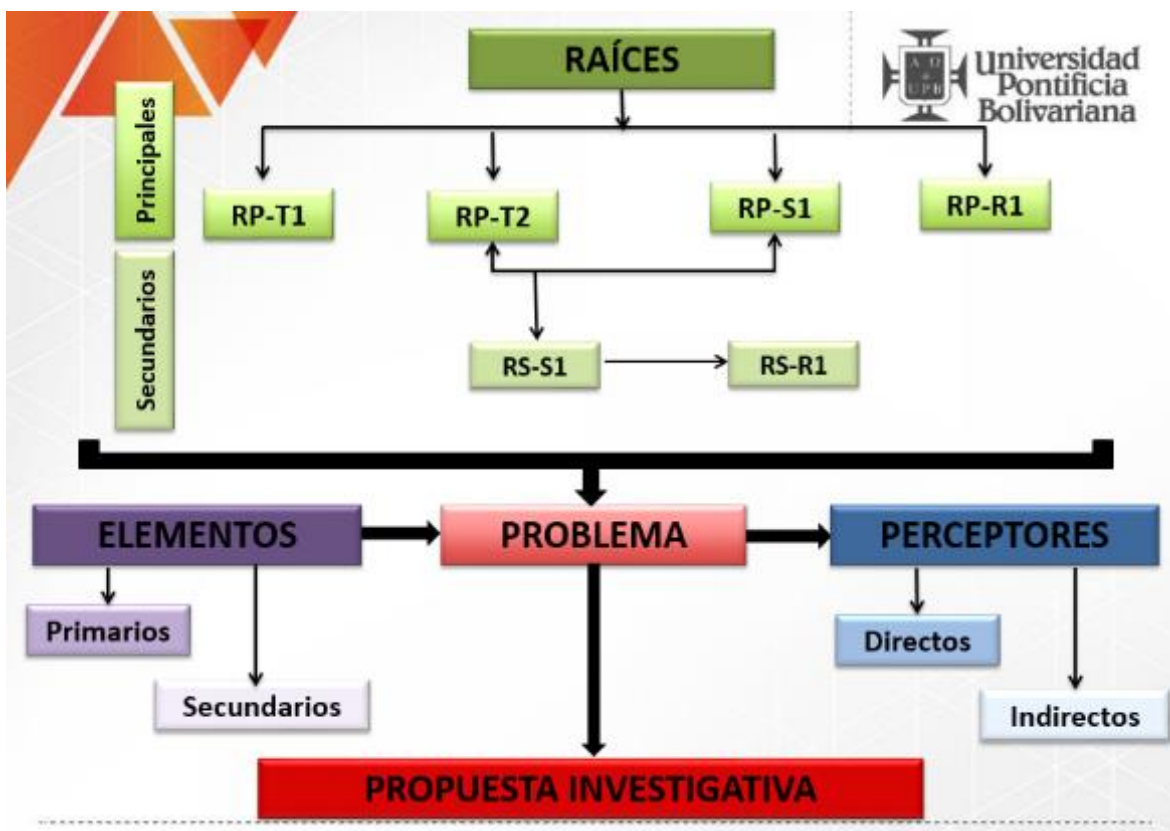


Figura 1. Zona de servidumbre en la línea de transmisión

1.5.1. Raíces Principales – Técnicas

- **RP-T1:** Falta de criterios técnicos para incursionar en las nuevas tecnologías de estructuras compactas para líneas de transmisión a 110.000 voltios.
- **RP-T2:** Las viviendas que se encuentran violando las distancias mínimas de seguridad a un conductor energizado de 110 kV cuentan con servicios públicos legalmente constituidos

1.5.2. Raíces Principales – Social

- **RP-S1:** Las viviendas se encuentran violando las distancias mínimas de seguridad a un conductor energizado de 110 kV exigidas por el RETIE.

1.5.3. Raíces Principales – Regulación

- **RP-R1:** Los entes municipales no regulan el cumplimiento estricto de la ley, puesto que no hacen un control eficaz de la construcción de viviendas en zonas de servidumbre de líneas de transmisión.

1.5.4. Raíz Secundaria – Social

- **RS-S1:** Las viviendas se encuentran invadiendo la zona de servidumbre o zona de seguridad de una línea de transmisión de 110 kV exigidas por el RETIE.

1.5.5. Raíz Secundaria – Regulatoria

- **RS-R1:** En Colombia el RETIE entró en vigencia en el año 2005 y no es de carácter retroactivo, por lo que por la expedición del RETIE, no se ampliaron o extendieron de manera automática las servidumbres ya existentes, razón por la cual no opera per se, un reconocimiento al particular, ni nace para los operadores de RED una obligación de adecuar todas y cada una de las servidumbres constituidas con anterioridad al reglamento.

1.5.6. Elementos Primarios

- Sistemas modernos de transmisión
- Análisis dinámicos en sistemas de potencia
- Tópicos especiales de T&D
- Seminario de Investigación

1.5.7. Elementos Secundarios

- Microsoft Excel
- Paquetes de software PLS CADD

1.5.8. Perceptores Directos

- Empresas dueñas de líneas de transmisión

- La población cerca de las líneas de transmisión
- CREG
- UPME
- Superintendencia de Servicios Públicos

1.5.9. Perceptores Indirectos

- UPB
- Grupo de Investigación de T. y D.

1.5.10. Problema

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá debido al crecimiento desordenado y continuo de los municipios, las líneas de transmisión existentes se encuentran inmersas incumpliendo las distancias mínimas de seguridad y generando un riesgo alto para la vida de la comunidad aledaña a la línea.

1.5.11. Propuesta Investigativa

Determinar las diferentes alternativas de solución aplicando la tecnología de estructuras compactas para el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad y designación del nuevo ancho de la servidumbre entre el vano de las torres No. 6 y torre No. 7 de la línea Zamora – Horizonte y Occidente-Zamora a 110.000 V en la zona urbana del municipio de Bello.

1.3. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de transmisión son elementos básicos de la infraestructura eléctrica que buscan transportar la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo y/o subestaciones de interconexión. Por el aumento de la demanda de la energía Eléctrica en los grandes centros de consumo, se busca mejorar con criterios de eficiencia y eficacia el transporte de energía eléctrica donde se puede incrementar la capacidad de transmisión implementado nuevas técnicas como la compensación, la

construcción de circuitos paralelos, el cambio del conductor de la línea, como puede ser incrementando su calibre o la utilización de conductores de alta temperatura y el incremento del voltaje nominal.

La alternativa de menor costo para el transporte de la energía desde los centros de generación es la utilización de líneas aéreas, donde los conductores se soportan con estructuras cumpliendo con las distancias mínimas de seguridad al entorno.

Para resolver el problema de espacio para ingresar a las ciudades una técnica que no se ha desarrollado significativamente en Colombia, es la utilización de estructuras compactas para la transmisión de energía, donde al implementarse en comparación con las estructuras tradicionales (estructuras piramidales metálicas) es la reducción de la distancia entre los conductores de la línea, la distancia de los conductores a tierra y la reducción del ancho de servidumbre o zona de seguridad. Adicionalmente al ser estructuras compactas, se reduce las dimensiones de las estructuras de soporte por lo que el impacto visual negativo disminuye y también se tiene la posibilidad de aplicar diseños arquitectónicos amigables con el paisajismo.

En el área Metropolitana de Valle de Aburrá debido al crecimiento desbordado, desorganizado y por falta de control de las viviendas cercanas a las líneas de transmisión a 110 kV soportadas con estructuras convencionales de gran tamaño incumpliendo las distancias mínimas de seguridad exigidas por el RETIE, tal como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía 1. Líneas de transmisión sobre los barrios

Fuente Propia

De acuerdo a la anterior foto, las casas están a 4,3 metros en estado estable de los conductores energizados, la distancia se puede reducir drásticamente si ocurre el balanceo o pénduleo por el efecto del viento de los conductores energizados generando una condición inadecuada para la seguridad de las personas que habitan las viviendas. Si se emplea la nueva tecnología de estructuras compactas se puede reducir hasta en un 50% la distancia de 7 metros que hay entre conductores de cada circuito con las estructuras convencionales alejándolos hasta cerca de 8 metros de las viviendas.

1.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

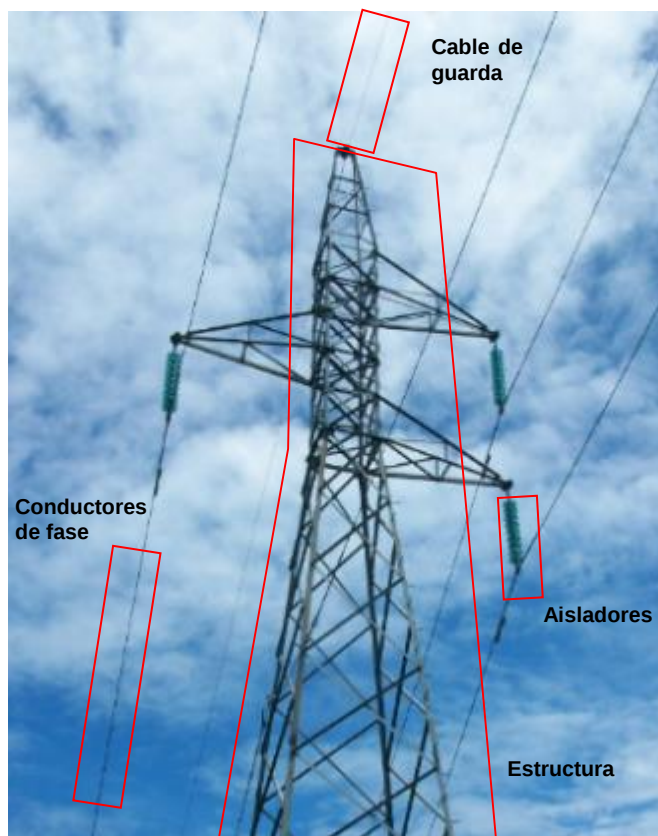
Las líneas de transmisión lo componen una serie de elementos cuya función principal es transportar la energía eléctrica producida en las centrales de generación y llevarlas a los grandes centros de consumo o subestaciones de distribución. Para la transmisión de la energía eléctrica es necesario realizarlo buscando el mínimo de pérdidas de energía por lo

que se eleva la tensión, ya que al tener una alta tensión se tiene menos corriente para finalmente existan menores pérdidas en el conductor, ya que la resistencia varía con respecto a la longitud, y como estas líneas de transmisión generalmente son demasiado largas las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes. [4]

1.4.1. Elementos de una línea de transmisión

Una línea de transmisión está constituida básicamente por tres (3) elementos:

- Conductores.
- Aisladores.
- Soportes.
- Zona de servidumbre o zona de seguridad eléctrica. (5)



Fotografía 2. Elementos de una línea de transmisión
Fuente Propia

1.4.2. Conductores

Los conductores de fases son generalmente un cuerpo o un medio adecuado, utilizado como portador de corriente eléctrica. El material que compone a un conductor eléctrico es cualquier sustancia que tenga la propiedad de conducir una corriente eléctrica cuando este elemento se le inyecta una diferencia de potencial entre sus extremos, dicha propiedad se llama conductividad, y las sustancias con mayor conductividad son los metales, los cuales los normalmente utilizados en orden de conductividad: cobre, aluminio, aleaciones de cobre, hierro, acero. [5]

1.4.3. Aisladores

Los aisladores en las líneas de transmisión de alta tensión tienen como función principal sujetar a los conductores energizados, de manera que estos no se muevan en sentido longitudinal o transversal y con la propiedad que deben evitar la derivación de la corriente de la línea hacia tierra, ya que una cadena de aislamiento defectuoso genera fallas en la línea. [5]

1.4.4. Estructuras de soportes

La función principal de los soportes es mantener los conductores energizados alejados entre sí y con el suelo, para evitar arcos entre conductores o problemas de descargas debajo y al lado de los mismos. La estructura de soportes es muy variada, los cuales pueden ser metálicos, concreto o madera, y su selección depende de un análisis económico.

Las estructuras de soportes pueden ser básicamente de dos tipos, tipo postes o tipo torres y su escogencia del tipo a utilizar depende del diseño de la línea de transmisión y su configuración específica entre los que se pueden mencionar:

- Por factores económicos.
- Materiales a utilizar.
- Ancho de servidumbre, la compra de predios para el derecho de paso de la línea de transmisión.
- Facilidad de acceso y montajes, topografía.

- Condiciones climáticas.
- Estéticas. [4]

1.4.5. Zona de servidumbre o zona de seguridad eléctrica

La zona de servidumbre o zona de seguridad eléctrica de una línea de transmisión, es una franja de terreno que se deja a lo largo de la línea para garantizar que bajo ninguna circunstancia se presenten accidentes con personas o animales. [1]

En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, artículo 22.2 Zonas de servidumbre de las líneas de transmisión se especifica las características que se debe cumplir dentro de estas. Esto aplica tanto para líneas de transmisión nuevas como para construcciones nuevas. [1]

De acuerdo al artículo **22.2 Zonas de servidumbre**, dentro de las zonas de servidumbre debe ceñirse a las siguientes consideraciones:

- a. Toda línea de transmisión aérea con tensión nominal igual o mayor a 57,5 kV, zona de seguridad o derecho de vía. Esta zona debe estar definida antes de la construcción de la línea, para lo cual se deben adelantar las gestiones para la constitución de la servidumbre, ya sea por mutuo acuerdo con los propietarios del terreno o por vía judicial. El propietario u operador de la línea debe hacer uso periódico de la servidumbre ya sea con el mantenimiento de la línea o poda de la vegetación y debe dejar evidencia de ello. En los casos que la servidumbre se vea amenazada, en particular con la construcción de edificaciones, debe solicitar el amparo policivo y demás figuras que tratan las leyes. [1]
- b. Dentro de la zona de servidumbre se debe impedir la siembra o crecimiento natural de árboles o arbustos que con el transcurrir del tiempo comprometan la distancia de seguridad y se constituyan en un peligro para las personas o afecten la confiabilidad de la línea. [1]
- c. No se deben construir edificios, edificaciones, viviendas, casetas o cualquier tipo de estructuras para albergar personas o animales. Tampoco se debe permitir alta concentración de personas en estas áreas de servidumbre, o la presencia

permanente de trabajadores o personas a la actividad eléctrica de la línea, ni el uso permanente de estos espacios como lugares de parqueo, o reparación de vehículos o para el desarrollo de actividades comerciales o recreacionales. Las oficinas de planeación municipal y las curadurías deben abstenerse de otorgar licencias o permisos de construcción en dichas áreas y los municipios atender su responsabilidad en cuanto al control del uso del suelo y el espacio público de conformidad con la Ley. [1]

- d. En los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) se debe respetar las limitaciones en el uso del suelo por la infraestructura eléctrica existente. Igualmente, los POT deben tener en cuenta los planes de expansión para poder garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica. [1]
- e. En los casos en que los Planes de Ordenamiento Territorial no permitan la construcción de una línea aérea en la zona urbana o las afectaciones por campos electromagnéticos o distancias de seguridad, superen los valores establecidos en el presente reglamento, la línea debe ser subterránea, teniendo en cuenta los espacios adecuados para la operación y el mantenimiento. [1]
- f. El Operador de Red debe negar la conexión a la red de distribución local, a una instalación que invada la zona de servidumbre, por el riesgo que representa para la vida de las personas. [1]
- g. En la zona de servidumbre a un metro de altura del piso los campos electromagnéticos no deben superar los valores establecidos en el artículo 14º del presente Anexo General, para exposición ocupacional. En los alrededores de las áreas de servidumbre los valores a considerar serán los de exposición del público en general y si se tienen edificaciones deben medirse a un metro de altura del piso donde permanezcan las personas. [1]
- h. Para efectos del presente reglamento y de acuerdo con las tensiones normalizadas en el país, en la siguiente figura se fijan los valores mínimos requeridos en el ancho de la zona de servidumbre, cuyo centro es el eje de la línea. [1]

TIPO DE ESTRUCTURA	TENSIÓN (kV)	ANCHO MÍNIMO (m)
Torres	500	60
Torres	220/230 (2 Ctos.)	32
	220/230 (1 Cto)	30
Postes	220/230 (2 ctos)	30
	220/230 (1 cto)	28
Torres	110/115 (2 ctos)	20
	110/115 (1 cto)	20
Postes	110/115 (2 ctos)	15
	110/115 (1 cto)	15
Torres/postes	57,5/66	15

Tabla 22.1 Ancho de la zona de servidumbre de líneas de transmisión [m]

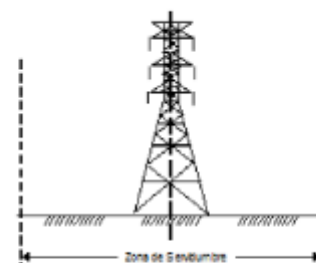


Figura 22.1. Ancho de la zona de servidumbre

Figura 2. Ancho de Servidumbre

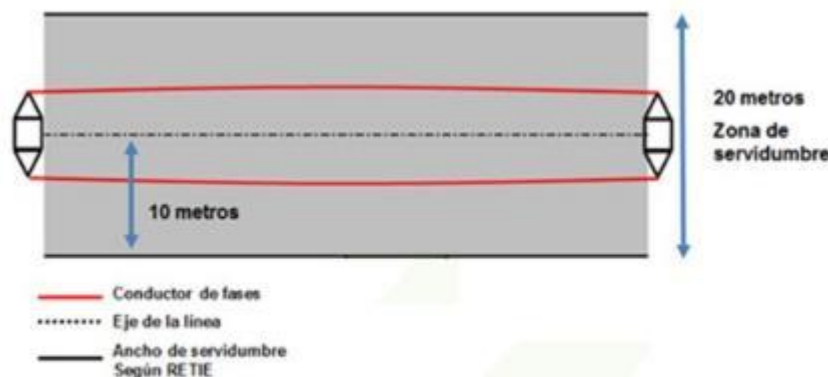


Figura 3. Zona de servidumbre en la línea de transmisión

- i. Servidumbre en líneas compactas: El ancho mínimo de la servidumbre en los tramos compactos de una línea nueva, se determinará como la distancia entre los puntos a ambos lados de la línea a partir de los cuales a un metro de altura del suelo o el piso donde se tenga presencia humana, el campo eléctrico y el campo magnético no superan los valores establecidos en el artículo 14º del presente Anexo General, para exposición del público en general, incluyendo las condiciones más críticas de temperatura, vientos o fuerzas electromagnéticas a que puedan estar sujetos los conductores en la línea de transmisión. Dicha servidumbre nunca podrá ser menor que la que resulte de considerar las distancias de seguridad establecidas en el literal

“j” del presente numeral. [1]

- j. Para líneas de transmisión con tensión nominal menor o igual a 500 kV que crucen zonas urbanas o áreas industriales y para las cuales las construcciones existentes imposibilitan dejar el ancho de la zona de servidumbre establecido en la tabla 22.1, se acepta construir la línea aérea, bajo los siguientes requisitos: a) que el Plan de Ordenamiento Territorial existente en el momento de la planeación del proyecto así lo permita, b) Que un estudio de aislamiento del caso en particular, demuestre que no hay riesgos para las personas o bienes que se encuentran en las edificación, c) que en la edificación los valores de campos electromagnéticos para público en general no sean superados, d) que los valores de radiointerferencia ni ruido acústico supere los valores establecidos por las autoridad competente, e) que se asegure cumplir distancias de seguridad horizontales de por lo menos 3,5 m para 57,5 kV, 4 m para 115 kV, 6 m para 230 kV y 8,6 m para 500 kV, teniendo en cuenta los máximos movimientos de acercamiento a la edificación que pueda tener el conductor, estas distancias se deben medir entre la proyección vertical más saliente del conductor y el punto más cercano de la edificación. [1]

Para estos casos se recomienda el uso de líneas compactas y podrá utilizar corredores de líneas de otras tensiones, montando varias líneas en la misma estructura ya sea torre o poste. En ningún caso la línea podrá ser construida sobre edificaciones o campos deportivos que tengan asociado algún tipo de construcción. [1]

1.4.6. Distancias mínimas de seguridad

En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, artículo 13.2 Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones se especifica las diferentes distancias mínimas de seguridad que se debe cumplir de acuerdo al nivel de tensión, para el caso de estudio, aplica las distancias para el nivel de tensión de 110 kV.

En la figura 2, figura 3, figura 4 y en la tabla 1 se muestran las distancias mínimas de seguridad exigidas por el RETIE de acuerdo al nivel de tensión. [1]

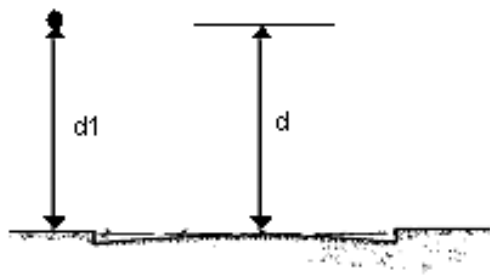


Figura 4. Distancias “d” y “d1” en cruces y recorridos de vías

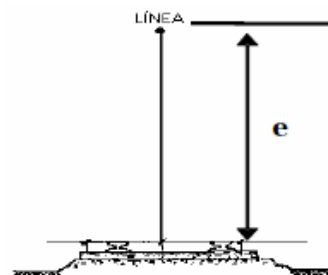


Figura 5. Distancia “e” en cruces con ferrocarriles sin electrificar

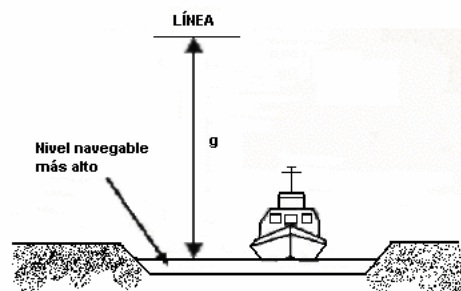
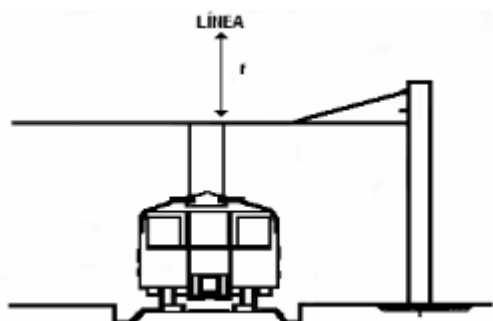


Figura 6. Distancia “f” y “g” para cruces con ferrocarriles y ríos

Tabla 1. Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo “d” en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura A1).	500	11,5
	230/220	8,5
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5
Cruce de líneas aéreas de baja tensión en grandes avenidas.	<1	5,6
Distancia mínima al suelo “d1” desde líneas que recorren avenidas, carreteras y calles (Figura A1)	500	11,5
	230/220	8,0
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5
	500	8,6
	230/220	6,8
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo “d” en bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se respete los requisitos propios de zonas de servidumbre en lo que se refiere a la máxima altura que pueden alcanzar la copa de los arbustos o huertos allí plantados.	<1	5
Distancia mínima al suelo “e” en cruces con ferrocarriles sin electrificar o funiculares. (Figura A2)	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	8,6
	66/57,5	8,3
	44/34,5/33	8,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	8,1
	<1	7,5
Distancia vertical “f” en cruce con ferrocarriles electrificados, teleféricos, tranvías y trole-buses (Figura A2)	500	4,8
	230/220	3
	115/110	2,3
	66/57,5	2
	44/34,5/33	1,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	1,8
	<1	1,2
Distancia vertical “g” en cruce con ríos, canales navegables o flotantes adecuados para embarcaciones con altura superior a 2 m y menor de 7 m. (Figura A3)	500	12,9
	230/220	11,3
	115/110	10,6
	66/57,5	10,4
	44/34,5/33	10,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	10,2
	<1	9,6
Distancia vertical “g” en cruce con ríos, canales navegables o flotantes, no adecuadas para embarcaciones con altura mayor a 2 m. (Figura A3)	500	7,9
	230/220	6,3
	115/110	5,6
	66/57,5	5,4
	44/34,5/33	5,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,2
	<1	4,6
Distancia vertical al piso en cruce por campos deportivos abiertos.	500	14,6
	230/220	12,8
	115/110	12
	66/57,5	12
	44/34,5/33	12
	13,8/13,2/11,4/7,6	12
	<1	12
Distancia horizontal en cruce por campos deportivos abiertos.	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	7
	66/57,5	7
	44/34,5/33	7
	13,8/13,2/11,4/7,6	7
	<1	7

En la tabla 2 se muestran las distancias de seguridad mínimas verticales en cruces de líneas. [1]

Tabla 2. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones [1]

		Distancias en metros								
Tensión nominal (kV) entre fases de la línea superior	500	4,8	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,6	5,3	7,1
	230/220	3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,9	3,6	
	115/110	2,3	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9		
	66	2	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5			
	57,5	1,9	1,3	1,3	1,3	1,4				
	44/34,5/33	1,8	1,2	1,2	1,3					
	13,8/13,2/11,4/7,6	1,8	1,2	0,6						
	<1	1,2	0,6							
	Comunicaciones	0,6								
		Comunicación	<1	13,8/ 13,2/ 11,4/ 7,6	44/ 34,5/ 33	57,5	66	115/ 110	230/ 220	500
		Tensión nominal (kV) entre fases de la línea inferior								

1.5. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COMPACTAS

El término de línea compacta fue introducido en Estados Unidos para denotar a las líneas aéreas que se caracterizan por una disminución de la distancia entre fases en comparación a las líneas tradicionales. Teóricamente pueden emplearse en cualquier nivel de tensión y la distancia mínima entre fases está determinada, entre otros aspectos, por los sobre voltajes permisibles normados para el aire.

Las líneas compactas actualmente son una solución económica si se compara con el soterramiento de líneas de transmisión teniendo en cuenta problemática de ingreso de las líneas de transmisión a las diferentes subestaciones de distribución inmersas en las ciudades con el fin de suplir la necesidad de energía eléctrica debido al crecimiento de la población donde el espacio es reducido y que no se cumplirá con las distancias mínimas de seguridad exigidas por el RETIE si se utiliza estructuras convencionales. [1]

1.5.1. Tipos de las estructuras de líneas compactas

Las estructuras de las líneas compactas pueden ser de diferente tipo según el material de

fabricación, los cuales son: de madera, de concreto o de metal.



Estructura compacta metálica



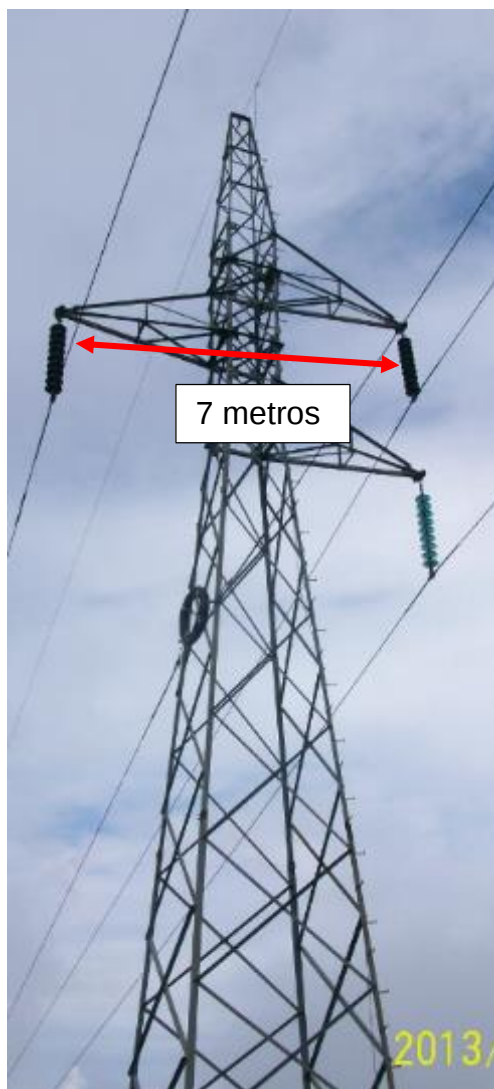
Estructura compacta tipo poste

Fotografía 3. Estructuras compactas

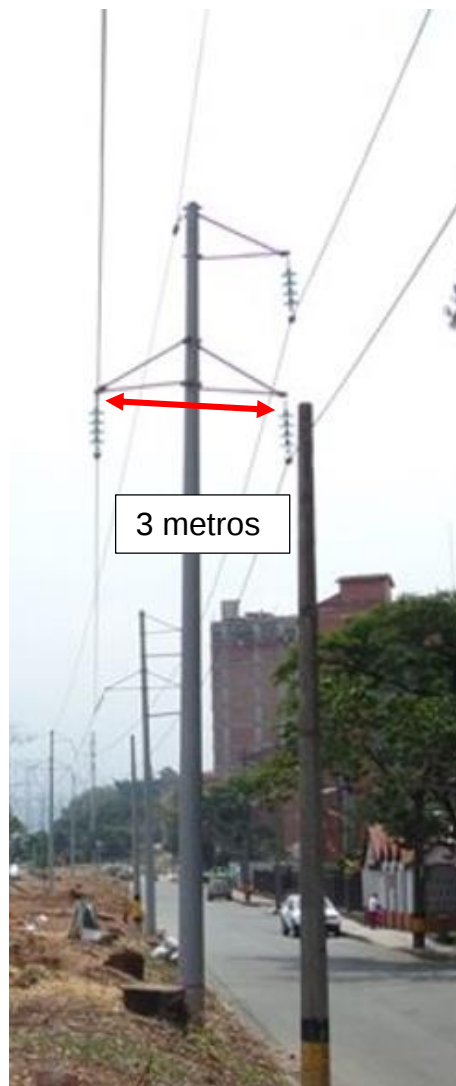
Fuente: Propia

1.5.2. Comparación de las estructuras de líneas compactas con las estructuras convencionales

Una estructura convencional del nivel de tensión de 110.000 Voltios puede alcanzar un ancho entre fases de 7 metros, mientras que en una estructura compacta de acuerdo al material y a la topología de la red su ancho puede llegar a los 3 metros. En la siguiente fotografía se muestra una línea compacta y una estructura convencional.



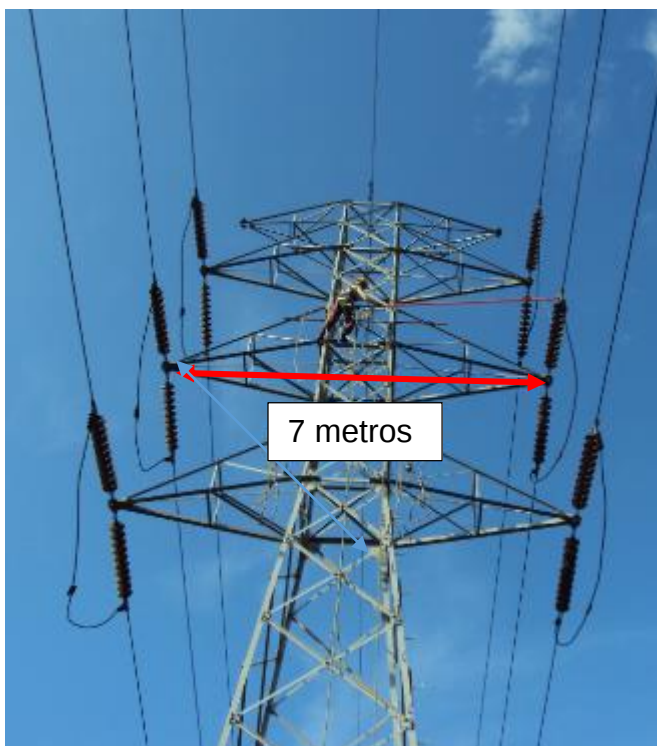
**Torre convencional a 110.000
Voltios circuito sencillo**



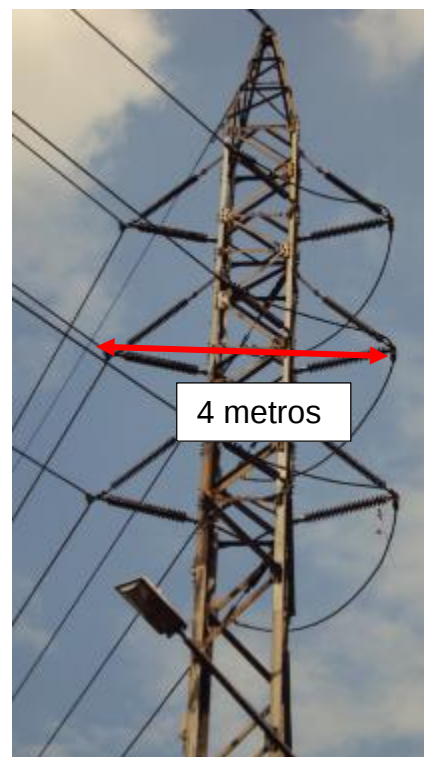
**Estructura compacta a 110.000 Voltios
circuito sencillo**

Fotografía 4. Comparación entre estructuras convencionales y estructuras compactas- circuito sencillo

Fuente: Propia



Torre convencional a 110.000 Voltios doble
circuito



Torre compacta a 110.000
Voltios doble circuito

**Fotografía 5. Comparación entre estructuras convencionales y estructuras compactas-doble
circuito**
Fuente: Propia

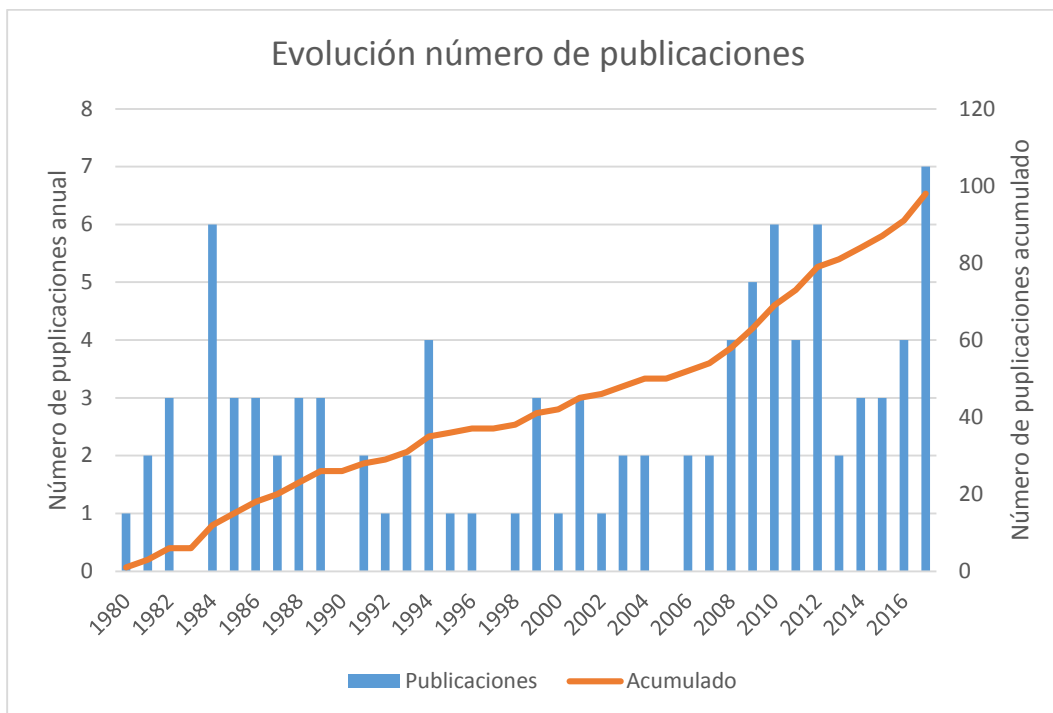
1.5.3. Longitud de los vanos de acuerdo a la utilización de líneas compactas

La ventaja de la utilización de estructuras compactas en proyectos de líneas de transmisión es que, al disminuir el ancho entre las fases, se reduce el ancho de servidumbre, sin embargo, esto se logra disminuyendo la longitud del vano, puesto que, al tener vanos más cortos, el desplazamiento horizontal de los conductores de fases por el efecto del viento será menores, ya que estos, tendrán una flecha menor. La longitud máxima de los vanos en una línea de transmisión lo dará su diseño, ya que este, es limitada por el tipo de estructura compacta a utilizar, principalmente por la distancia entre fases y por los criterios de diseño en cuanto a la velocidad del viento

1.6. VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Con el objetivo de recopilar información acerca del estado de la técnica en líneas de transmisión compactas se ejecutó una estrategia de búsqueda en la herramienta de análisis bibliográfico Scopus de Elsevier, la cual consistió en la búsqueda de documentos usando términos y sinónimos unidos por conectores lógicos, una vez se obtuvieron los resultados relevantes fueron analizados con las metodologías de análisis bibliométrico ofrecidas por la herramienta.

Después de varias iteraciones y búsqueda entre los términos, se encontró que la ecuación que más resultados relevantes arroja es: TITLE-ABS-KEY(Compact W/2 Overhead W/2 Transmission W/2 Lines)), que consiste en la unión de los términos relativos a la temática en estudios unidos por el conector W/2 que ubica los documentos donde se encuentren los términos separados un máximo de dos palabras, ya sea en el título, el resumen o las palabras clave. Se obtuvieron un total de 98 artículos a partir de 1980. La dinámica de publicaciones mostrada en Figura 7 muestra un crecimiento prolongado del número de publicaciones acumulado, sin embargo, no se observa un crecimiento de significativo del número de publicaciones anual que pueda determinar un punto de inflexión en la curva, se presume que esta situación es ocasionada por el número de publicaciones en la temática y poca investigación en el tema en particular.



Aleksandrov G.N. y Evdokunin Georgiy de la Universidad Politécnica de Petersburg quienes cuentan con un h-index de 5, vale la pena resaltar que varios de los colegas de los profesores Aleksandrov y Evdokunin aparecen en el top 10, por lo cual se profundizará más adelante en su red de cooperación.



Figura 9. Top 10 autores

La red de cooperación del profesor Aleksandro, ver Figura 10 tiene 13 autores asociados a la Universidad Politécnica de Petersburg, sin duda este se convierte en un indicador relevante para evaluar la calidad de los artículos científicos de los autores, ya que mide la cohesión entre los autores.

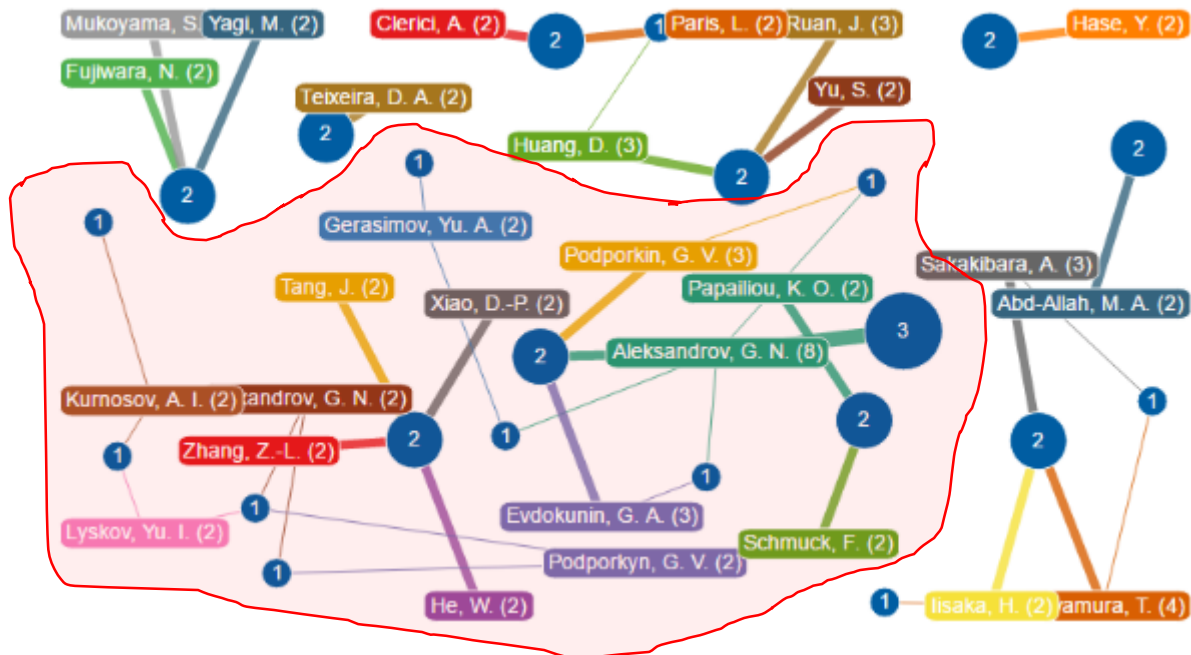


Figura 10. Red de cooperación profesor Aleksandrov

Otro indicador relevante para evaluar la calidad de los artículos de los artículos científicos es el número de citaciones por otros autores, para el caso del profesor Aleksandro se muestra la evolución anual del número de publicaciones en la Figura 11, que evidencia una dinamica de citaciones en crecimiento a partir del año 1995 sostenida hasta la actualidad, es decir la calidad de los articulos del profesor ha sido reconocida por sus pares academicos, citandolo en reiteradas oportunidades.

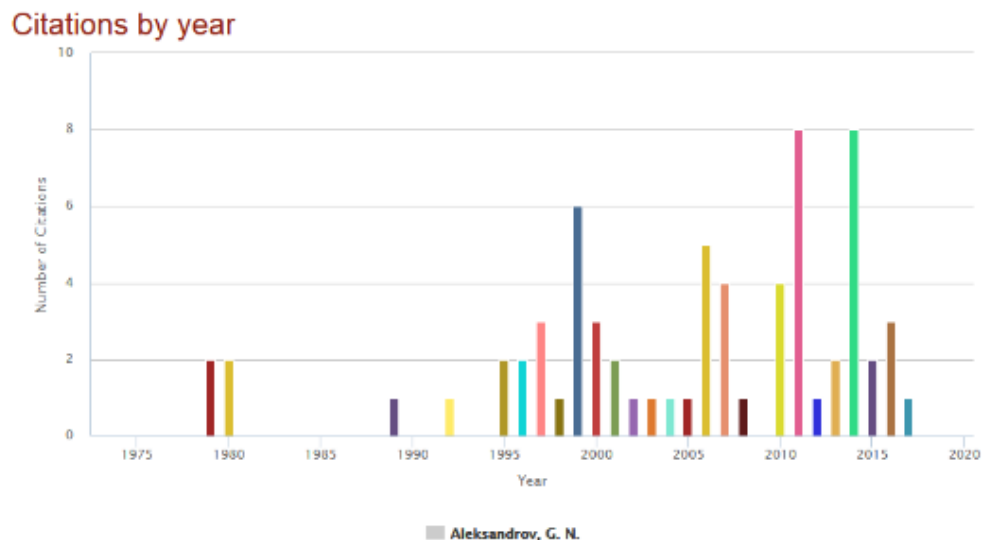


Figura 11. Evolución de citaciones a Aleksandrov

Como se mencionó anteriormente la universidad politécnica de Petersburg lidera el top 20 de instituciones con publicaciones en la temática, seguida por universidades de renombre internacional como la Universidad de Wuhan y otras compañías dedicadas a la construcción y mantenimiento de líneas de transmisión, como las compañías eléctricas de Kansai y Sumimoto. Esto muestra una oportunidad de crear sinergias entre las necesidades de las empresas y las investigaciones desarrolladas por las universidades. Otras instituciones integrantes del top 20 se muestran en la siguiente figura.



Figura 12. Top 20 Instituciones

La evolución de las investigaciones por país se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde las primeras publicaciones se dieron en Japón, posiblemente ocasionados por los problemas de espacio para construcción de líneas de transmisión tradicionales en la isla desde los años 80, posteriormente se comenzaron a publicar artículos científicos en Estados Unidos, Rusia e Italia. En los últimos años la delantera la ha tomado China con un crecimiento significativo a partir del 2007. En el caso

latinoamericano se destaca la presencia de Brasil con publicaciones desde 1999.

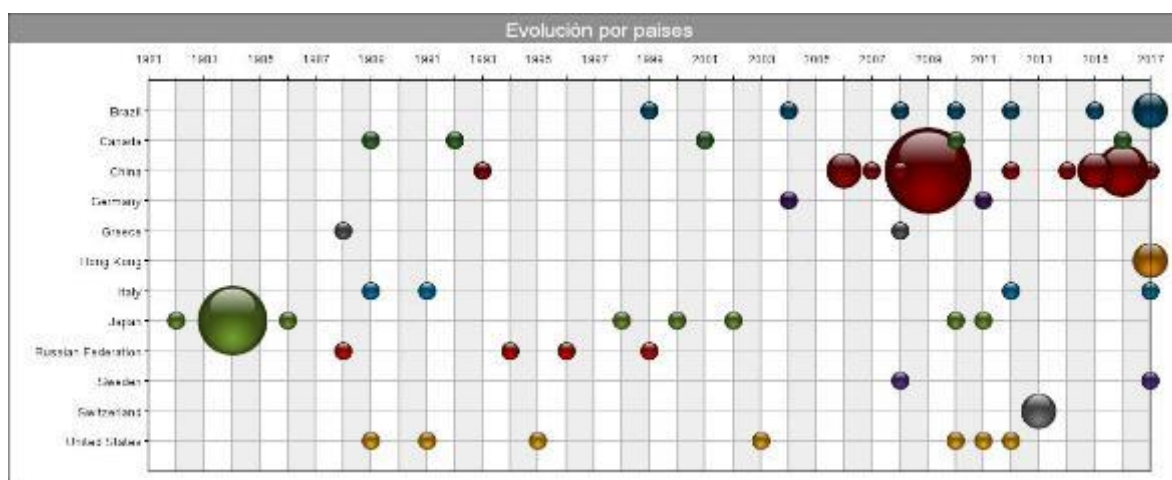


Figura 13. Evolución publicaciones por país

El mapa con el total de publicaciones por país de muestra en la Figura 14, donde se muestra que china es el país con mayor número de publicaciones, seguida por Japón e Italia.



Figura 14. Países con publicaciones

1.7. CASOS DE ÉXITO

A raíz de los problemas de espacio para ingresar las líneas de transmisión a los grandes centros de consumo de energía eléctrica surge la necesidad de buscar alternativas que se acomoden a las restricciones por la dinámica del crecimiento poblacional. Por lo anterior, la utilización de estructuras compactas ha cobrado gran importancia y ha llevado que países europeos y Japón realicen estudios para su desarrollo y diseño. Dichos estudios se centran

en las características de las vibraciones y balanceo de los conductores de fases y en las características eléctricas y mecánicas de los conjuntos de aislador utilizados en la torre y entre los conductores de fase. [2]

En una conferencia del CIGRE, en un Simposio en 1991 [CIGRE 1991], las discusiones se llevaron a cabo en los aspectos mecánicos de conductores, aislantes, y estructuras de la torre, así como los aspectos eléctricos y ambientales tales como autorizaciones espacio de aire, aisladores, efecto corona, los campos eléctricos y magnéticos (EMF), y el impacto visual. A pesar de que la compactación de las líneas de transmisión con voltajes en la amplia gama del 66 a 765 kV se consideró en el simposio, se hizo hincapié en las líneas más en el rango de 380 y 500 kV que aquellos con menores voltajes. Una revisión de algunos de los estudios sobre líneas compactas en el voltaje en el rango de 110 kV a 345 kV se presenta a continuación. [2]

Casos de éxito - España:

En un esfuerzo para diseñar una corta longitud (2,34 km) de una línea de transmisión de 132.000 Voltios, que pasa a través de un área urbana poblada de España, con un impacto ambiental y visual mínimo y que reduzca el derecho de vía ó ancho de seguridad, IBERDUERO, S.A. realizó un estudio [Albiz, 1991] para optimizar el diseño de la línea. Aunque el diseño eléctrico de la línea era más o menos convencional, algunas de las características originales se incorporaron en el diseño mecánico de la línea: estructuras compactas, placa de tipo tubular y de torre cónica; crucetas aislantes rotativos; y el aislamiento de material compuesto. Una cruceta aislante rotatorio típico utilizado en la línea de 132 kV se muestra en la Figura 15. La cruceta aislante rotatorio se compone de una columna rígida aisladas instalada horizontalmente ejerciendo el trabajo compresión y una barra de unión aislante que ejerce el trabajo de tracción, los cuales se unen formando un vértice, en donde se sujeta el conductor de fases. Los otros extremos de los dos aisladores están fijadas al soporte mediante una junta universal, la cual permite girar la cruceta alrededor de un eje inclinado. El uso de la cabeza transversal giratoria contribuye a una reducción en el costo de la línea. [2]

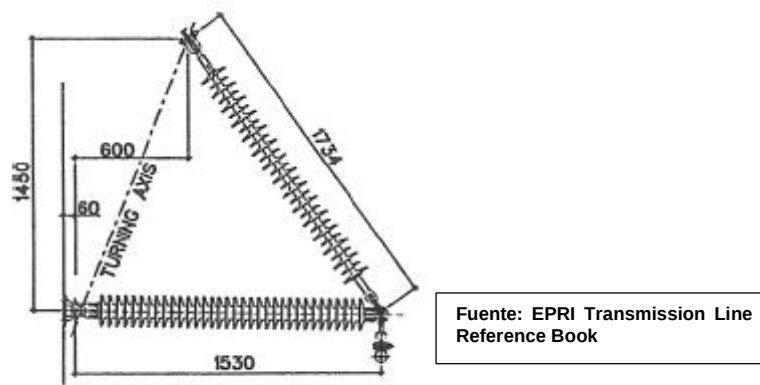


Figure 2.2-8 Rotary insulating crosshead (Albiz et al. 1991).

Figura 15. Esquema del aislamiento

Fuente: EPRI Transmission Line Reference Book

Casos de éxito - Italia:

Los estudios se han llevado a cabo para ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica), Italia [Giglioli, 1991] para determinar los límites de la compactación de las líneas de transmisión impuestas por el movimiento del conductor. La rotación de las crucetas aisladas fue utilizada para garantizar la máxima eficacia en la compactación. Sin embargo, los usos de dichos conjuntos de aislamiento generan movimientos considerables del conductor de fases debido al efecto del viento, también la acumulación de hielo lo desequilibra, y las tensiones de cortocircuito, que puede causar la reducción de las distancias de fase a fase y la rotación genera inestabilidad en la cruceta. Los resultados de estos estudios se utilizaron para determinar la reducción de la longitud del tramo requerido y las condiciones en que podrían producirse inestabilidad cruceta.

Los estudios también fueron llevados a cabo por [Clerici et al. 1991] con el fin de reducir sustancialmente el costo de las torres y de las fundaciones en las líneas compactas mediante el uso de torres bidimensionales con bases pivotantes y construidas con tubos soldados abiertos. En un esfuerzo por reducir los costos, los habituales polos tubulares fijados tridimensionales han sido reemplazados por estructuras bidimensionales que están libres para girar alrededor de un eje transversal en el nivel del suelo. Estas estructuras son capaces de soportar las cargas verticales y transversales transmitidas por los conductores, pero no

las cargas longitudinales. Las cargas longitudinales debido al viento, las cargas desequilibradas por el hielo, y el desequilibrio por conductores rotos, estos esfuerzos se transmiten a través de los cables de guarda de las torres tridimensionales situados a intervalos regulares (aproximadamente una de cada diez torres) y son capaces de resistir dichas cargas longitudinales. [2]

Casos de éxito - Francia:

Los estudios de investigación se llevaron a cabo a principios de la década 1970 y a finales de 1980 para la entidad EDF (Electricité de France), Francia, para desarrollar métodos para el diseño de líneas de alta tensión de 90 kV con estructuras compactas [Cochard y Cojan 1981]. Una línea experimental de 1200 m fue construida para estudiar la viabilidad de diferentes técnicas para la compactación de línea: el uso de hormigón pretensado, hormigón hilado, chapa de hierro y palos de madera, plastificados nados, crucetas aislador oscilantes, y los espaciadores aislantes.

Nuevos conceptos de diseño de línea compacta fueron investigados [Paris, 1991] con el uso eficiente de los aisladores compuestos. El buen comportamiento de los aisladores compuestos en cuanto al efecto nocivo de la contaminación se consigue proporcionando camino de fuga elevada por unidad de longitud de aislante, diámetros pequeños, y la buena calidad de la superficie. Una gran variedad de crucetas con aislamiento de alta fiabilidad ha sido desarrollada para su uso posterior como la línea horizontal y configuración en V, tanto rígidamente conectado a la torre o articulado. Las configuraciones típicas de las crucetas aislantes tipo line post y horizontal en V se muestran en la Figura 16. Por tanto, las crucetas aisladas tipo line post y horizontales VEE sus las configuraciones rígidas se muestran a la izquierda, mientras que las configuraciones de pivotado se muestran a la derecha de la imagen. [2]

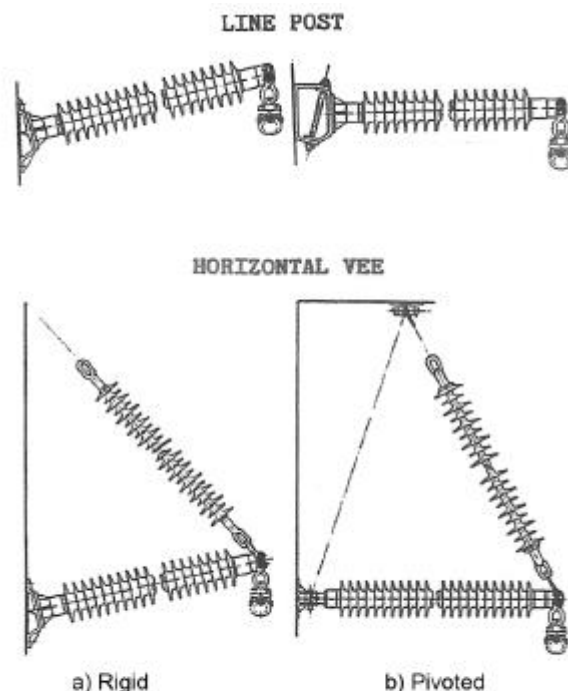


Figure 2.2-9 Line post and horizontal vee insulating crossarms (Paris et al. 1991).

Figura 16. Esquema del brazo aislado

Fuente: EPRI Transmission Line Reference Book

Casos de éxito - Japón

Los estudios se han llevado a cabo [Matsuzaki et al., 1991] para investigar el balanceo de los conductores en las líneas aéreas de transmisión compacta con el fin de desarrollar medidas preventivas. Los estudios encontraron que los separadores de fase hechos de material aislante que no son de cerámica representan el medio más eficaz para hacer frente al balanceo. Esta ventaja es debido a la flexibilidad inherente de los aisladores poliméricos donde las vibraciones que se producen debido al balanceo se atenúan. Diversas pruebas se llevaron a cabo para desarrollar separadores de fase poliméricos para líneas de transmisión de 66 kV. [2]

Casos de éxito - Rusia

En el diseño de la primera línea compacta de 110 kV en la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) [Savvaitov et al., 1991], se encontró que su fiabilidad depende en gran medida de tener en cuenta diversos tipos de oscilación del conductor. Estudios

exhaustivos han, por lo tanto, han llevado a cabo en una línea compacta de 110 kV para identificar los problemas de vibraciones eólicas y del balanceo. Los resultados de este estudio han demostrado que la línea equipada con amortiguadores Stockbridge e espaciadores interface aislante protegen adecuadamente contra la vibración eólica, oscilación del conductor, y el balanceo. El aislamiento de las líneas, incluidas las cadenas de suspensión y tracción y espaciadores entre fases, estaba hecho de materiales poliméricos. [2]

Casos de éxito – Colombia

En Colombia, Empresas Públicas de Medellín utiliza este tipo de aislamiento en una línea de transmisión que se encuentra inmersa dentro del municipio de Medellín tal como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía 6. Brazo aislado
Fuente propia

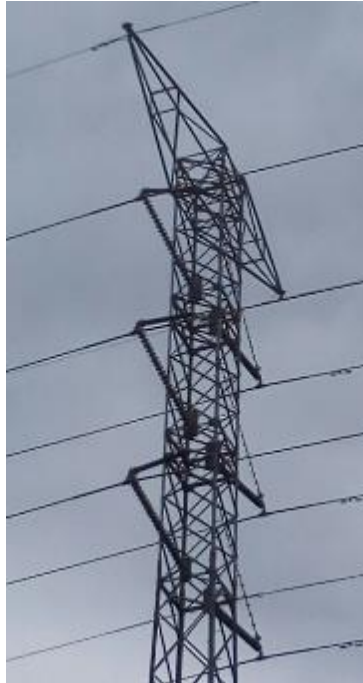
Adicionalmente, En el proyecto denominado BGA (Bello-Guayabal-Ancón Sur) ejecutado por EPM en el área metropolitana del Valle de Aburrá se utilizó las estructuras compactas para ésta línea de transmisión de 220 kv, con el fin de conservar la servidumbre legalmente constituida de 26 metros de una línea de transmisión a 220 kV de circuito sencillo existente

y que fue adquirida con anterioridad a la entrada en vigencia del RETIE. Para cumplir con este ancho, se instalaron estructuras compactas de celosía auto-soportadas con aislamiento polimérico tipo line post, la línea de transmisión es de doble circuito. [10]

El ancho de servidumbre estipulado por el RETIE de esta línea de transmisión doble circuito y en estructura convencional seria de 32 metros, sin embargo, con la utilización de estructuras compactas, este ancho se redujo a 26 metros, es decir, se redujo en 6 metros, lo que equivale a un 18,75% del valor total de la servidumbre, un ahorro considerable teniendo en cuenta el peso del costo de la servidumbre en un proyecto de una línea de transmisión. De acuerdo al trabajo de grados *“Análisis técnico económico para la implementación y mantenimiento de líneas de transmisión compactas en corredores urbanos del Valle de Aburrá”* presentado por el ingeniero electricista Juan Camilo Vélez Maya se concluye que los costos de una línea compacta son más bajas, donde por el ahorro por la compra de servidumbre, se adquiere 6 postes, lo que significa un ahorro de 9,6% sobre el costo total de estructuras. [7]

A continuación, se muestra la foto de las estructuras.





Fotografía 7. Estructura compacta
Fuente propia

CAPÍTULO 2. UTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS COMPACTAS EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 110 kV

2.1 INVASIÓN A LA SERVIDUMBRE DE LA LÍNEA ZAMORA-HORIZONTE Y OCCIDENTE-ZAMORA

La línea de transmisión denominada Zamora-Occidente a 110.000 Voltios cruza la zona urbana del municipio de Bello en el barrio Cabañitas en la calle 26A entre las carreras 58 y 58d en una distancia de 370 metro. Las estructuras de soporte son convencionales en torres piramidales en celosía, y cuyo esquema se muestra en la siguiente figura.

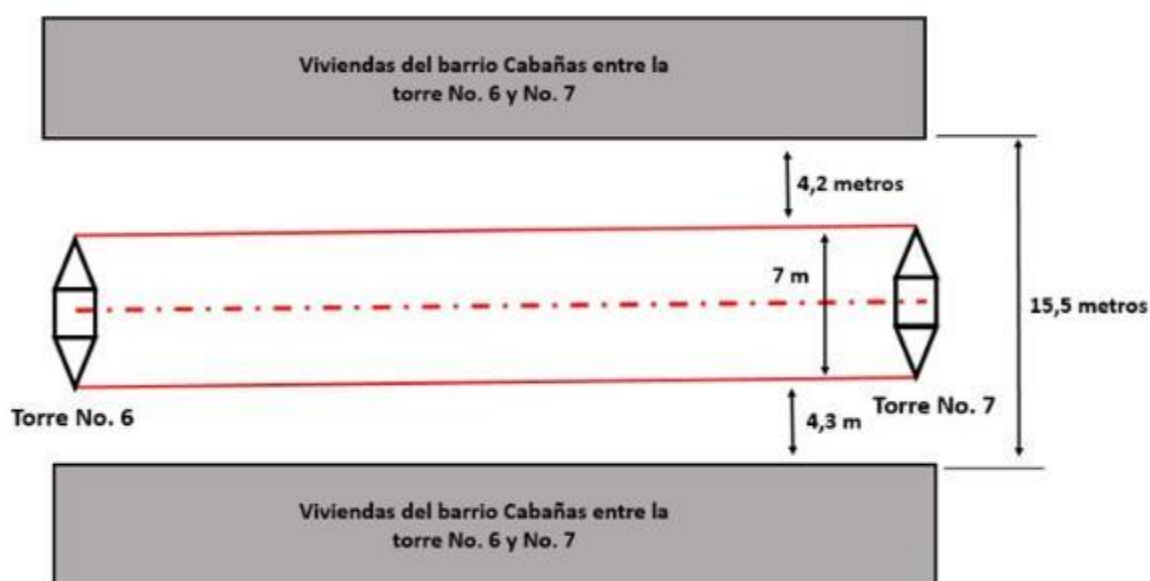


Figura 17. Esquema del cruce de la línea de transmisión

De acuerdo a la figura anterior, el ancho libre en la zona es de 15,5 metros y de acuerdo al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, el ancho de servidumbre que se exige es de 20 metros, por lo que estaría incumpliendo por 4,5 metros.

Las viviendas se encuentran a 4,3 metros de los conductores energizados cuando están en estado estacionario

Entre el vano de las torres No. 6 y No. 7 se realizó el inventario de las viviendas que actualmente se encuentran invadiendo la zona de servidumbre de las líneas de transmisión Zamora – Horizonte y Occidente-Zamora a 110.000 V, en total se encontró que 190 viviendas están incumpliendo con lo estipulado en el Reglamento Técnico de Instalaciones

Eléctricas RETIE. En la Tabla 3 se relaciona con dirección y el número de niveles de las viviendas.

Tabla 3. Inventario de viviendas invadiendo la servidumbre de la línea entre el vano de la torre No. 6 y torre No. 7

Ítem	Dirección	Número de niveles de las viviendas
1	Calle 26A N° 58BB- 01	4
2	Carrera 58 BB N° 26- 25	3
3	Calle 26A N° 58 BB- 09	2
4	Calle 26A N° 58 BB- 15	3
5	Calle 26A N° 58 BB- 21	2
6	Calle 26A N° 58 BB- 27	2
7	Calle 26A N° 58 BB- 33	1
8	Calle 26A N° 58 BB- 39	4
9	Calle 26A N° 58 BB- 45	2
10	Calle 26A N° 58 BB- 51	3
11	Calle 26A N° 58 BB- 57	2
12	Calle 26A N° 58 BB- 63	2
13	Calle 26A N° 58 BB- 69	2
14	Carrera 58 C N° 26- 30	3
15	Calle 26A N° 58C - 03	3
16	Calle 26A N° 58C - 05	3
17	Calle 26A N° 58C - 11	3
18	Calle 26A N° 58C - 17	1
19	Calle 26A N° 58C - 23	3
20	Calle 26A N° 58C - 29	2
21	Calle 26A N° 58C - 35	2
22	Calle 26A N° 58C - 41	2
23	Calle 26A N° 58C - 47	2
24	Calle 26A N° 58C - 53	2
25	Calle 26A N° 58C - 59	3
26	Calle 26A N° 58C - 65	3
27	Calle 26A N° 58C - 71	1
28	Calle 26A N° 58C - 77	3
29	Calle 26A N° 58 BB - 182	2
30	Calle 26A N° 58 BB - 172	4
31	Calle 26A N° 58 BB - 168	3

Ítem	Dirección	Número de niveles de las viviendas
32	Calle 26A N° 58 BB - 158	3
33	Calle 26A N° 58 BB - 148	2
34	Calle 26A N° 58 BB - 138	3
35	Calle 26A N° 58 BB - 128	3
36	Calle 26A N° 58 BB - 120	3
37	Calle 26A N° 58 BB - 108	2
38	Calle 26A N° 58 BB - 98	2
39	Calle 26A N° 58 BB - 88	3
40	Calle 26A N° 58 BB - 72	3
41	Calle 26A N° 58 BB - 62	2
42	Calle 26A N° 58 BB - 56	2
43	Calle 26A N° 58 BB - 52	2
44	Calle 26A N° 58 BB - 48	2
45	Calle 26A N° 58 BB - 44	2
46	Calle 26A N° 58 BB - 38	2
47	Calle 26A N° 58- 24	2
48	Calle 26A N° 58- 27	2
49	Calle 26A N° 58- 33	4
50	Calle 26A N° 58- 32	2
51	Calle 26A N° 58- 36	2
52	Calle 26A N° 58- 40	2
53	Calle 26A N° 58- 39	2
54	Calle 26A N° 58- 66	2
55	Calle 26A N° 58- 45	2
56	Calle 26A N° 58- 59	2
57	Calle 26A N° 58- 54	2
58	Calle 26A N° 58- 60	2
59	Calle 26A N° 58- 63	3
60	Calle 26A N° 58- 67	4
61	Calle 26A N° 58- 66	2
62	Calle 26A N° 58- 75	3
63	Calle 26A N° 58- 75	2
64	Calle 26A N° 58- 79	1
65	Calle 26A N° 58- 78	2
66	Calle 26A N° 58- 84	3
67	Calle 26A N° 58- 46	2
68	Calle 26A N° 58- 79	2

Ítem	Dirección	Número de niveles de las viviendas
69	Calle 26A N° 58- 87	2
70	Calle 26A N° 58- 95	2
71	Calle 26A N° 58- 105	3
72	Calle 26A N° 58- 98	5
73	Calle 26A N° 58- 104	5
74	Calle 26A N° 58- 110	5
75	Calle 26A N° 58- 120	5
Total viviendas invadiendo la zona de servidumbre		190

En las siguientes fotografías se detalla el cruce de la línea e la calle 26A entre las carreras 58 y 58d.



Torre No. 6



Torre No. 7

Fotografía 8. Torres del caso en estudio
Fuente: Propia



Fotografía 9. Línea sobre la calle
Fuente: Propia

2.2 SIMULACIÓN EN PLS CADD

2.2.1 Descripción de la línea de transmisión en estudio

La línea de transmisión existente es de doble circuito a 115 kV en conductor ACSR/Hawk y cable de guarda de acero 3/8". El trazado del tramo de línea donde se estudiará el cambio de las estructuras convencionales por estructuras compactas entre el vano de la torre No. 5 y torre No. 6 en el barrio cabañas del municipio de Bello de la línea Zamora – Cabañas. En la Figura 18 se muestra en la vista en planta por donde cruza la línea en dicho barrio.



Figura 18. Trazado del tramo de línea

Fuente: Google earth

Las torres de la línea son estructuras autosoportadas y en el tramo en estudio se tiene:

Tabla 4. Características de las estructuras

Número de la estructura	Fijación	Tipo
Torre No. 5	Retención	C
Torre No. 6	Suspensión	A
Torre No. 7	Retención	C
Torre No. 8	Suspensión	A

2.2.2 Criterios de diseño

2.2.2.1 Distancias mínimas de seguridad

Para la modelación de las distancias mínimas de seguridad tiene en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. [1]

En las Tabla 5 y la Tabla 6 se muestra las distancias de seguridad.

Tabla 5. Distancias mínimas de seguridad para 110 kV [1]

Descripción	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo “d” en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular.	6,1
Distancia mínima al suelo “d” en bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se respete los requisitos propios de zonas de servidumbre en lo que se refiere a la máxima altura que pueden alcanzar la copa de los arbustos o huertos allí plantados	6,1
Distancia vertical “g” en cruce con ríos, canales navegables o flotantes, no adecuadas para embarcaciones con altura mayor a 2 m.	5,6
Distancia horizontal en cruce por campos deportivos abiertos.	7

Tabla 6. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones [1]

Voltaje (kV)	115/110 kV
115/110	1,9 metros
66	1,9 metros
57,5	1,8 metros
44/34,5/33	1,7 metros
13,8/13,2/11,4/7,6	1,7 metros
<1	1,7 metros
Comunicaciones	2,3 metros

2.2.2.2 Parámetros meteorológicos

Para la modelación de las condiciones ambientales de la zona, se tomaron las del municipio de Bello, Antioquia. La temperatura de plantillado se calcula con la corriente nominal del conductor de fases. La corriente nominal de la línea se supone en 200 Amperios.

Con estos datos se verifico la temperatura del conductor con la corriente nominal, En la Figura 19 se muestra los resultados.

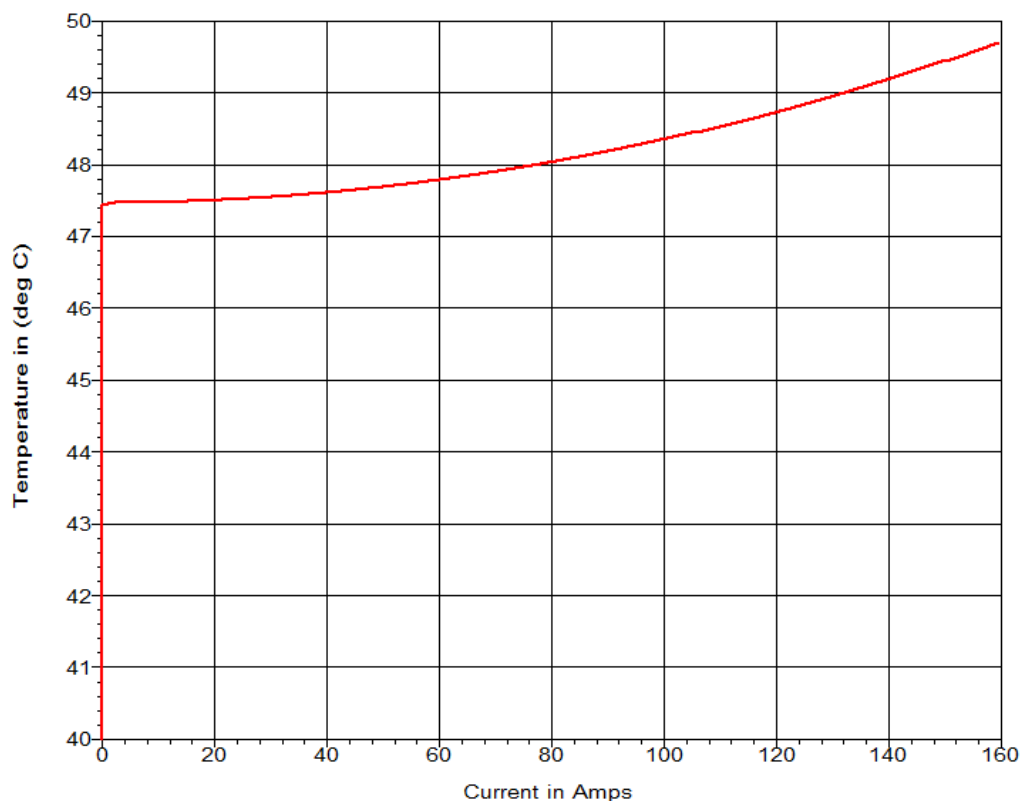


Figura 19. Temperatura de plantillado

La temperatura del conductor es calculada con la corriente nominal, obteniéndose la temperatura de 49,7 °C. Para efectos de simulación se tomará el valor de 50 °C como temperatura de plantillado. [8]

En la Tabla 7 se muestran las condiciones ambientales de diseño contempladas:

Tabla 7. Parámetros meteorológicos

Parámetro	Unidad	Valor
Altura sobre el nivel del mar	m	1.450
Temperatura máxima	°C	30
Temperatura media	°C	22
Temperatura mínima	°C	15
Temperatura de Plantillado	°C	50
Viento máximo de 50 años	km/h	100
Viento máximo promedio	km/h	60
Densidad de rayos a tierra	Rayos/km ² /año	20
Densidad relativa del aire	-	0,8

2.2.2.3 Campo eléctrico y magnético

Para el diseño y trazado de la línea de transmisión se tiene en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas que exige no superar los valores de campo eléctrico y campo magnético que se especifica en la Tabla 8. [1]

Tabla 8. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos [1]

Tipo de exposición	Intensidad de campo eléctrico (kV/m)	Densidad de flujo magnético (μT)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de 8 horas	10	500
Exposición del público en general hasta 8 horas continuas	5	100

El RETIE recomienda medir el campo electromagnético a un metro de altura desde el piso en los vanos de la línea. En la Figura 20 y Figura 21 se muestra los resultados obtenidos, donde se obtuvo un valor de $3,89 \mu\text{T}$ para el campo magnético y de $2,029 \text{ kV/m}$ para el campo eléctrico, valores por debajo de lo establecido por el RETIE.

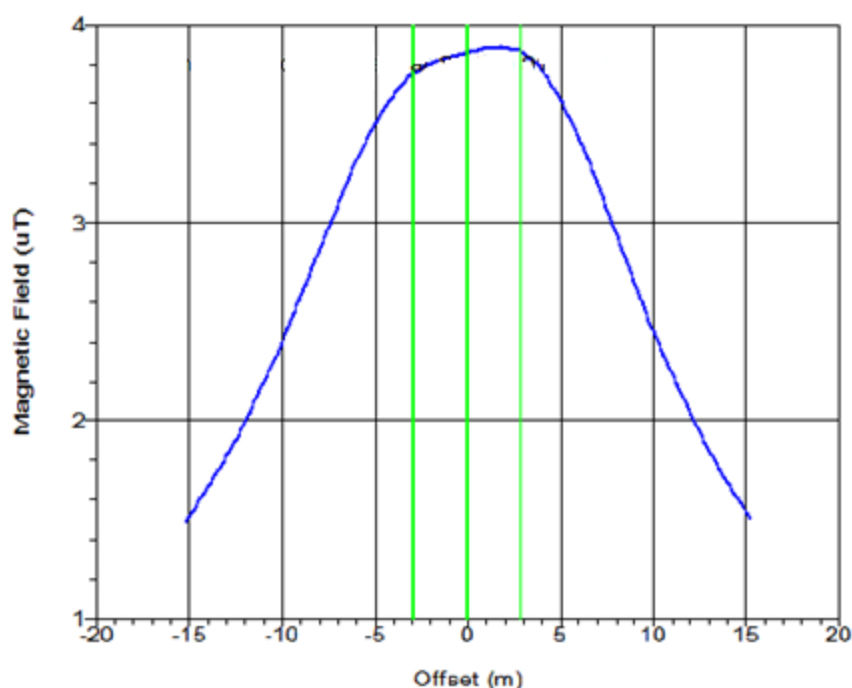


Figura 20. Campo Magnético

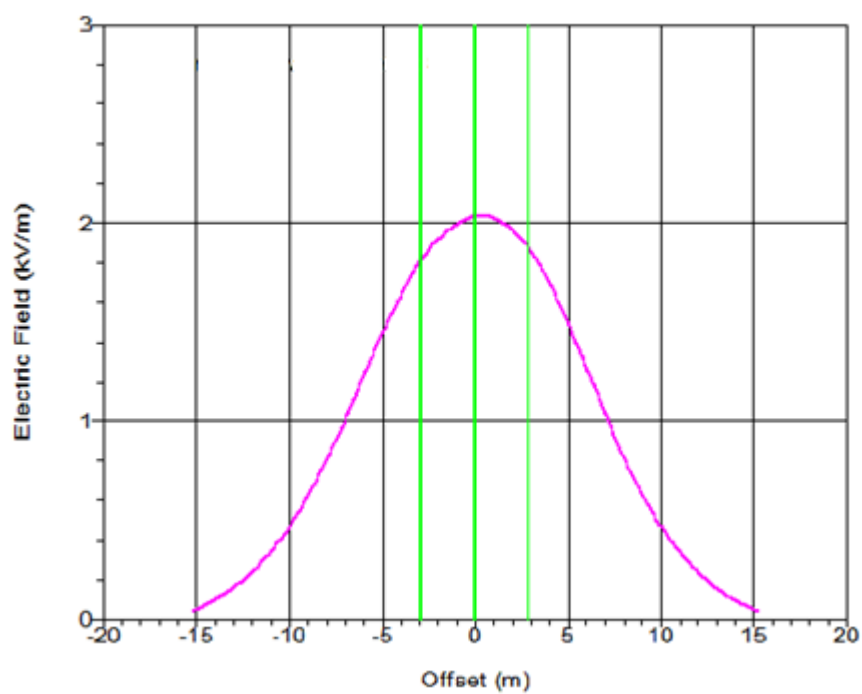


Figura 21. Campo eléctrico

CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 ESTUDIO DE BALANCEO CON LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

El estudio de balanceo en una línea de transmisión determina el desplazamiento horizontal máximo de los conductores de fases, en este caso, se estudiará en detalle el desplazamiento del conductor al exterior del trazado de la línea, debido a que se pretende determinar las distancias mínimas de seguridad horizontal para las condiciones climáticas normales de diseño y condiciones climáticas promedio de acuerdo a los criterios de diseño. La simulación del balanceo se realizará utilizando el programa PLS CADD versión 14.40.

Para la simulación del tramo de la línea se tomó los diseños de las estructuras existentes, donde se tiene un ancho entre conductores de 7 metros, en la siguiente figura se muestra la silueta y medidas de las torres del tramo estudiado.

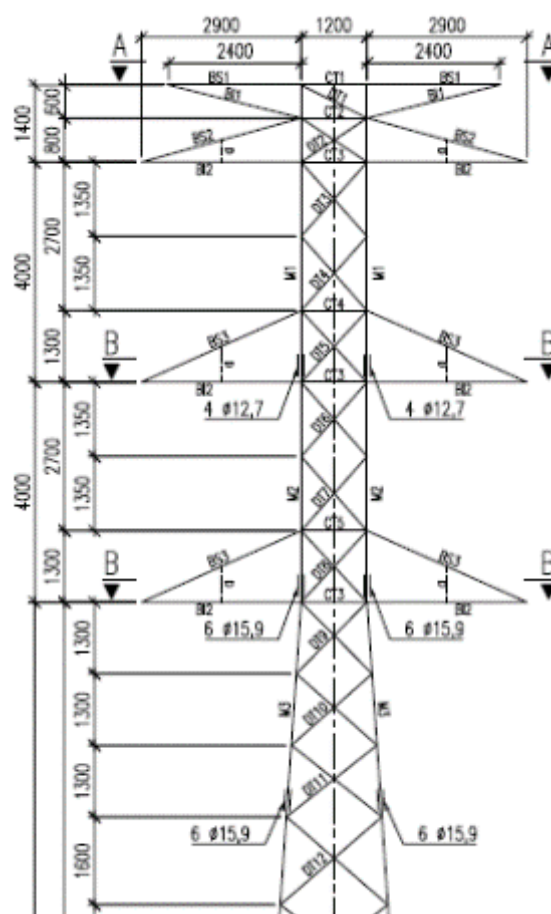


Figura 22. Medidas de las torres convencionales

Para determinar el comportamiento de la línea se simuló teniendo en cuenta las condiciones ambientales del sitio y verificando el adecuado funcionamiento de la línea. En la Figura 23 se muestra el perfil del tramo de la línea simulada.

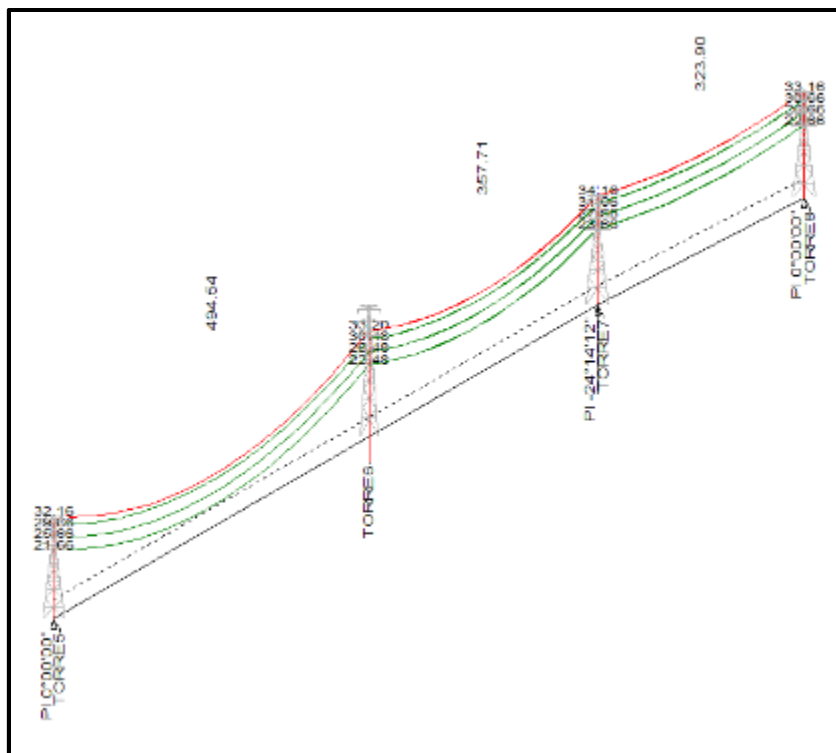


Figura 23. Perfil del tramo de la línea

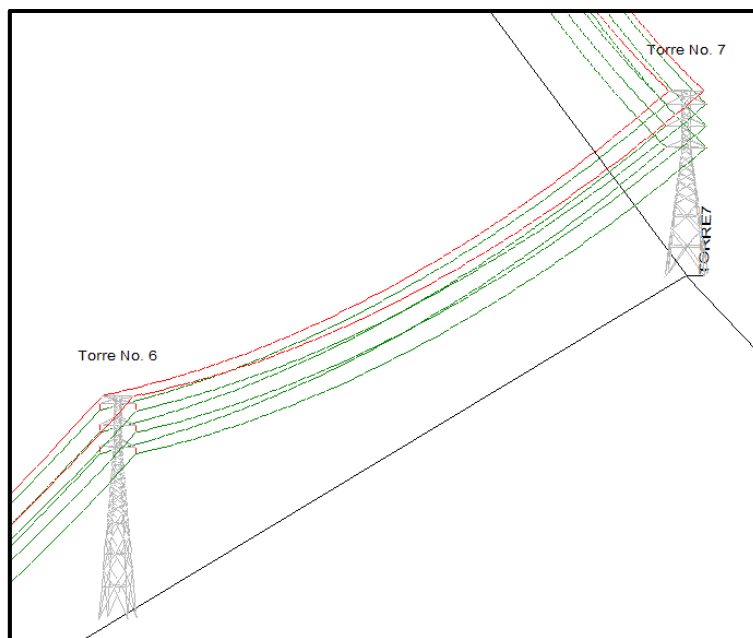
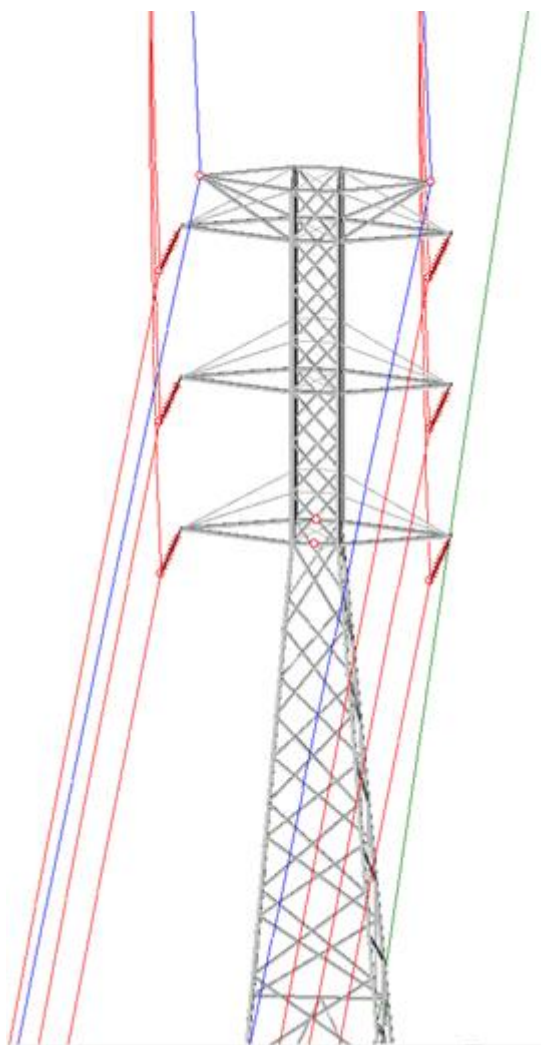
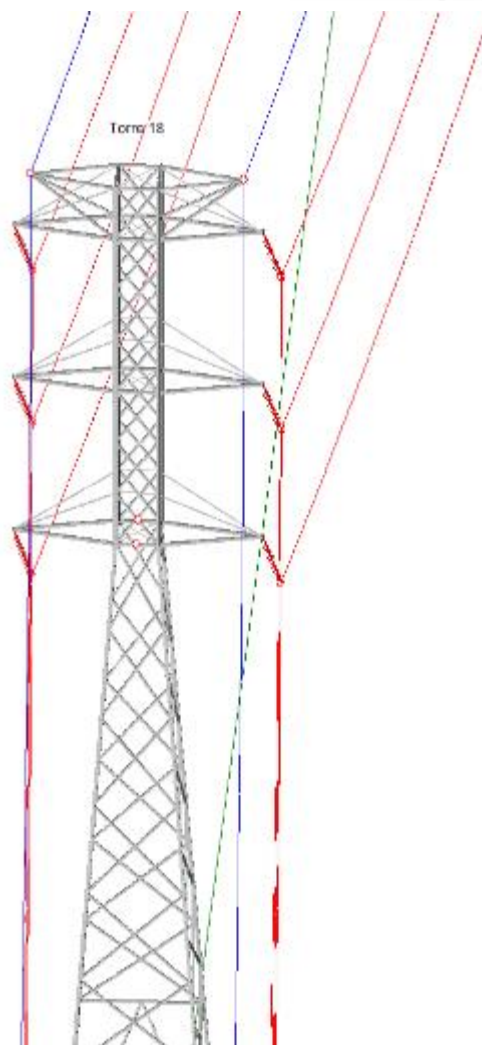


Figura 24. Vista 3D del tramo de la línea

En la siguiente figura se muestra el balanceo de los cables hacia los lados.

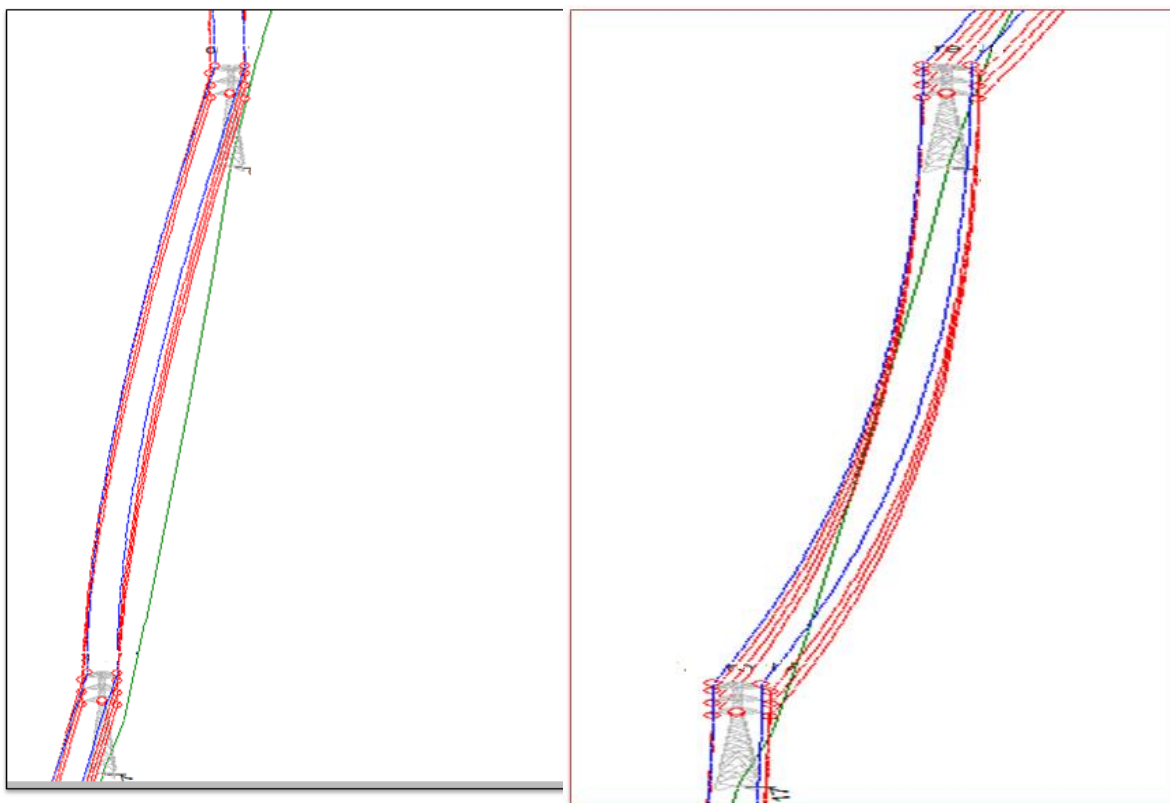


Balanceo horizontal a la izquierda a del
conductor de fases



Balanceo horizontal a la derecha del
conductor de fases

Figura 25. Balanceo de los conductores en la torre



Balanceo horizontal a la izquierda del
conductor de fases

Balanceo horizontal a la derecha del
conductor de fases

Figura 26. Balanceo de los conductores en el vano

En la Tabla 9 se muestra los valores del balanceo de los conductores de fases en el vano entre la torre No. 6 y torre No. 7.

Tabla 9. Balanceo en los conductores de fase

No. De estructura inicial	No. De estructura final	Fase	Descripción de la condición ambiental	Dirección del viento	Máximo desplazamiento de la referencia (m)	Referencia al conductor (Exterior)	Máximo movimiento
Torre No. 6	Torre No. 7	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-3.57	7.07	7.07
Torre No. 6	Torre No. 7	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-3.57	7.07	
Torre No. 6	Torre No. 7	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-3.57	7.07	

No. De estructura inicial	No. De estructura final	Fase	Descripción de la condición ambiental	Dirección del viento	Máximo desplazamiento de la referencia (m)	Referencia al conductor (Exterior)	Máximo movimiento
Torre No. 6	Torre No. 7	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-9.61	6.11	
Torre No. 6	Torre No. 7	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-9.61	6.11	
Torre No. 6	Torre No. 7	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-9.6	6.1	

En la siguiente figura se señala con una X los diferentes puntos máximos de balanceo que tiene los conductores de acuerdo a la magnitud del viento y de la temperatura ambiente y adicionalmente en verde se muestra el máximo balanceo obtenido.

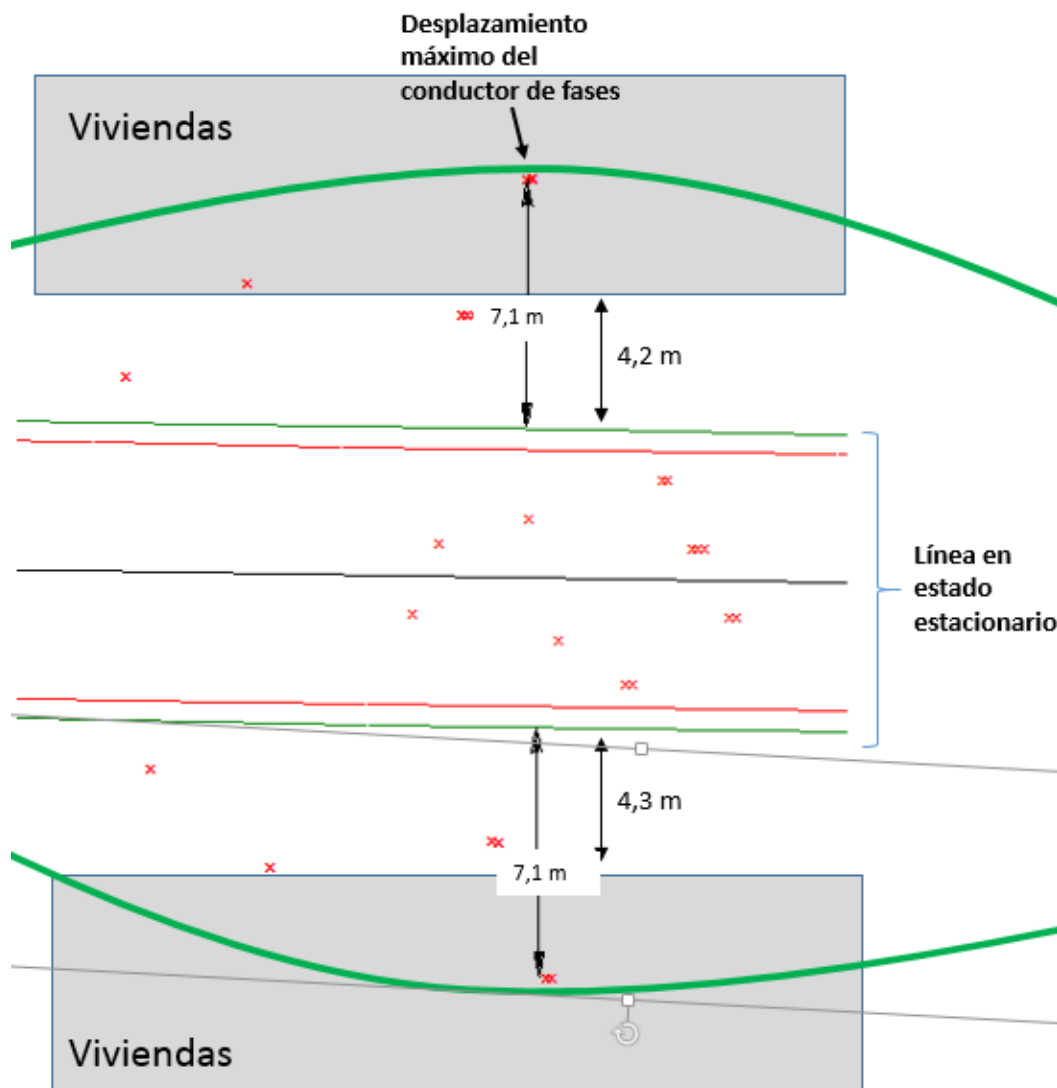


Figura 27. Máximo Balanceo de los conductores en el vano

El mayor desplazamiento horizontal debido a la condición climática de máximo viento se presenta a 176 metros de la torre No. 6, cuya magnitud de desplazamiento de los conductores de fases es de **7,1 metros**, con referencia al eje del conductor de fases, es decir, **10,6 metros** desde el eje de la línea, lo que genera un alto riesgo para las personas que habitan las viviendas aledañas a la línea puesto que las fases harían un contacto directo provocando una falla a tierra con consecuencias desastrosas.

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE en el artículo 22.2 Zonas de servidumbre en el numeral J, para el caso de las líneas de 110.000 Voltios se debe cumplir

la distancia de seguridad horizontales de por lo menos de 4 metros luego de realizar los máximos movimientos de acercamiento a las edificaciones que pueda tener el conductor energizado.

Teniendo en cuenta las exigencias del RETIE, la zona de servidumbre para el vano entre la torre No. 6 y torre No. 7-objeto del estudio, sería del desplazamiento máximo de balanceo, es decir **7,1** metros con referencia a la fase, más **4** metros de distancia de seguridad horizontal, más **3,5** metros de distancia del eje de la línea al eje de la fase, lo que resulta una servidumbre de **14,6** metros desde el eje de la línea de transmisión, es decir, en total sería una servidumbre de **29,2** metros. En este caso no se está cumpliendo con la exigencia del RETIE de **20** metros de ancho de servidumbre y su servidumbre sería casi la que se exige para una línea a 220.000 voltios de circuito sencillo. En la siguiente figura se muestra el ancho de servidumbre de acuerdo al estudio de balanceo de los conductores de fase.

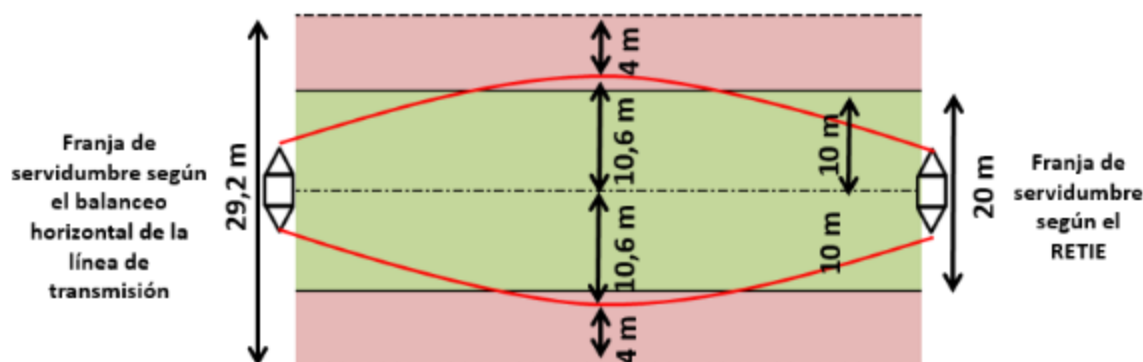


Figura 28. Franja de servidumbre debido al balanceo

3.2 ESTUDIO DE BALANCEO CON LAS ESTRUCTURAS COMPACTAS

3.2.1 Alternativa 1- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 4 metros

Se realiza la simulación cambiando las estructuras convencionales por apoyos tipo poste fabricados en Poliéster reforzado con fibra de vidrio lo que al ser un material aislante no se requiere brazos de 3 metros como se utiliza en estructuras convencionales, para este caso, se utilizará un brazo tipo line post construido en material polimérico lo que hace que el

ancho entre fases sea de 4 metros.

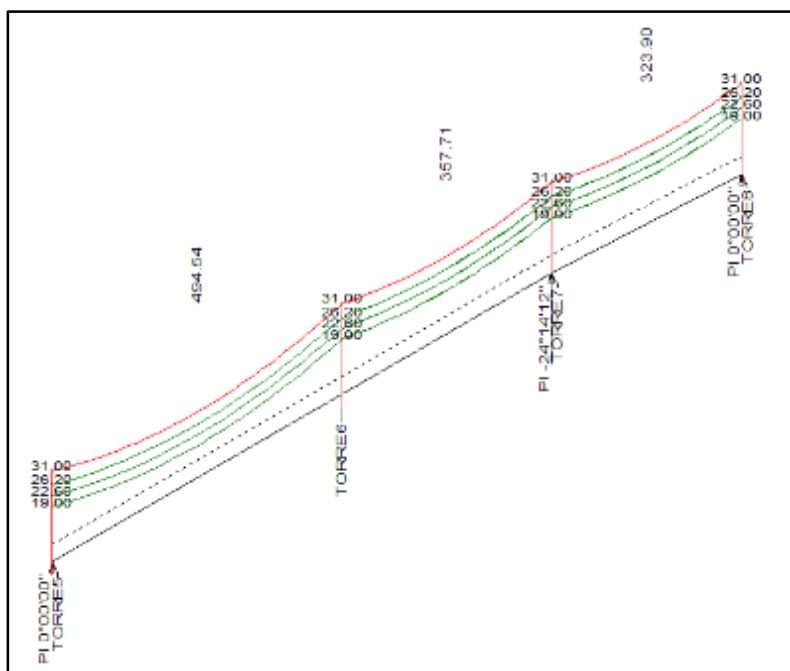


Figura 29. Perfil del tramo de la línea con estructura compacta

En la Tabla 10 se muestra los valores del balanceo de los conductores de fases en el vano entre la torre No. 6 y torre No. 7 utilizando una estructura compacta.

Tabla 10. Balanceo en los conductores de fase

No. De estructura inicial	No. De estructura final	Fase	Descripción de la condición ambiental	Dirección del viento	Máximo desplazamiento de la referencia (m)	Referencia al conductor (Exterior)	Máximo movimiento
Torre 6	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1.92	3.92	3.92
Torre 6	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1.92	3.92	
Torre 6	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1.92	3.92	
Torre 6	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-5.26	3.26	
Torre 6	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-5.26	3.26	
Torre 6	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-5.26	3.26	
Torre 6	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	5.28	3.28	
Torre 6	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	5.28	3.28	
Torre 6	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	5.28	3.28	
Torre 6	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1.92	3.92	
Torre 6	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1.92	3.92	
Torre 6	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1.92	3.92	

En la siguiente figura se señala con una X los diferentes puntos máximos de balanceo que tiene los conductores de acuerdo a la magnitud del viento y de la temperatura ambiente y adicionalmente en verde se muestra el máximo balanceo obtenido.

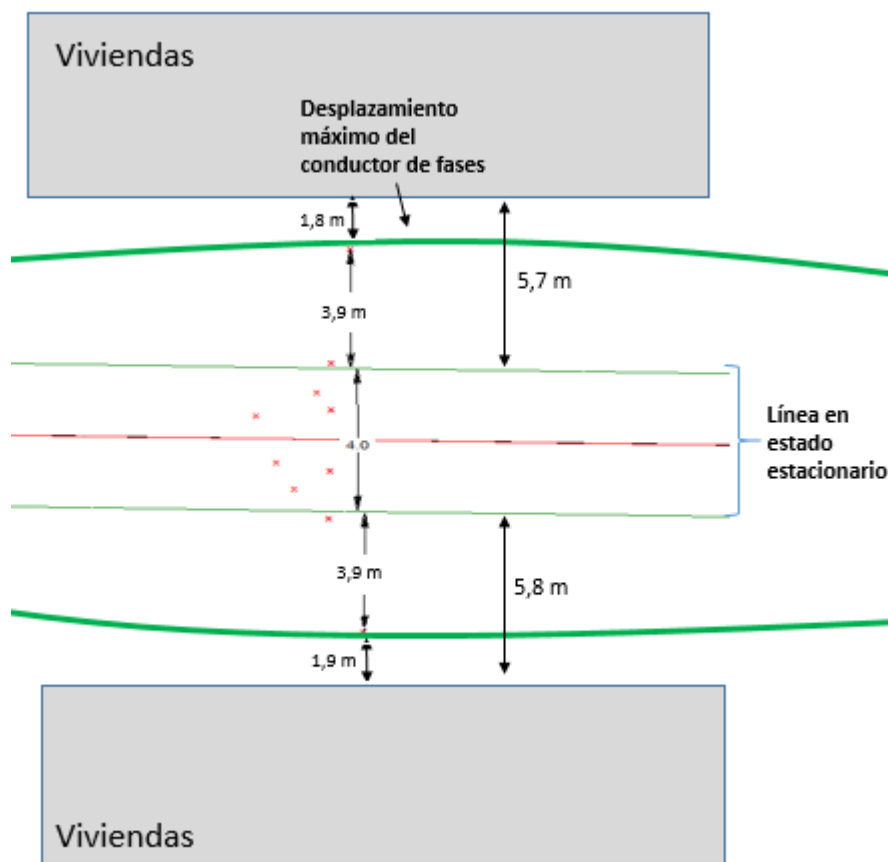


Figura 30. Máximo Balanceo de los conductores en el vano

El mayor desplazamiento horizontal debido a la condición climática de máximo viento se presenta a 178,4 metros de la torre No. 6, cuya magnitud de desplazamiento de los conductores de fases es de **3,9 metros** con referencia al eje del conductor de fases, es decir, **5,9 metros** desde el eje de la línea, y tal como se observa en la figura, los conductores de fases no alcanzan a tocar la fachada de las edificaciones, queda a una distancia de 1, 8 metros, lo que genera un riesgo moderado para las personas que habitan las viviendas aledañas.

Teniendo en cuenta las exigencias del RETIE, la zona de servidumbre para el vano entre las

torre No. 6 y torre No. 7-objeto del estudio, sería del desplazamiento máximo de balanceo, es decir **3,9** metros con referencia a la fase, más **4** metros de distancia de seguridad horizontal, más **2** metros de distancia del eje de la línea al eje de la fase, lo que resulta una servidumbre de **9,9** metros desde el eje de la línea de transmisión, es decir, en total sería una servidumbre de **19,8** metros. En este caso se estaría cumpliendo con la exigencia del RETIE de **20** metros de ancho de servidumbre y más no se cumpliría con la distancia mínima de seguridad de 4 metros luego de realizar el análisis del máximo desplazamiento horizontal de los conductores de fases. En la siguiente figura se muestra el ancho de servidumbre de acuerdo al estudio de balanceo de los conductores de fase.

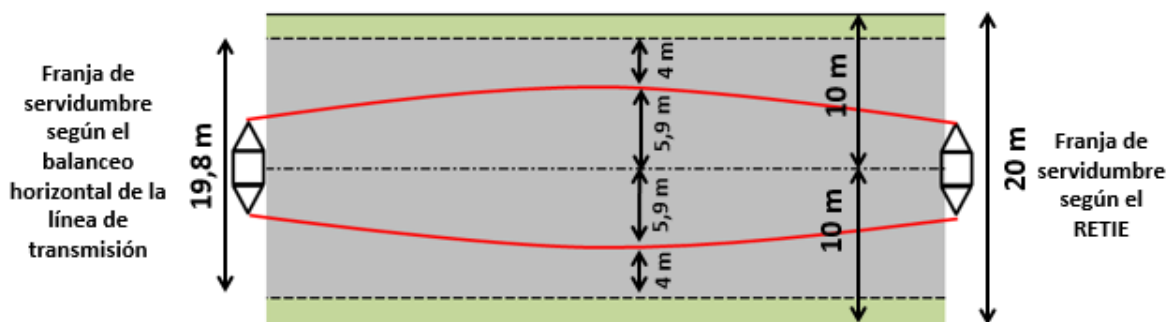


Figura 31. Franja de servidumbre debido al balanceo

Aún no se cumple con lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas en cuanto a la distancia mínima de seguridad de 4 metros, aunque se está cumpliendo con la establecido en la tabla 22.1 *Ancho de zona de servidumbre de líneas de transmisión (m)* del artículo 22.2 *Zonas de servidumbre*, donde para este tipo de líneas de transmisión se exige un ancho de 20 metros.

3.2.2 Alternativa 2- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 3 metros

Como no se cumplió con lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE en cuanto a la distancia mínima de seguridad de 4 metros en la alternativa 1, se

analiza cambiando las estructuras por estructuras más compactas, con distancia horizontal entre faces de 3 metros. En la siguiente figura se muestra el resultado obtenido.

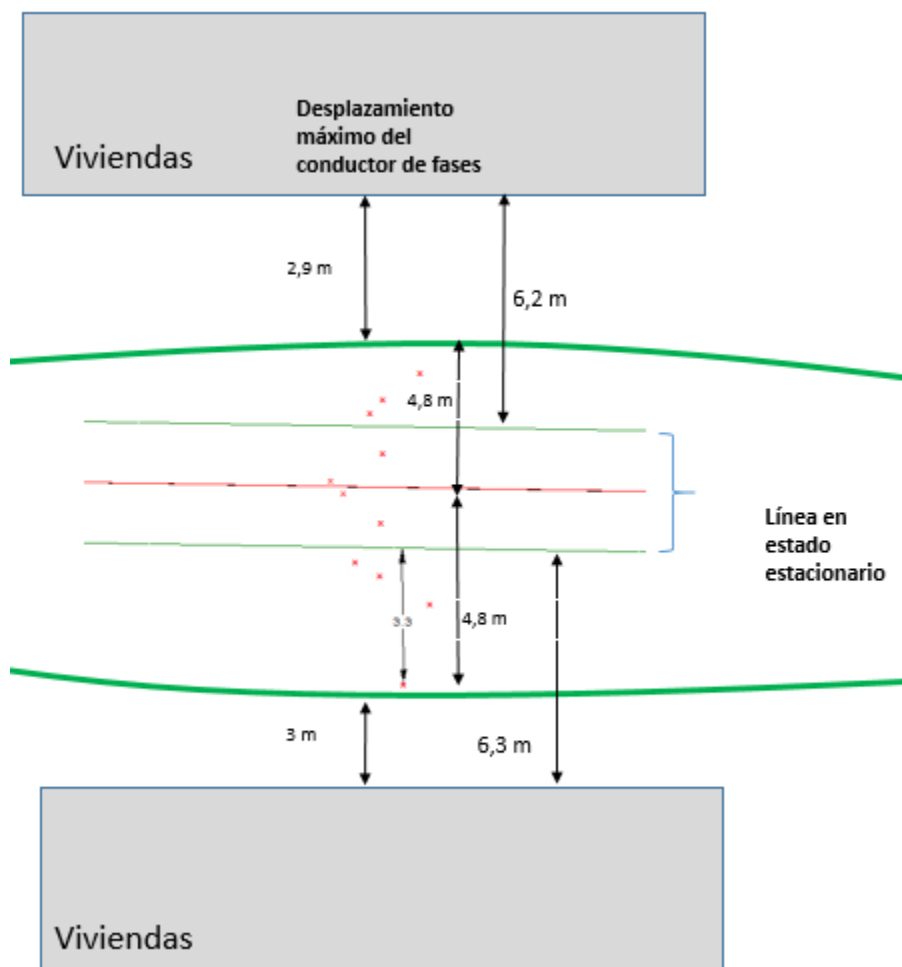


Figura 32. Franja de servidumbre debido al balanceo

Para este caso, el desplazamiento máximo de balanceo es de **3,3** metros con referencia a la fase, más **4** metros de distancia de seguridad horizontal, más **1,5** metros de distancia del eje de la línea al eje de la fase, resulta una servidumbre de **8,8** metros desde el eje de la línea de transmisión, es decir, en total sería una servidumbre de **17,6** metros y adicionalmente con el máximo desplazamiento horizontal, se conserva una distancia de 3 metros a la fachada de las viviendas aun incumpliendo la distancia mínima de seguridad de 4 metros.

3.2.3 Alternativa 3- Utilización de postes de fibra de vidrio con ancho entre fases de 4 metros e instalación de un apoyo adicional

Como aún no se cumple con lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE en cuanto a la distancia mínima de seguridad de 4 metros, se analiza utilizando las estructuras compactas con distancia horizontal entre fases de 3 metros y adicionalmente se instala un apoyo que limite la longitud del vano, puesto que es un vano de 357 metros. En la siguiente figura se muestra el resultado obtenido.

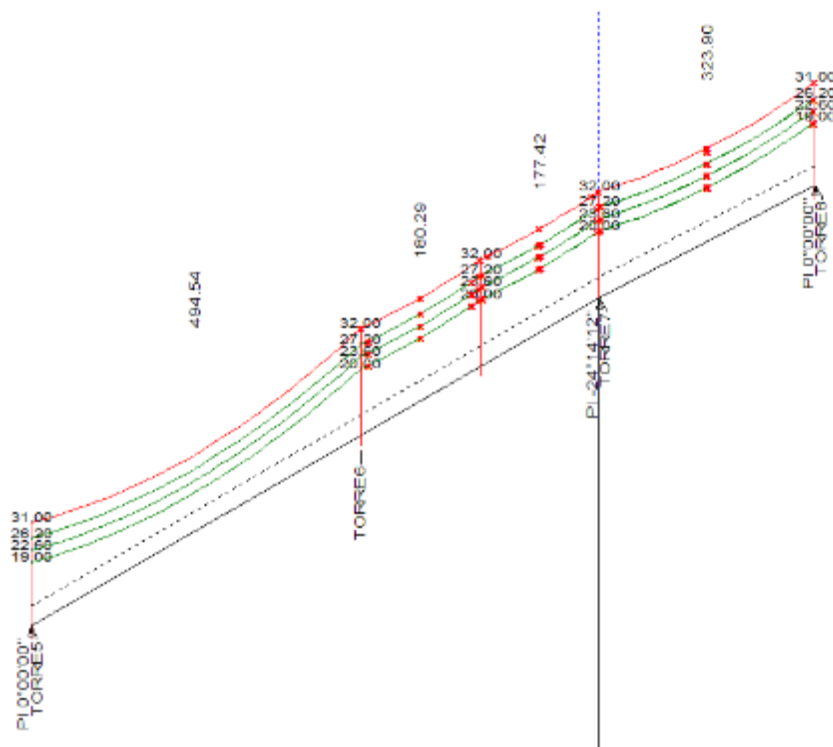


Figura 33. Perfil del tramo de la línea con estructura compacta adicionando una estructura

Tabla 11. Balanceo en los conductores de fase-Alternativa 3

No. De estructura inicial	No. De estructura final	Fase	Descripción de la condición ambiental	Dirección del viento	Máximo desplazamiento de la referencia (m)	Referencia al conductor (Exterior)	Máximo movimiento
Torre 6	Torre 6A	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	0,55
Torre 6	Torre 6A	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	

No. De estructura inicial	No. De estructura final	Fase	Descripción de la condición ambiental	Dirección del viento	Máximo desplazamiento de la referencia (m)	Referencia al conductor (Exterior)	Máximo movimiento
Torre 6	Torre 6A	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	
Torre 6	Torre 6A	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,44	0,44	
Torre 6	Torre 6A	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	
Torre 6	Torre 6A	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	
Torre 6	Torre 6A	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	
Torre 6A	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	0,55
Torre 6A	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	
Torre 6A	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	-1,45	0,55	
Torre 6A	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	-2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Izquierda	2,4	0,4	
Torre 6A	Torre 7	1	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	
Torre 6A	Torre 7	2	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	
Torre 6A	Torre 7	3	Mínima Temp máximo viento	Derecha	1,45	0,55	

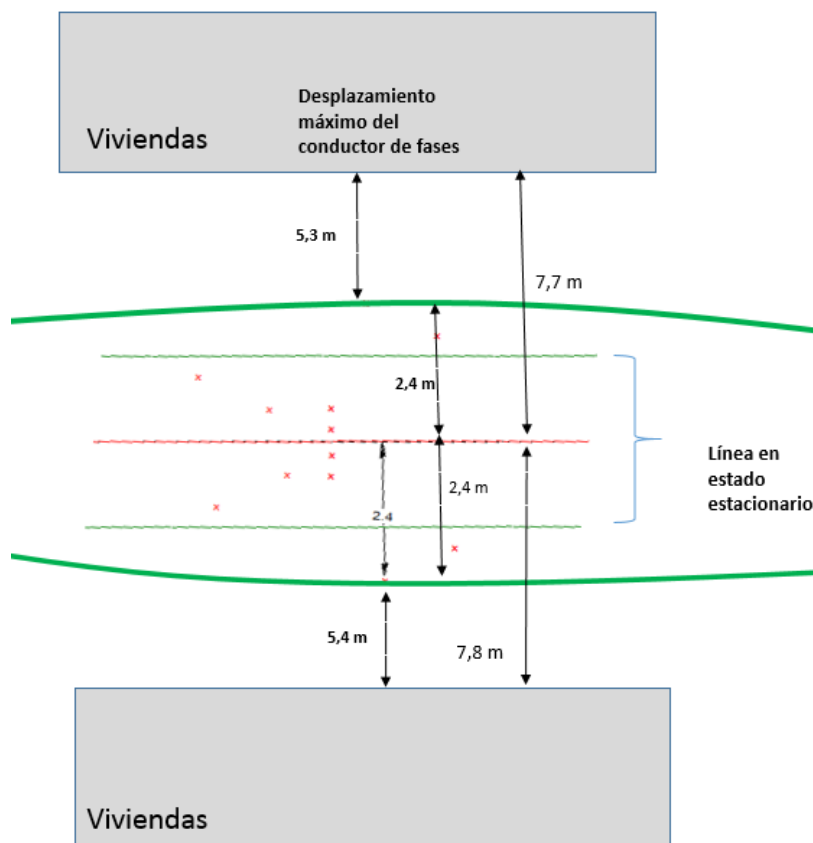


Figura 34. Franja de servidumbre debido al balanceo

El mayor desplazamiento horizontal debido a la condición climática de máximo viento se presenta a 90,9 metros de la torre No. 6, cuya magnitud de desplazamiento de los conductores de fases es de **0,9 metros** con referencia al eje del conductor de fases, es decir, **2,4 metros** desde el eje de la línea, y tal como se observa en la figura, los conductores de fases no alcanzan a tocar la fachada de las edificaciones, queda a una distancia de 5,4 metros, por lo que se encuentra cumpliendo con la distancia mínima de seguridad requerida por el RETIE en relación a la seguridad de las personas que habitan las viviendas aledañas.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para las líneas de transmisión que cruzan zonas urbanas, es muy importante tener en cuenta el parámetro del balanceo máximo horizontal y calcular a partir del resultado el ancho de servidumbre contemplando la distancia mínima de seguridad exigida por el RETIE, para de esta manera evitar que se construyan edificaciones cercanas a los conductores de fases y donde dicho parámetro no se tiene en cuenta.
- En Colombia, en algunos casos se ha buscado la utilización de estructuras compactas con el fin de reducir la franja de seguridad.
- Para la utilización de estructuras compactas, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de balanceo, su utilización es importante en la zona urbana, puesto que su limitante es la longitud del vano, donde al tener las longitudes de vanos que se tienen cuando se utilizan estructuras convencionales el ancho de servidumbre no se reduce considerablemente en comparación a lo exigido en el RETIE.
- En la línea de transmisión denominada Zamora – Horizonte y Cabañas- Colombia a 110 kV entre el vano de las torres No. 6 y torre No. 7 en el barrio Cabañas en la calle 26A entre las carreras 58 y 58d del municipio de Bello se contabilizaron 75 casas de diferentes niveles, en total son 190 viviendas que actualmente se encuentran invadiendo la servidumbre.
- De acuerdo al incumplimiento de lo exigido por el RETIE, se simuló tres escenarios utilizando dos tipos de estructuras compactas, la primera con un ancho de 4 metros y la otra con un ancho de 3 metros. En la primera, se redujo el ancho de servidumbre en 9,4 metros, es decir un 32 %, en el segundo, se redujo en 11,6 metros es decir un 40 % y en el tercero, se redujo en un 44%. Este porcentaje de reducción se analiza con el ancho de servidumbre de 14,6 metros que resultó del análisis inicial que se calculó teniendo en cuenta lo estipulado en el RETIE de acuerdo al estudio de balanceo. Aunque la reducción de ancho de servidumbre en las dos primeras alternativas es considerable, debido al poco espacio en el sector de estudio no se alcanza a cumplir con la distancia mínima de seguridad de 4 metros a partir del

desplazamiento horizontal máximo, lo que, si sucede instalando un apoyo adicional, donde se reduce considerablemente el ancho de servidumbre y se conserva la distancia mínima de seguridad de 4 metros, para este caso en particular fue de 5,3 metros.

- La ventaja principal de la utilización de estructuras compactas se nota en la reducción del ancho de servidumbre de acuerdo al estudio de balanceo, sin embargo, para cumplir ello, es necesario la utilización de una mayor cantidad de estructuras en comparación con las estructuras tradicionales, puesto que con la reducción de los vanos se limita el desplazamiento horizontal del conductor. De acuerdo a lo anterior, la aplicación de las estructuras compactas cobra relevancia cuando una línea de transmisión cruza zonas urbanas, donde por el poco espacio debido a las construcciones y adicionalmente por el costo elevado de los predios hace que sea beneficioso su implementación.
- En el Anexo 1, se realiza la comparación del RETIE publicado en el 2013 con las modificaciones que actualmente se están discutiendo y que se presenta en borrador, encontrando que no modifica los artículos del RETIE objeto del análisis realizado.
- La problemática de invasiones a la servidumbre de las líneas de transmisión en Colombia es generalizada y desborda la capacidad de tomar acciones de restitución de servidumbre para las empresas dueñas de dichas líneas. Éste por ser un problema de índole social, de incumplimiento en cuanto a la seguridad eléctrica para las personas en su entorno y teniendo en cuenta la posibilidad de la utilización de estructuras compactas para reducir el ancho de servidumbre y cumplir con las distancias mínimas de seguridad a las edificaciones exigidas en el RETIE, sería importante que las empresas dueñas de las líneas de transmisión consideren esta alternativa que es viable para solucionar dicha problemática.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Ministerio de minas y energía, Resolución N° 90708 de 2013.
- [2] Chan, Jhon K. 115-345 kV Compact Line Design, EPRI Transmission Line Reference Book, Palo Alto, California, USA
- [3] Manual PLS CADD versión 14.40. *Power Line Systems inc.*
- [4] González, Ibia. *Línea eléctrica compacta a 33 kV*. Revista Energía y computación. Volumen VIII. 1999.
- [5] Gonzáles L., Francisco. *Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas*. Curso de líneas de Transmisión I. 2007.
- [6] Bustamante C., Katherine; Enriquez E., Christian; Bruno B., Mirabá; Romero, Héctor. *Proyecto de investigación de Líneas compactas*. Curso Alta Tensión I. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
- [7] Vélez M., Juan Camilo., Análisis técnico económico para la implementación y mantenimiento de líneas de transmisión compactas en corredores urbanos del Valle de Aburrá. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia, 2015.
- [8] IEEE Std. 738-2006. IEEE standard for calculating the current-temperature of bare Overhead Conductors. New York, USA, 2006.
- [9] RUS BULLETIN 1724E-200. Desing manual for high voltage transmission lines. Electric staff division rural utilities service U.S. Department of agriculture. USA, 2005.
- [10] EPM (2017). Con buena energía, EPM avanza en la construcción de la línea de transmisión Bello-Guayabal-Ancón. Medellín, Colombia. Recuperado de <http://www.epm.com.co/site/Home/SaladePrensa/Noticiasynovedades/>

ANEXO 1

Comparación del RETIE del año 2013
con su próxima modificación

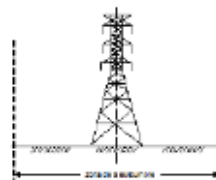
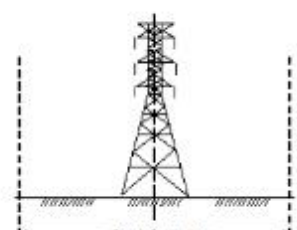
COMPARACIÓN DEL RETIE DEL AÑO 2013 CON LA ÚLTIMA MODIFICACIÓN

Al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE desde su entrada en vigencia el 1° de mayo de 2005 se le ha realizado modificaciones siendo la última en agosto de 2013 mediante resolución No. 90708 de emitida por el Ministerio de Minas y energía de Colombia. Actualmente se están desarrollando una modificación por lo que se analizará el borrador que se lleva hasta el momento.

- En la siguiente tabla se muestra la comparación del artículo 22.2 de las zonas de servidumbres en los literales desde la a hasta la g donde no se encontró modificación alguna.

RETIE 2013	Borrador de la nueva modificación
22.2 ZONAS DE SERVIDUMBRE. Para efectos del presente reglamento, las zonas de servidumbre deben ceñirse a las siguientes consideraciones: a. Toda línea de transmisión aérea con tensión nominal igual o mayor a 57,5 kV, zona de seguridad o derecho de vía. Esta zona debe estar definida antes de la construcción de la línea, para lo cual se deben adelantar las gestiones para la constitución de la servidumbre, ya sea por mutuo acuerdo con los propietarios del terreno o por vía judicial. El propietario u operador de la línea debe hacer uso periódico de la servidumbre ya sea con el mantenimiento de la línea o poda de la vegetación y debe dejar evidencia de ello. En los casos que la servidumbre se vea amenazada, en particular con la construcción de edificaciones, debe solicitar el amparo policivo y demás figuras que tratan las leyes. b. Dentro de la zona de servidumbre se debe impedir la siembra o crecimiento natural de árboles o arbustos que con el transcurrir del tiempo comprometan la distancia de seguridad y se constituyan en un peligro para las personas o afecten la confiabilidad de la línea. c. No se deben construir edificios, edificaciones, viviendas, casetas o cualquier tipo de estructuras para albergar personas o animales. Tampoco se debe permitir alta concentración de personas en estas áreas de servidumbre, o la presencia permanente de trabajadores o personas a la actividad eléctrica de la línea, ni el uso permanente de estos espacios como lugares de parqueo, o reparación de vehículos o para el desarrollo de actividades comerciales o recreacionales. Las oficinas de planeación municipal y las curadurías deben abstenerse de otorgar licencias o permisos de construcción en dichas áreas y los municipios atender sus responsabilidades en cuanto al control del uso del suelo y el espacio público de conformidad con la Ley. d. En los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) se debe respetar las limitaciones en el uso del suelo por la infraestructura eléctrica existente. Igualmente, los POT deben tener en cuenta los planes de expansión para poder garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica. e. En los casos en que los Planes de Ordenamiento Territorial no permitan la construcción de una línea aérea en la zona urbana o las afectaciones por campos electromagnéticos o distancias de seguridad, superen los valores establecidos en el presente reglamento, la línea debe ser subterránea, teniendo en cuenta los espacios adecuados para la operación y el mantenimiento. f. El Operador de Red debe negar la conexión a la red de distribución local, a una instalación que invada la zona de servidumbre, por el riesgo que representa para la vida de las personas. g. En la zona de servidumbre a un metro de altura del piso los campos electromagnéticos no deben superar los valores establecidos en el artículo 14° del presente Anexo General, para exposición ocupacional. En los alrededores de las áreas de servidumbre los valores a considerar serán los de exposición del público en general y si se tienen edificaciones deben medirse a un metro de altura del piso donde permanezcan las personas.	22.2 ZONAS DE SERVIDUMBRE Para efectos del presente reglamento, las zonas de servidumbre deben ceñirse a las siguientes consideraciones: a. Toda línea de transmisión aérea con tensión nominal igual o mayor a 57,5 kV, debe tener una zona de seguridad o derecho de vía. Esta zona debe estar definida antes de la construcción de la línea, para lo cual se deben adelantar las gestiones para la constitución de la servidumbre, ya sea por mutuo acuerdo con los propietarios del terreno o por vía judicial. El propietario u operador de la línea tiene que hacer uso periódico de la servidumbre ya sea en labores de mantenimiento de la línea o poda de vegetación y debe dejar evidencia de ello. En los casos en que la servidumbre se vea amenazada, en particular con la construcción de edificaciones, el propietario u operador debe solicitar el amparo policivo y demás figuras que tratan las leyes. b. Dentro de la zona de servidumbre se debe impedir la siembra o crecimiento natural de árboles o arbustos que con el transcurrir del tiempo comprometan la distancia de seguridad y se constituyan en un peligro para las personas o afecten la confiabilidad de la línea. c. En las zonas de servidumbre no se deben construir edificios, edificaciones, viviendas, casetas o cualquier tipo de estructuras para albergar personas o animales. Tampoco se debe permitir alta concentración de personas o la presencia permanente de trabajadores o personas ajenas a la operación o mantenimiento de la línea, ni el uso permanente de estos espacios como lugares de parqueo, reparación de vehículos, o el desarrollo de actividades comerciales o recreacionales. Las oficinas de planeación municipal y las curadurías deben abstenerse de otorgar licencias o permisos de construcción en dichas áreas y los municipios deben atender sus responsabilidades en cuanto al control del uso del suelo y el espacio público de conformidad con la Ley. d. En los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) se deben respetar las limitaciones en el uso del suelo por la infraestructura eléctrica existente. Igualmente, los POT deben tener en cuenta los planes de expansión para poder garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica. e. En los casos en que los Planes de Ordenamiento Territorial no permitan la construcción de una línea aérea en la zona urbana o cuando las afectaciones por campos electromagnéticos o distancias de seguridad, superan los valores establecidos en el presente reglamento, la línea debe ser subterránea, teniendo en cuenta los espacios adecuados para su operación y mantenimiento. f. El Operador de Red debe negar la conexión a la red de distribución local, a una instalación que invada la zona de servidumbre, por el riesgo que representa para la vida de las personas. g. En la zona de servidumbre a un metro de altura del piso los campos electromagnéticos no deben superar los valores establecidos en el Artículo 14° del presente Anexo General.

- Para la tabla 22.1 Ancho de servidumbre, en la nueva modificación se agrega el ancho de servidumbre para líneas de transmisión en corriente continua y se agregan otros niveles de tensión. En cuanto al ancho de servidumbre de los demás niveles de tensión no ha modificación al RETIE de 2013.

RETIE 2013	Borrador de la nueva modificación																																																																																									
h. Para efectos del presente reglamento y de acuerdo con las tensiones normalizadas en el país, en la Tabla 22.1 se fijan los valores mínimos requeridos en el ancho de la zona de servidumbre, cuyo centro es el eje de la línea.	h. Para efectos del presente reglamento y de acuerdo con las tensiones normalizadas en el país, en la Tabla 22.1 se fijan los valores mínimos requeridos en el ancho de la zona de servidumbre, cuyo centro es el eje de la línea.																																																																																									
<table><tr><th>TIPO DE ESTRUCTURA</th><th>TENSION (kV)</th><th>ANCHO MÍNIMO (m)</th></tr><tr><td>Torres</td><td>500</td><td>60</td></tr><tr><td>Torres</td><td>220/230 (2 Ctos.)</td><td>32</td></tr><tr><td></td><td>220/230 (1 Cto.)</td><td>30</td></tr><tr><td>Postes</td><td>220/230 (2 ctos.)</td><td>30</td></tr><tr><td></td><td>220/230 (1 cto.)</td><td>28</td></tr><tr><td>Torres</td><td>110/115 (2 ctos.)</td><td>20</td></tr><tr><td></td><td>110/115 (1 cto.)</td><td>20</td></tr><tr><td>Postes</td><td>110/115 (2 ctos.)</td><td>15</td></tr><tr><td></td><td>110/115 (1 cto.)</td><td>15</td></tr><tr><td>Torres/postes</td><td>57,5/66</td><td>15</td></tr></table> Tabla 22.1 Ancho de la zona de servidumbre de líneas de transmisión [m]	TIPO DE ESTRUCTURA	TENSION (kV)	ANCHO MÍNIMO (m)	Torres	500	60	Torres	220/230 (2 Ctos.)	32		220/230 (1 Cto.)	30	Postes	220/230 (2 ctos.)	30		220/230 (1 cto.)	28	Torres	110/115 (2 ctos.)	20		110/115 (1 cto.)	20	Postes	110/115 (2 ctos.)	15		110/115 (1 cto.)	15	Torres/postes	57,5/66	15	<table><tr><th>Tipo de estructura</th><th>Tensión CA (Fase – Fase, kV)</th><th>Tensión CC (kV)</th><th>Ancho mínimo (m)</th></tr><tr><td>Torres/postes</td><td>500 (2 Ctos.)</td><td>400 (2 Ctos.)</td><td>60</td></tr><tr><td></td><td>500 (1 Cto.)</td><td>400 (1 Cto.)</td><td>60</td></tr><tr><td>Torres/postes</td><td>345 (2 Ctos.)</td><td>300 (2 Ctos.)</td><td>37</td></tr><tr><td></td><td>345 (1 Cto.)</td><td>300 (1 Cto.)</td><td>34</td></tr><tr><td>Torres</td><td>220/230 (2 Ctos.)</td><td>200 (2 Ctos.)</td><td>32</td></tr><tr><td></td><td>220/230 (1 Cto.)</td><td>200 (1 Cto.)</td><td>30</td></tr><tr><td>Postes</td><td>220/230 (2 Ctos.)</td><td>200 (2 Ctos.)</td><td>30</td></tr><tr><td></td><td>220/230 (1 Cto.)</td><td>200 (1 Cto.)</td><td>28</td></tr><tr><td>Torres</td><td>110/115 (2 Ctos.)</td><td></td><td>20</td></tr><tr><td></td><td>110/115 (1 Cto.)</td><td></td><td>20</td></tr><tr><td>Postes</td><td>110/115 (2 Ctos.)</td><td></td><td>15</td></tr><tr><td></td><td>110/115 (1 Cto.)</td><td></td><td>15</td></tr><tr><td>Torres/postes</td><td>57,5/66 (1 o 2 Ctos.)</td><td></td><td>15</td></tr></table> Tabla 22.1 Ancho de la zona de servidumbre de líneas de transmisión [m] Nota 1: Cuando en una misma estructura se instalan circuitos de diferente nivel de tensión, el ancho de servidumbre mínimo debe ser el que le corresponde a la línea de mayor tensión. Nota 2: Para líneas de transmisión en corriente directa (HVDC) los anchos mínimos de las franjas de servidumbre, son los establecidos en la Tabla 22.1, sin embargo, podrán ser ajustados conforme a resultados de un estudio técnico de un caso particular. Nota 3: Los valores de servidumbre establecidos en la Tabla 22.1 hacen alusión a anchos mínimos, no obstante, atendiendo el principio de economía, y la reducción del impacto visual y ambiental, los anchos máximos no deben superar el 10% del valor señalado en la tabla, a menos que se esté reservando mayor espacio para una futura ampliación del nivel de tensión sobre el mismo corredor.	Tipo de estructura	Tensión CA (Fase – Fase, kV)	Tensión CC (kV)	Ancho mínimo (m)	Torres/postes	500 (2 Ctos.)	400 (2 Ctos.)	60		500 (1 Cto.)	400 (1 Cto.)	60	Torres/postes	345 (2 Ctos.)	300 (2 Ctos.)	37		345 (1 Cto.)	300 (1 Cto.)	34	Torres	220/230 (2 Ctos.)	200 (2 Ctos.)	32		220/230 (1 Cto.)	200 (1 Cto.)	30	Postes	220/230 (2 Ctos.)	200 (2 Ctos.)	30		220/230 (1 Cto.)	200 (1 Cto.)	28	Torres	110/115 (2 Ctos.)		20		110/115 (1 Cto.)		20	Postes	110/115 (2 Ctos.)		15		110/115 (1 Cto.)		15	Torres/postes	57,5/66 (1 o 2 Ctos.)		15
TIPO DE ESTRUCTURA	TENSION (kV)	ANCHO MÍNIMO (m)																																																																																								
Torres	500	60																																																																																								
Torres	220/230 (2 Ctos.)	32																																																																																								
	220/230 (1 Cto.)	30																																																																																								
Postes	220/230 (2 ctos.)	30																																																																																								
	220/230 (1 cto.)	28																																																																																								
Torres	110/115 (2 ctos.)	20																																																																																								
	110/115 (1 cto.)	20																																																																																								
Postes	110/115 (2 ctos.)	15																																																																																								
	110/115 (1 cto.)	15																																																																																								
Torres/postes	57,5/66	15																																																																																								
Tipo de estructura	Tensión CA (Fase – Fase, kV)	Tensión CC (kV)	Ancho mínimo (m)																																																																																							
Torres/postes	500 (2 Ctos.)	400 (2 Ctos.)	60																																																																																							
	500 (1 Cto.)	400 (1 Cto.)	60																																																																																							
Torres/postes	345 (2 Ctos.)	300 (2 Ctos.)	37																																																																																							
	345 (1 Cto.)	300 (1 Cto.)	34																																																																																							
Torres	220/230 (2 Ctos.)	200 (2 Ctos.)	32																																																																																							
	220/230 (1 Cto.)	200 (1 Cto.)	30																																																																																							
Postes	220/230 (2 Ctos.)	200 (2 Ctos.)	30																																																																																							
	220/230 (1 Cto.)	200 (1 Cto.)	28																																																																																							
Torres	110/115 (2 Ctos.)		20																																																																																							
	110/115 (1 Cto.)		20																																																																																							
Postes	110/115 (2 Ctos.)		15																																																																																							
	110/115 (1 Cto.)		15																																																																																							
Torres/postes	57,5/66 (1 o 2 Ctos.)		15																																																																																							
																																																																																										
Figura 22.1. Ancho de la zona de servidumbre	Figura 22.1. Ancho de la zona de servidumbre																																																																																									

- En los literales *i* y *j* hay se resalta en azul las nuevas modificaciones, las cuales no contradice lo estipulado en el RETIE del 2013, puesto que se están realizando aclaraciones de conceptos claves para la utilización de estructuras compactas.

RETIE 2013	Borrador de la nueva modificación
i. Servidumbre en líneas compactas: El ancho mínimo de la servidumbre en los tramos compactos de una línea nueva, se determinará como la distancia entre los puntos a ambos lados de la línea a partir de los cuales a un metro de altura del suelo o el piso donde se tenga presencia humana, el campo eléctrico y el campo magnético no superan los valores establecidos en el artículo 14º del presente Anexo General, para exposición del público en general, incluyendo las condiciones más críticas de temperatura, vientos o fuerzas electromagnéticas a que puedan estar sujetos los conductores en la línea de transmisión. Dicha servidumbre nunca podrá ser menor que la que resulte de considerar las distancias de seguridad establecidas en el literal "j" del presente numeral. j. Para líneas de transmisión con tensión nominal menor o igual a 500 kV que crucen zonas urbanas o áreas industriales y para las cuales las construcciones existentes imposibilitan dejar el ancho de la zona de servidumbre establecido en la tabla 22.1, se acepta construir la línea aérea, bajo los siguientes requisitos: a) que el Plan de Ordenamiento Territorial existente en el momento de la planeación del proyecto así lo permita, b) Que un estudio de aislamiento del caso en particular, demuestre que no hay riesgos para las personas o bienes que se encuentran en las edificación, c) que en la edificación los valores de campos electromagnéticos para público en general no sean superados, d) que los valores de radiointerferencia ni ruido acústico supere los valores establecidos por la autoridad competente, e) que se asegure cumplir distancias de seguridad horizontales de por lo menos 3,5 m para 57,5 kV, 4 m para 115 kV, 6 m para 230 kV y 8,6 m para 500 kV, teniendo en cuenta los máximos movimientos de acercamiento a la edificación que pueda tener el conductor, estas distancias se deben medir entre la proyección vertical más saliente del conductor y el punto más cercano de la edificación. Para estos casos se recomienda el uso de líneas compactas y podrá utilizar corredores de líneas de otras tensiones, montando varias líneas en la misma estructura ya sea torre o poste. En ningún caso la línea podrá ser construida sobre edificaciones o campos deportivos que tengan asociado algún tipo de construcción.	i. Servidumbre en líneas compactas (estructuras con más de dos circuitos o que utilicen aislamiento compacto): El ancho mínimo de la servidumbre de una línea compacta nueva, se determinará como la distancia entre los puntos a ambos lados de la línea a partir de los cuales a un metro de altura del suelo o del piso donde se tenga presencia humana, el campo eléctrico y el campo magnético no superan los valores establecidos en el Artículo 14º del presente Anexo General, para exposición del público en general, y que las distancias de seguridad no sean menores a las planteadas en el literal "J" del presente numeral, incluyendo las condiciones más críticas de temperatura, vientos o fuerzas electromagnéticas a que puedan estar sujetos los conductores en la línea de transmisión. j. Para líneas de transmisión con tensión nominal menor o igual a 500 kV que crucen zonas urbanas o áreas industriales y para las cuales las construcciones existentes imposibilitan dejar el ancho de la zona de servidumbre establecido en la Tabla 22.1, se permite construir líneas aéreas, bajo los siguientes requisitos: • Que el Plan de Ordenamiento Territorial existente en el momento de la planeación del proyecto así lo permita. • Que un estudio de aislamiento del caso en particular, demuestre que no hay riesgos para las personas o bienes que se encuentran en las edificaciones. • Que en las edificaciones los umbrales de campos electromagnéticos para público en general no sean superados. • Que la radio interferencia no supere los valores aceptados por la autoridad competente, la cual depende de la relación señal-ruido (SNR) mínima y el tipo de estación radial, la resolución CREG 098-2000 establece los niveles máximos de radio interferencia aceptados por la IEEE y el CIGRÉ, debido a que dicha resolución no indica la clase de intensidad de la señal a proteger, se recomienda tener en cuenta los parámetros técnicos establecidos en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada, numeral 4. • Que el ruido audible no supere los valores establecidos por la autoridad competente. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante la Resolución 627 de 2006, estableció que para zonas urbanas o rurales de tranquilidad y nivel de ruido moderado (sector D), el nivel de ruido máximo permitido es 55 dB día (desde las 7:01 hasta las 21:00 horas) • 50 dB noche (desde las 21:01 hasta las 7:00 horas) . • Que se asegure cumplir las siguientes distancias de seguridad, medidas horizontalmente desde la proyección vertical al conductor más saliente del lado de las construcciones, las cuales no podrán ser inferiores a: 3,5 m para 57,5 kV, 4 m para 115 kV, 6 m para 230 kV, 7,5 m para 345 kV y 8,6 m para 500 kV, teniendo en cuenta los máximos movimientos de acercamiento a la edificación que pueda tener el conductor, estas distancias se deben medir entre la proyección vertical más saliente del conductor y el punto más cercano de la edificación. Para líneas de CC se debe tener en cuenta las proporciones aplicadas en la tabla 22.1 Para estos casos se recomienda el uso de líneas compactas y podrán utilizarse corredores de líneas de otras tensiones, montando varias líneas en la misma estructura ya sea torre o poste. En ningún caso la línea podrá ser construida sobre edificaciones o campos deportivos que tengan asociado algún tipo de construcción que pueda albergar personas. <i>Parágrafo: Los valores de servidumbres constituidas con anterioridad a la vigencia del RETIE (1 de mayo 2005) podrán mantenerse, siempre y cuando se conserve el mismo nivel de tensión y no se contravenga lo señalado en el literal "J" del presente numeral.</i>

De acuerdo a la anterior comparación, las nuevas modificaciones del RETIE no modificaron el objetivo del análisis presentado en este trabajo de grado, por el contrario, refuerza los conceptos para su implementación.