



**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COMPACTAS EN
CORREDORES URBANOS DEL VALLE DE ABURRÁ**

I.E JUAN CAMILO VÉLEZ MAYA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
ESPECIALIZACIÓN EN TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2015**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COMPACTAS EN
CORREDORES URBANOS DEL VALLE DE ABURRÁ**

I.E JUAN CAMILO VÉLEZ MAYA

**Trabajo De grado para optar al título de Especialista en
Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.**

Director:

**I.E JUAN GONZALO HERNÁNDEZ CASTAÑO
Especialista en Transmisión y Distribución de energía Eléctrica.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
ESPECIALIZACIÓN EN TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2015**

Nota de aceptación

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Firma

Nombre

Jurado

Firma

Nombre

Jurado

Medellín, julio de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente a mi señora madre Adíela Amparo, mi hermana Ana María y mi madrina María Celina, por impulsarme día a día a ser mejor persona y profesional, y quienes han depositado todo su apoyo y confianza en cada uno de los proyectos que emprendo en mi vida

.

A Juan Gonzalo Hernández por su dedicación, ayuda y paciencia en el desarrollo del trabajo de grado.

A los compañeros de “Empresas Públicas de Medellín, EPM” que fue en donde inicio la propuesta de tema para el trabajo de grado.

A “Eléctricas de Medellín Comercial, EDEMCO”, donde actualmente trabajo, por acogirme en sus instalaciones y brindarme la posibilidad de fortalecer mis bases morales y técnicas, además de facilitarme información para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente a todos y cada uno de los involucrados directa o indirectamente en la consecución del presente trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	7
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. INVESTIGACIÓN	14
2.1 Definición del problema	14
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1 Líneas de transmisión compactas	16
3.2 Definición de líneas de transmisión compactas	16
3.3 Generalidades de las líneas de transmisión compactas.	17
3.4 Principales diferencias entre líneas de transmisión convencionales y líneas de transmisión compactas.	20
3.5 Zonas de servidumbre en líneas de transmisión compactas para Colombia. ..	23
4. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA COMPACTA	31
4.1 Servidumbre línea convencional vs. Servidumbre línea compacta	32
4.2 Torres convencionales vs. Postes compactos	36
5. MANTENIMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	41
5.1 Inspección general:	41
5.2 Mantenimiento de servidumbre:	45
5.3 Modificación y medición de SPT:	47
6. CONCLUSIONES	54
7. BIBLIOGRAFIA	56

Lista de imágenes

<i>Imagen 1. Torre 220 kV doble circuito convencional.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 2. Poste 220 kV doble circuito compacto.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 3. Distancias típicas torre 110 kV.</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 4. Distancias típicas torre 220 kV.</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 5 Distancias típicas torre 500 kV.</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 6. Anchos de servidumbre.....</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 7. Servidumbre Línea Convencional.....</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 8. Servidumbre Línea Compacta.....</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 9. Silueta de poste metálico.</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 10. Cadena de aisladores contaminada. Línea 220 kV.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 11. Hilos rotos en cable de guarda línea de 500 kV.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 12. Paleta para puente conductor de fase línea de 220 kV.....</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 13. Amortiguador conductor de fase Línea de 220 kV.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 14. Identificación de posible acercamiento en línea de 220 kV.</i>	<i>45</i>
<i>Imagen 15. Limpieza de franja de servidumbre línea de 500 kV.....</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 16. Demolición de invasión en línea de 500 kV.....</i>	<i>47</i>
<i>Imagen 17. Instalación de puesta a tierra línea de 230 kV.....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 18. Carro canasta para trabajos bajo tensión.....</i>	<i>50</i>

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Esquema de método de investigación.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Mapa TyD Investigación del problema.....</i>	<i>15</i>

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Comparación líneas convencionales con líneas compactas.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2. Ancho de la zona de servidumbre de líneas de transmisión.</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad para líneas de transmisión.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4. Valor torres convencionales. Celosías de acero galvanizado para soporte de 2 circuitos 110 kV y 1 circuito 220 kV.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5. Cotización postes metálicos DIMEL ingeniería S A.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Comparación precios apoyos convencionales y postes metálicos.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Comparación mantenimiento líneas compactas y líneas convencionales.</i>	<i>52</i>

GLOSARIO

AISLADORES: Piezas de material aislante utilizadas para soportar los conductores eléctricos de las líneas eléctricas de transmisión y distribución. Fabricados normalmente en vidrio, porcelana y poliméricos. Los materiales constructivos como vidrio, porcelana, resinas epóxicas, esteatita u otros materiales aislantes, deben resistir acciones de la intemperie, también deben ofrecer la resistencia mecánica que supere los esfuerzos a los que estarán sometidos y protección contra corrosión para el medio donde se vaya a utilizar.

AISLADORES COMPUESTOS: Los aisladores compuestos están constituidos, básicamente, por un núcleo resistente dieléctrico, protegido por un revestimiento polimérico. Alrededor del núcleo se moldean una serie de aletas o platos que aseguran la tensión de fuga especificada.

AMORTIGUADOR: Elemento que se dispone en los conductores y en ocasiones en cable de guarda para disminuir la vibración de los elementos producida por las ráfagas de vientos a la que están expuestos.

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 o poste y que sirven para: generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea y apantallar o captar las descargas atmosféricas que pueden caer en los conductores de la línea.

CAMPOS ELECTROMAGNETICOS: Campo físico de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afectan a partículas con carga eléctrica.

CELOSÍA: Estructura reticular de barras rectas interconectadas en nodos formando triángulos planos o pirámides tridimensionales, también conocidas como armaduras o reticulados.

CONDUCTOR ELECTRICO: Material por el que circula un flujo de cargas eléctricas con cierta facilidad y sin descomponerse químicamente.

HERRAJES: Conjunto de piezas de acero o hierro con la que se fijan los conductores, aisladores y cables de guarda en torres.

LICENCIAMIENTO AMBIENTAL: Es un proceso utilizado para la planeación y administración de proyectos que asegura que las actividades humanas y económicas se ajusten a las restricciones ecológicas y de recursos y de esta forma se constituye en un mecanismo clave para promover el desarrollo sostenible.

LÍNEA COMPACTA: Es una línea eléctrica donde sus dimensiones, altura y ancho de estructura y ancho de servidumbres son reducidas, respecto de las líneas convencionales, gracias a un diseño y construcción optimizada.

LÍNEA ELÉCTRICA: Conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinados al transporte de energía eléctrica.

LÍNEA DE TRANSMISIÓN: Es un sistema de conductores y sus accesorios, para el transporte de energía eléctrica, desde una planta de generación o subestación a otra subestación. Un circuito teórico equivalente que representa una línea de energía o de comunicación.

MANTENIMIENTO: Conservación de un activo en buen estado para evitar su degradación.

PORTICO SUBESTACIÓN: Estructura donde salen o llegan conductores eléctricos y cables de guarda de una línea de transmisión.

PREDIO: Heredad, hacienda, tierra o posesión inmueble.

RETIE: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas Colombiano.

SERVIDUMBRE (DERECHO): Es la denominación de un tipo de derecho real que limita el dominio de un predio denominado fondo sirviente en favor de las necesidades de otro llamado fondo dominante perteneciente a otra persona.

SUBESTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA: Instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica.

TORRE ENERGÍA: Una torre eléctrica o apoyo eléctrico 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.

ZONA DE SERVIDUMBRE: Es una franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte o distribución de energía eléctrica, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de dicha línea, así como para tener una interrelación segura con el entorno.

RESUMEN

En este trabajo se discute la ventaja de implementar líneas de transmisión compactas en corredores urbanos.

Debido al crecimiento de la demanda y la entrada de nuevos proyectos de generación se crea la necesidad de tener nuevos caminos o mejorar los existentes para garantizar el transporte de la energía requerida para atender dicha demanda. Estos caminos de transporte son conocidos como líneas de transmisión de energía eléctrica, para atender las necesidades de transporte de energía se pueden crear nuevas líneas de transmisión o se puede re potencializar las líneas existentes. Normalmente en las ciudades se encuentran ubicadas subestaciones o centros de transmisión de energía y dado que el crecimiento urbanístico de las ciudades tiende a reducir el espacio para líneas de transmisión convencionales se está viendo la necesidad de utilizar modelos de transmisión compactos para crear un menor impacto ambiental, socioeconómico y urbanístico para las ciudades.

En el presente trabajo se presenta un análisis técnico económico y un comparativo entre líneas de transmisión compactas y líneas de transmisión tradicionales, así se podrá ilustrar las ventajas de la utilización de modelos compactos en corredores urbanos. Finalmente se presentan algunos métodos y acciones de mantenimiento preventivo y correctivo para alargar la vida útil de las líneas de transmisión.

Su aplicación está prevista para ser implementado en nuevas líneas de transmisión a construirse en el Valle de Aburrá.

INTRODUCCIÓN

Una línea de transmisión es un conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinado al transporte de energía eléctrica.

Las líneas de transmisión están constituidas normalmente por estructuras en celosías que soportan los conductores de forma aérea a través de un sistema que lo aísla del contacto directo con las estructuras de soporte. Se pueden utilizar para transmitir señales de corriente continua o corriente alterna. [1]

Existen especificaciones y normas que definen las distancias de seguridad (numeral 13.4 del RETIE: “*Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas*”) y anchos de servidumbre según análisis de campos electromagnéticos para los niveles de tensión utilizados en Colombia (numeral 22.2 del RETIE: “*Zonas de servidumbre*”). Lo que se pretende con la implementación de líneas de transmisión compactas es reducir la distancia entre conductores soportados por torrecillas o postes lo que se traduce en una reducción sustancial de las distancias de seguridad y anchos de servidumbre que así mismo se traduce en la premisa de interés que consiste en buscar rutas por zonas con una densidad de población relativamente alta y construcciones que hacen que sea poco factible implementar líneas de transmisión convencionales sin hacer una gran inversión en compra de predios y demolición de viviendas, edificios, centros comerciales y demás infraestructura que puedan estar presente en la ciudad. [2]

Para la óptima operación de las líneas es necesario un detallado diseño electromecánico que garantice la transmisión de energía con las mínimas condiciones, pero por otro lado hay ciertas restricciones que se deben tener en cuenta a la hora de realizar el trazado de una línea para su posterior construcción como lo son:

1. Consecución de licencias ambientales.
2. Pago del derecho de paso o constitución de servidumbres sobre predios de personas de alto poder adquisitivo o alta influencia política.

3. Posibilidad de interferir con los sistemas eléctricos en diferentes edificios en la ciudad (hospitales, sistemas de trenes eléctricos, gasolineras, etc.)

Para la consecución de los proyectos de transmisión dentro de corredores urbanos es preciso validar si pueda llegar a ser oportuno implementar líneas de transmisión compactas, buscando así disminuir las dimensiones de la infraestructura eléctrica y generar un menor impacto ambiental y social.

1. OBJETIVOS.

1.1 Objetivo General

Realizar un análisis técnico económico de líneas de transmisión compactas destinado a su implementación y mantenimiento en corredores urbanos en donde no se cuenta con muchas opciones en cuanto a espacio y rutas para la construcción de una línea de transmisión convencional.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un barrido del estado arte para conocer el desarrollo actual de las LTC.
- Seleccionar con base en criterios técnico-económicos las mejores rutas para la construcción de LTC.
- Cuantificar los costos por pago de derechos de servidumbre para diferentes corredores asociados con LTC.
- Recolectar y analizar información referente a materiales utilizados en LTC.
- Comparar la relación costo beneficio de la implementación de LTC ante LT convencionales.
- Recopilar información acerca del mantenimiento aplicado a LTC.

2. INVESTIGACIÓN

2.1 Definición del problema.

En la actualidad, varias de las subestaciones que se encuentran localizadas dentro del área urbana de ciudades cuentan con el problema de re potencialización y/o construcción de nuevas líneas que suministren la potencia necesaria para atender los requerimientos de la demanda de energía eléctrica que día a día es mayor.

Buscar el camino de llegada de una línea de transmisión a una subestación dentro de la ciudad ya sea para interconectar una nueva subestación, aumentar la confiabilidad con nuevas conexiones entre subestaciones, llegadas de líneas por la entrada de nuevos generadores, se hace cada vez más difícil debido a la gran concentración de población y construcciones dentro de la ciudad que cada día es mayor.

Buscar los caminos óptimos para el trazado de nuevas líneas o re potencializar las líneas existentes dentro de los corredores urbanos para aprovechar su franja de servidumbre que ya ha sido definida y adquirida, se convierte en la solución más precisa para el problema en cuestión.

En la Figura 1 se muestra el esquema del método adoptado para el proceso investigativo que se utilizará. El método fue propuesto en el seminario de investigación del posgrado.

El método se basa en la identificación de un problema al cual se le buscará una posible solución a partir de un análisis preliminar teniendo en cuenta las raíces, perceptores y elementos.

Resumiendo: se buscare la solución a un problema o un vacío orientado por las posibles herramientas y virtudes que se puedan ajustar al proceso de investigación y orientado a los perceptores que son los beneficiarios de resultado de la investigación. Es de anotar que los beneficiarios también pueden intervenir y hacer parte de la solución del problema.



Figura 1. Esquema de método de investigación.

En la Figura 2 se muestra el mapa TYD propuesto en el seminario de investigación del posgrado, en donde se listan las diferentes raíces, elementos y perceptores que componen el plan de investigación integrado para el problema planteado.

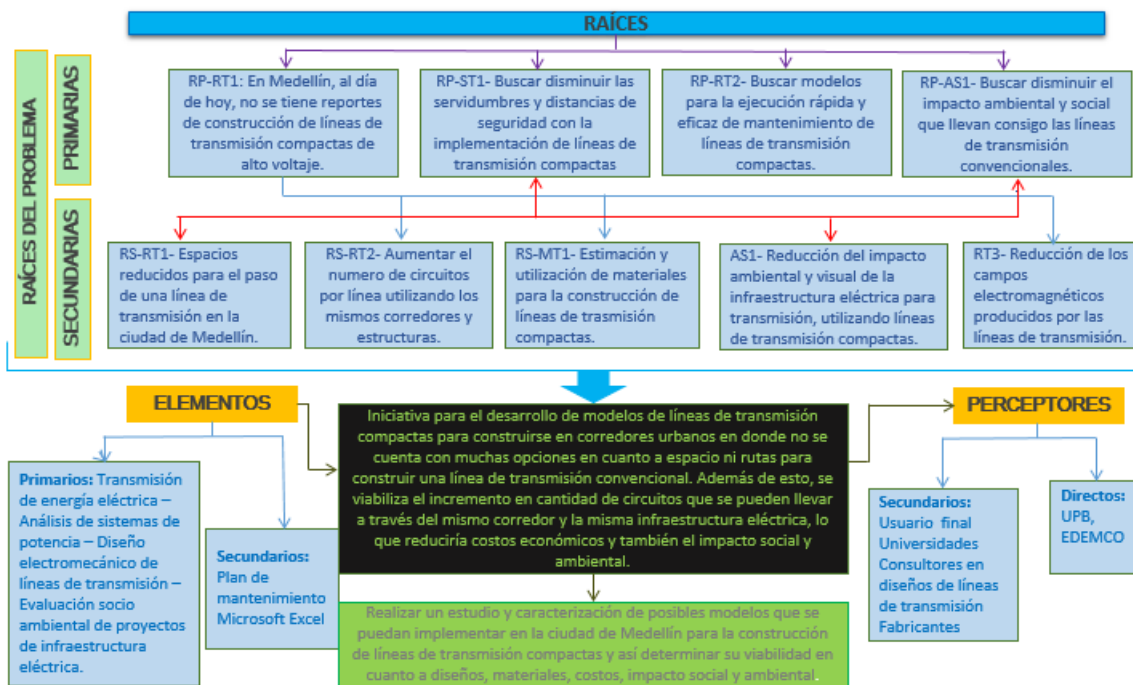


Figura 2. Mapa TyD Investigación del problema

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Líneas de transmisión compactas

1. Las LTC tienen como objetivo principal disminuir las dimensiones de las estructuras que soportan conductores y cables de guarda y así, a su vez, disminuir las distancias entre fases, fases y apantallamiento (cables de guarda) y la distancia entre el conductor más bajo y la tierra física.
2. En las LTC se usan aisladores compuestos con el fin de optimizar la distribución y magnitud del campo eléctrico y magnético (Geometría).
3. Se controlan los movimientos en las estructuras bajo altas condiciones de viento, restringiendo el libre movimiento de la configuración del aislador.
4. Según el diseño podrían dar lugar a un menor número de estructuras que con diseños convencionales.

Las LTC son consideradas la solución aceptada para resolver las limitaciones de infraestructura para repotenciación de líneas existentes o para las rutas de línea que pasan por zonas con alta densidad de población o infraestructura. Los aisladores compuestos ofrecen muchas ventajas que pueden ser utilizadas para arreglos compactos de una excelente manera.

Para obtener un rendimiento mecánico ideal, la norma IEC 61952 proporciona una guía para la calificación y estimación de los insumos necesarios para el diseño de las estructuras y el aislamiento que garanticen las condiciones óptimas de operación.

3.2 Definición de líneas de transmisión compactas

El término fue introducido en Estados Unidos para referirse a las líneas de transmisión aéreas que tienen como principal característica la disminución de distancias entre fases en comparación con las líneas tradicionales.

El principio puede usarse en cualquier nivel de tensión y la distancia mínima entre fases está determinada por los sobre voltajes permisibles normados para el aire.

En general este tipo de línea es más barato y es por ello que causa gran atención. Una de las maneras de conseguir reducir el costo de una línea de transmisión compacta comparada con su igual en construcción convencional es la implementación de fases de múltiples conductores, resultando así un empleo más completo de la superficie de los conductores.

Para obtener un rendimiento mecánico ideal, la norma IEC 61952 proporciona una guía para la calificación y estimación de los insumos necesarios para el diseño de las estructuras y el aislamiento que garanticen las condiciones óptimas de operación. [3]

3.3 Generalidades de las líneas de transmisión compactas.

Las líneas de transmisión compactas se caracterizan por lo siguiente:

1. Tienen como objeto principal disminuir las dimensiones de las estructuras que soportan conductores y cables de guarda y así, a su vez, disminuir las distancias entre fases, fases y apantallamiento (cables de guarda), y la distancia entre los conductores más bajos y la tierra física.
2. Se usan aisladores compuestos con el fin de optimizar la distribución y magnitud del campo eléctrico y magnético (Geometría).
3. Se controlan los movimientos en la estructura bajo altas condiciones de viento, restringiendo el libre movimiento de la configuración del aislador.
4. Según el diseño podrían dar lugar a un mayor número de estructuras que con diseños convencionales.

A continuación se presentan imágenes en la cuales se puede apreciar las diferencias básicas entre una línea de transmisión tradicional y una línea de transmisión compacta:

En la Imagen 1 se puede apreciar una torre doble circuito en retención que soporta dos circuitos de 220 kV cada uno. Es una torre convencional construida con una serie de piezas en acero galvanizado que se ensamblan hasta conseguir la firmeza y soporte de la estructura como se muestra en la imagen. Por lo general son de gran utilidad en topografías muy cambiantes debido a que se pueden extender a diferente medida la longitud de sus patas hasta obtener una estabilidad basada en la horizontalidad de la torre. ¹

En la Imagen 2 se puede apreciar un poste compacto utilizado para soportar igualmente dos circuitos de 220 kV cada uno. Se trata de un poste, normalmente construido en acero galvanizado y que puede estar diseñado por secciones que se ensamblan hasta lograr la altura necesaria para izar los circuitos. Se utilizan normalmente en sitios planos o exentos de erosión o movimientos de tierra debido a la lluvia, esto dado que son estructuras auto soportadas con un solo punto de apoyo y más vulnerable ante movimientos de tierra. También es de gran utilidad la implementación de postes en zonas con alto nivel de salinidad y contaminación para evitar el pronto deterioro por corrosión debido a la acumulación de sales en los ángulos y/o venas de las piezas en torres convencionales. ²

¹ Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, se restringe el uso del nombre de la línea de transmisión de la cual hace parte la torre expuesta en la imagen.

² Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, se restringe el uso del nombre de la línea de transmisión de la cual hace parte el poste expuesto en la imagen.



Imagen 1. Torre 220 kV doble circuito convencional



Imagen 2. Poste 220 kV doble circuito compacto

Es evidente la disminución de las distancias entre conductores y la distancia al eje de la línea de los mismos, al implementar líneas de transmisión del tipo compacto, muy útiles en corredores urbanos.

Las líneas compactas pueden ser fácilmente instaladas al margen de vías o carreteras tal como se observa en la Imagen 2, adicionalmente los postes pueden ser instalados sin la necesidad de vientos o retenidas según sea el caso.

3.4 Principales diferencias entre líneas de transmisión convencionales y líneas de transmisión compactas.

En la Tabla 1 se listan algunos aspectos de diseño, constructivos, de mantenimiento y de impacto socio ambiental de los dos tipos de líneas evaluadas.

Tabla 1. Comparación líneas convencionales con líneas compactas.

CRITERIO	LÍNEA CONVENCIONAL	LÍNEA COMPACTA
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • La selección de puntos de torres se hace más compleja. • Mayor cantidad de recursos en estudio de suelos. • Puede llegar a requerir mayor material en fundaciones y zapatas. • Mayor ancho de servidumbre 	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos de torre con un solo apoyo, menor área que una torre convencional. • Mayor aislamiento para poder garantizar el funcionamiento de la línea sabiendo que la distancia entre fases es menor. • Ancho de servidumbre se reduce comparado con el equivalente en líneas convencionales.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor cantidad de material. • Periodos constructivos más extensos. • Mayor dificultad de transporte de material a zonas de difícil acceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor cantidad de material. • Construcción más rápida. • Fácil transporte de material por zonas urbanas. • El uso del line post es muy usual. Su mantenimiento

	<ul style="list-style-type: none"> • Poco uso de aisladores tipo line post. • Estructuras con mayor estabilidad. • Estructuras con mayor fuerza y soporte ante atentados terroristas. 	<p>es de mayor recurrencia al mantenimiento del aislamiento de líneas convencionales.</p>
Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor impacto ambiental debido a que las torres son más anchas y robustas. • Mayor tala en construcción y el mantenimiento de servidumbre debido a que el ancho de la faja es mayor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor impacto ambiental debido a que los postes ocupan un menor espacio que las torres convencionales. • Debido a que el ancho de servidumbre se reduce la tala en la construcción y el mantenimiento es menor.
Implementación en corredores urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil trazado debido al poco espacio con que se cuenta en las ciudades para levantar torres convencionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su uso es más adecuado en corredores urbanos debido a que su ancho de servidumbre, reducido con respecto a las líneas convencionales; hace más sencillo su trazado.
Impacto social	<ul style="list-style-type: none"> • Dentro de corredores urbanos se hace más difícil la aceptación de las líneas de transmisión convencionales debido a que su impacto visual es alto y la negociación del 	<ul style="list-style-type: none"> • Dentro de corredores urbanos se puede ganar un tanto de aceptación debido a que su impacto visual es menor al de las torres convencionales, además la adquisición de

	<p>paso de servidumbre puede llegar a ser más complicada.</p>	<p>derecho de servidumbre se reduce debido a la compactación de las distancias de interés de la línea.</p>
<p>Mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mayor número de personas en las cuadrillas de inspección general, mantenimiento de servidumbre y modificación y medida de sistemas de puesta a tierra de las torres. • Se incrementa el tiempo de inspección general de torres debido a que cuenta con más piezas que los postes utilizados para el soporte de conductores en líneas de transmisión compactas. • Las estructuras albergan más polvo, contaminación, plagas y animales en las hendiduras de los ángulos de las piezas que hacen parte de las torres. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de personas requeridas para el mantenimiento de líneas compactas es menor siempre y cuando las líneas se encuentren en corredores urbanos, se puede utilizar recursos como canastas de trabajos bajo tensión para hacer una inspección general de la línea. • La inspección general del soporte de los conductores, en este caso el poste, se reduce en gran medida. • En el caso de los postes no es preocupante el tema de albergar sustancias contaminantes, animales, entro otros, debido a que las estructuras con uniformes y lizas desde el suelo hasta lo más alto de la estructura.

3.5 Zonas de servidumbre en líneas de transmisión compactas para Colombia.

Servidumbre es “el gravamen impuesto sobre el predio en utilidad de otro predio de distinto dueño” y tendrá calidad de “predio sirviente” aquel que sufre el gravamen y de “predio dominante” aquel que reporta la utilidad. Importante es señalar que de acuerdo a derecho administrativo, SERVIDUMBRE es un gravamen impuesto soberanamente por el Estado, sobre la propiedad particular, en beneficio del interés público.³

En un sentido más amplio se define como la facultad que se posee para sacar cierto beneficio o utilidad a un predio determinado y ajeno, cumpliendo los requisitos que la ley exige para su imposición.

Las servidumbres pueden ser: Naturales, legales o voluntarias. En nuestro caso particular, dado que hablamos de servidumbres eléctricas, solo aplican las servidumbres legales o voluntarias. Pueden ser negociadas a voluntad o impuestas por la ley debido a que prima el bien común y tratándose del transporte de energía para bien de una comunidad se aplica imposición de servidumbre en caso tal de no llegar a un mutuo acuerdo entre las parte (el dueño del predio y la empresa transportadora de energía).

Un aspecto muy importante de las servidumbres es que son inmutables, es decir que son inseparables del predio a la cual pertenecen, por lo tanto no se modifica por pasar los predios involucrados a otros dueños.

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas colombiano RETIE, establece lo siguiente:

1. Toda línea que tenga nivel de tensión mayor o igual a 57,5 kV, tiene una zona de seguridad o derecho de vía.

³ Reglamento técnico de instalaciones Eléctricas RETIE.

2. Dentro de la zona de servidumbre se debe impedir la siembra o crecimiento natural de árboles o arbustos que con el transcurrir del tiempo comprometas las distancias de seguridad de la línea.
3. No se debe construir ningún tipo de edificación dentro de la zona de servidumbre.
4. En la zona de servidumbre y a un metro de altura del suelo los campos electromagnéticos no deben superar los límites permisibles y consignados en el RETIE.

En la Tabla 2 se presentan las distancias de servidumbre establecidas por el RETIE, las cuales son de obligatorio cumplimiento.

Se debe garantizar que dentro del ancho de servidumbre no existan riesgos inminentes para la vida humana y animal y que tampoco existan elementos que representen riesgos para la óptima operación de la línea. [4]

Tabla 2. Ancho de la zona de servidumbre de líneas de transmisión.⁴

TIPO DE ESTRUCTURA	TENSIÓN (kV)	ANCHO MINIMO (m)
Torres/Postes	500 (2 circuitos)	65
	500 (1 circuito)	60
Torres/Postes	400 (2 circuitos)	55
	400 (1 circuito)	50
Torres	220/230 (2 circuitos)	32
	220/230 (1 circuito)	30
Postes	220/230 (2 circuitos)	30
	220/230 (1 circuito)	28
Torres	110/115 (2 circuitos)	20
	110/115 (1 circuito)	20
Postes	110/115 (2 circuitos)	15
	110/115 (1 circuito)	15
Torres/Postes	57,5/56	15

⁴ Datos extraídos del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Actualización 2013.

A continuación se presentan siluetas de torres de 110 kV, 220 kV y 500 kV con sus distancias típicas entre fases. Imagen 3, Imagen 4 e Imagen 5

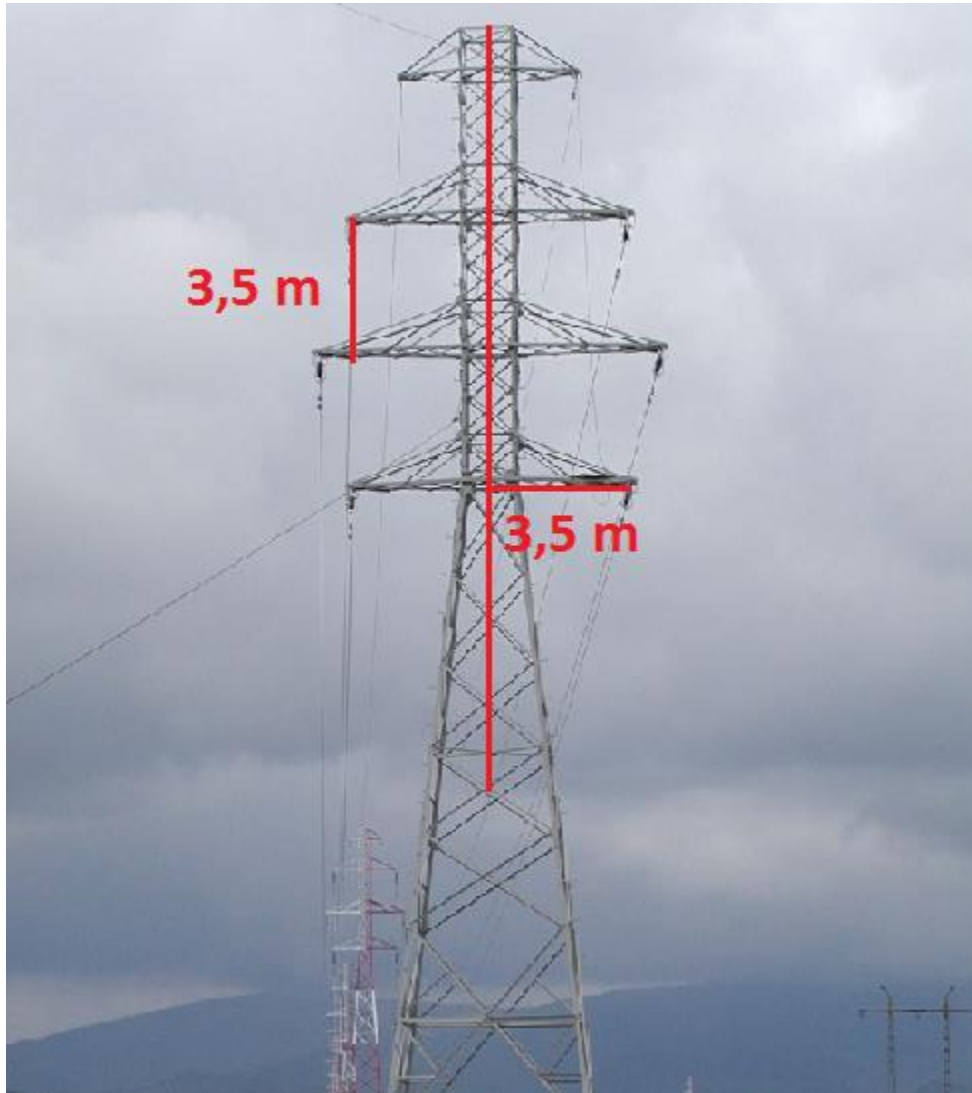


Imagen 3. Distancias típicas torre 110 kV.⁵

⁵ Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, se restringe el uso del nombre de la línea de transmisión de la cual hace parte la torre expuesta en la imagen.

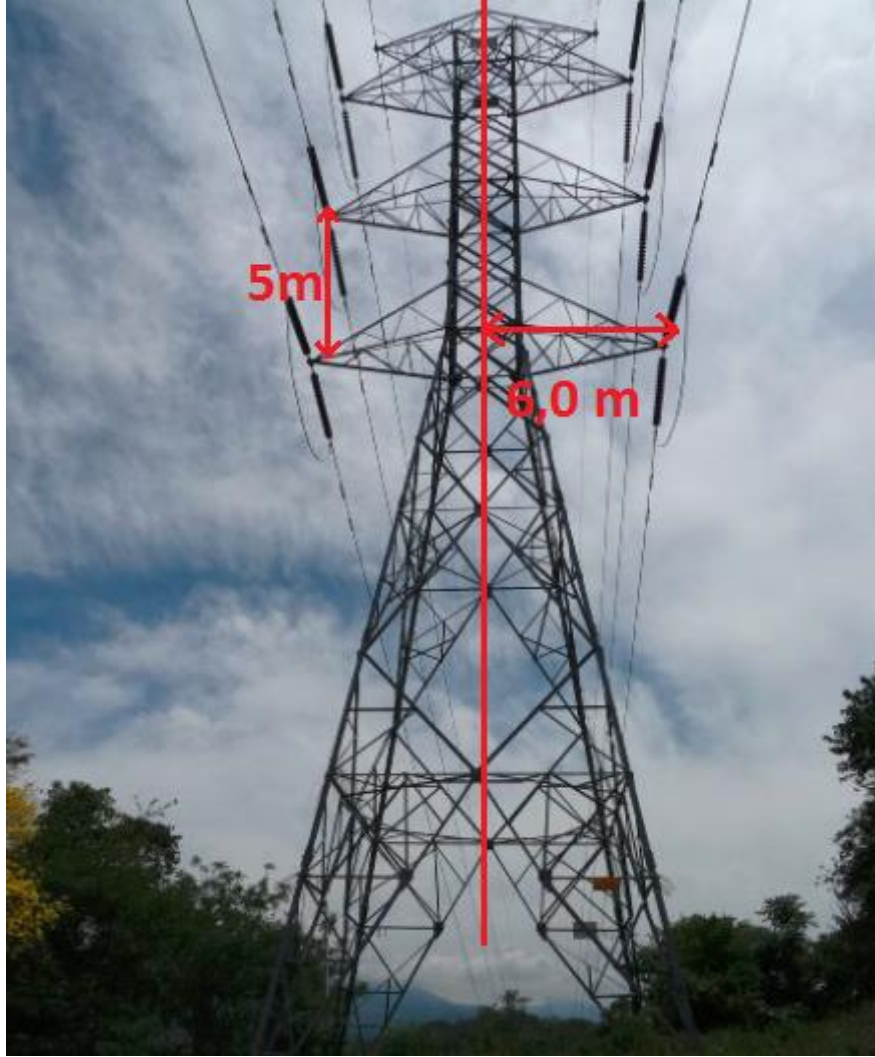


Imagen 4. Distancias típicas torre 220 kV.⁶

⁶ Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, se restringe el uso del nombre de la línea de transmisión de la cual hace parte la torre expuesta en la imagen.

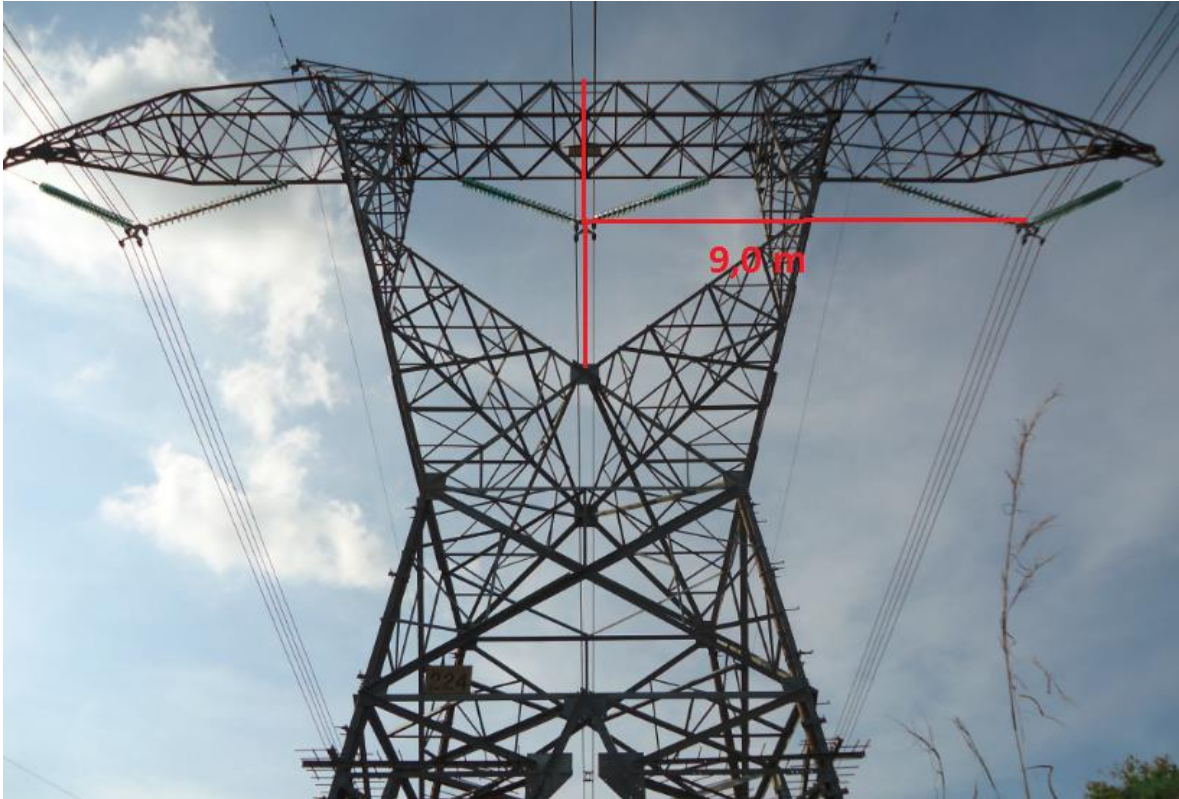


Imagen 5 Distancias típicas torre 500 kV.⁷

Las distancias presentadas en la las torres de 110 kV y 220 kV son la base de comparación de la disminución de servidumbre, ver Imagen 9

En la Imagen 6 se muestra a modo de ejemplo las distancias que debe tener el ancho de servidumbre una torre doble circuito para los niveles de tensión 220 y 110 kV.

⁷ Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, se restringe el uso del nombre de la línea de transmisión de la cual hace parte la torre expuesta en la imagen.

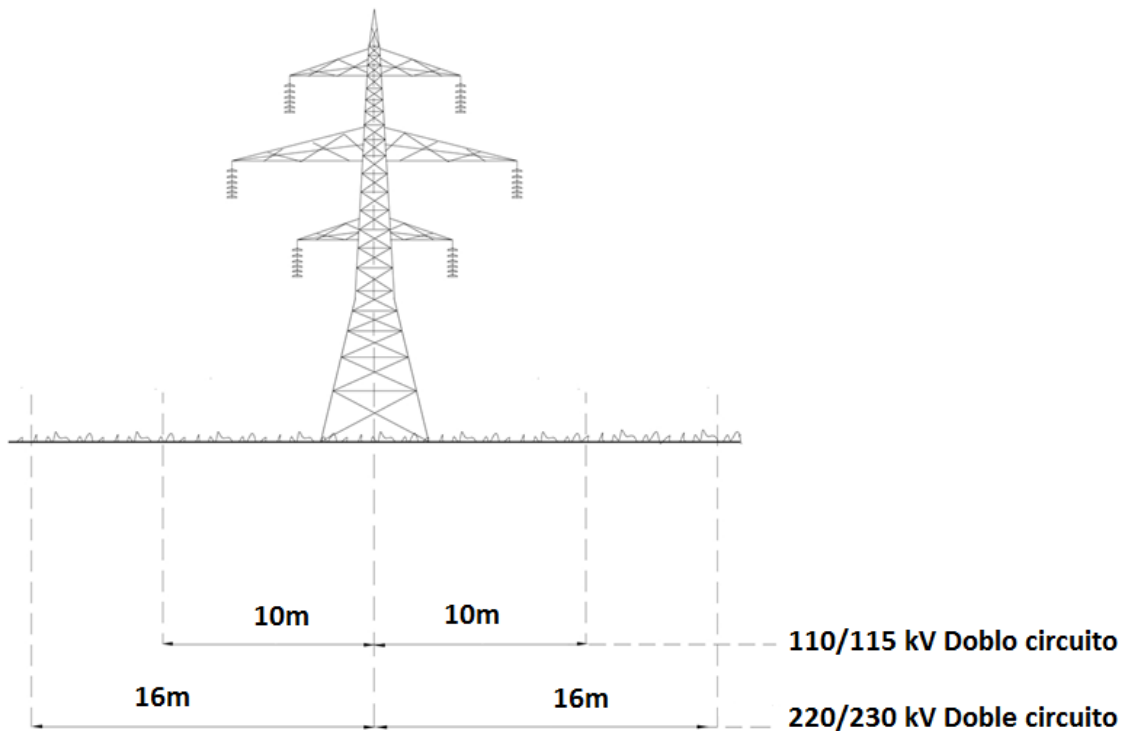


Imagen 6. Anchos de servidumbre

La Tabla 1 muestra los anchos de servidumbre que se deben cumplir para las líneas de transmisión en Colombia según lo estipula el RETIE, en la tabla se encuentran incluidas distancias tanto para torres como para postes, pero ninguna se refiere al ancho de servidumbre para una línea de transmisión del tipo compacta.

El RETIE en su literal i. del numeral 22.2 ZONAS DE SERVIDUMBRE, estipula lo siguiente para las líneas de transmisión compactas:

“Servidumbre de líneas compactas: El ancho mínimo de 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 los que pueden 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”

El literal j del reglamento técnico establece las siguientes distancias de seguridad horizontal según el nivel de tensión de la líneas.

Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad para líneas de transmisión.

NIVEL DE TENSIÓN (kV)	DISTANCIA MINIMA DE SEGURIDAD (m)
57,5	3,5
115	4
230	6
500	8,6

Estas distancias tienen en cuenta los máximos movimientos de acercamiento a edificaciones que pueda tener el conductor, la distancia mínima de seguridad debe medirse entre la proyección vertical más saliente del conductor y el punto más cercano de la edificación.

Teniendo en cuenta lo enunciado anteriormente según los parámetros que se deben cumplir por reglamentación técnica nacional, el ancho de servidumbre nunca podrá ser menor a la distancia mínima de seguridad establecida, dichas distancias se encuentran listadas en la Tabla 3.

Teniendo los límites mínimos de anchos de servidumbre y distancias de seguridad que se deben respetar, se puede establecer un ancho de servidumbre para las líneas, que disminuya los gastos de pago por área de servidumbre o en caso particular que cumpla el ancho necesario para que el trazado de la línea pueda pasar por ciertos lugares restringidos por alta densidad de construcciones en áreas urbanas.

El ancho de servidumbre va depender directamente de los campos electromagnéticos emitidos por la línea de transmisión. Al reducir las distancias

entre conductores de la línea también disminuyen los campos electromagnéticos emitidos dado que su magnitud es directamente proporcional a la separación entre conductores, todo va depender del diseño final que se le dé a la línea incluyendo el tipo de conductor a utilizar y el nivel de aislamiento, estos dos sumados a las condiciones climáticas de la zona darán las distancias a las cuales se puede forzar el acercamiento entre conductores lo que se traduce en una disminución del ancho de servidumbre. (Los anchos de servidumbre se dejan como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de las líneas, así como para tener una interrelación segura con el entorno).

Dado que no es tema del presente trabajo la estimación matemática de las distancias para anchos de servidumbre de líneas de transmisión compactas, en el ejemplo que se tratará más adelante, se tomará una distancia que sea menor al ancho permitido por el RETIE, Tabla 2, pero que no quede por debajo de las distancias de seguridad permitidas según el nivel de tensión, Tabla 3.

Para una línea de transmisión doble circuito y nivel de tensión 220 kV se manejará un ancho de servidumbre de 26m.

4. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA COMPACTA

Los costos que intervienen en un proyecto de una línea de transmisión se pueden dividir en dos grupos: variables y estables. Se entiende como costos estables a aquellos que se pueden cuantificar con una mayor precisión antes de la ejecución.

Los costos estables se pueden atribuir a aquellos costos que dependen básicamente de la longitud de la línea:

1. **Materiales:** Conductores y cable de guarda, su variación es mínima luego de definir de donde a donde irá la línea de transmisión.
2. **Construcción:** Accesos y tendido de cables y conductores.
3. **Ingeniería:** Diseño electromecánico y levantamiento topográfico.

Los costos variables son:

1. **Materiales:** Cantidad de postes, herrajes, sistemas de puesta a tierra, pesas, aisladores, amortiguadores y demarcación a utilizar, todo depende de la topografía y la cantidad de postes a utilizar.
2. **Construcción:** Montaje de apoyos, vestida, adecuación y demarcación de estructuras, instalación de sistemas de puesta a tierra y cimentaciones de cada uno de los postes a instalar.

En el presente trabajo es de interés conocer la variación de los costos de una línea compacta comparada con los de una línea convencional. Para líneas del tipo compacto hay dos costos en los que son notables su variación: el pago del derecho de servidumbre y los materiales a usarse para la construcción de la línea (conductor, cable de guarda, estructuras de soporte, herrajes entre otros).

En el primer objeto de costo se debe ver una notable disminución del monto debido a que el ancho de servidumbre disminuye respecto a las líneas de transmisión convencionales.

El segundo objeto de costo depende directamente de los materiales a utilizar para la construcción de la línea, la gran diferencia de costos puede notarse en las estructuras de apoyo utilizadas dado que los conductores, herrajes y aisladores manejan precios similares dado que la variación en su diseño es poca. La diferencia en costos entre los postes y las estructuras convencionales es notable debido a la gran diferencia de material, para torres convencionales, hablando de los soportes para un mismo tipo de circuito, la cantidad de acero es mucho mayor al necesario para la fabricación de postes.

Los costos de obras civiles y montajes se ven directamente afectados, haciendo, para condiciones normales, el costo de montaje de las líneas compactas más bajo que el de las convencionales.

4.1 Servidumbre línea convencional vs. Servidumbre línea compacta

En la Imagen 7 se observa, a manera de ilustración, el ancho de servidumbre para una línea de transmisión convencional, en donde la longitud de la línea es “L” y el ancho de servidumbre es “a”.

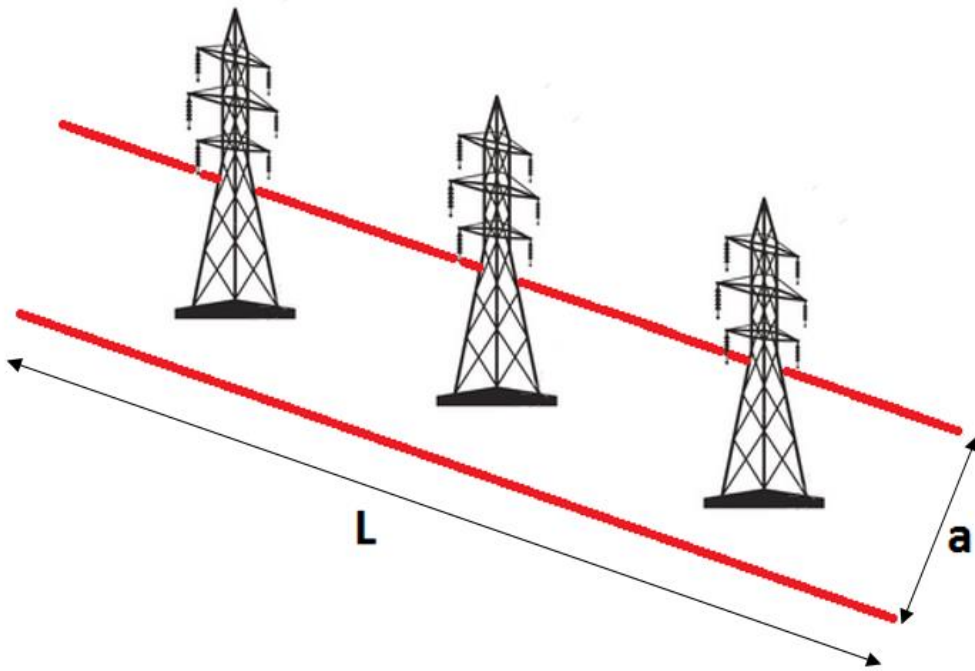


Imagen 7. Servidumbre Línea Convencional

Para efectos prácticos se supone que el área total por servidumbre es $L \times a$. Esta aproximación es válida para efectos de cálculo, la aproximación sería total dado el caso que la línea no tuviese ángulos.

Así mismo, en la Imagen 8 se presentan las dimensiones para el mismo corredor pero implementando una línea de transmisión del tipo compacta, con el largo de la línea igual "L", pero un ancho de servidumbre "b" y menor al de la línea convencional.

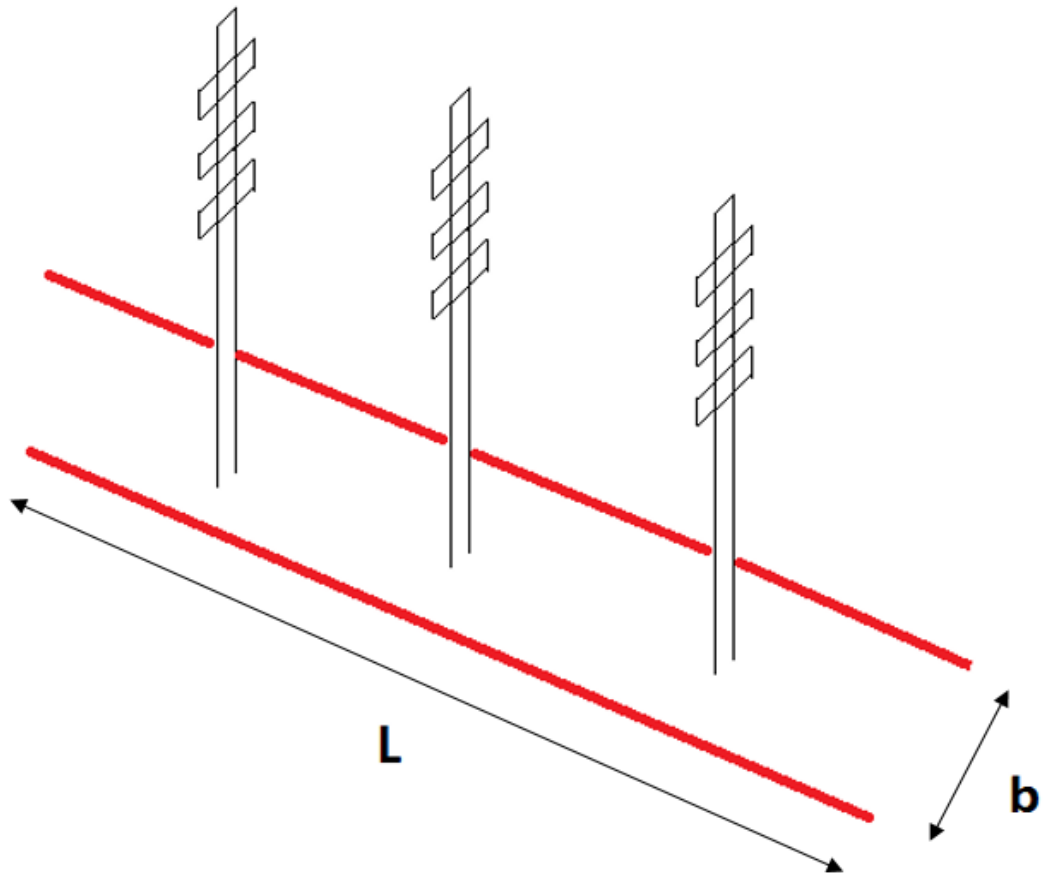


Imagen 8. Servidumbre Línea Compacta

Básicamente se trata de ilustraciones en las que se dan un valor a las dimensiones de la servidumbre.

Partiendo de que el ancho de servidumbre de la línea compacta es menor al ancho de la servidumbre de la línea convencional, $b < a$, tenemos que:

$$\text{Servidumbre convencional} = L \times a \text{ [m}^2\text{]} \quad (1)$$

$$\text{Servidumbre compacta} = L \times b \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

$$(1) - (2) = \textit{Servidumbre convencional} - \textit{Servidumbre compacta}$$

$$= (L \times a) - (L \times b) = \textit{Servidumbre de ahorro} [m^2]$$

$$\textit{Servidumbre de ahorro} = (a - b) L [m^2]$$

Suponiendo un valor de servidumbre por metro cuadrado “V”, tenemos que

$$\textit{Valor servidumbre Convencional} = L \times a \times V [\$]$$

$$\textit{Valor servidumbre Compacta} = L \times b \times V [\$]$$

$$\textit{Valor servidumbre de ahorro} = (a - b) L \times V [\$]$$

Mientras mayor sea la diferencia entre “a” y “b” se cuenta con un mayor ahorro en cuanto a adquisición del derecho de paso de servidumbre. El valor de b dependerá de los cálculos eléctricos que se ejecuten desde el diseño, a mayor detalle del diseño se podrá optimizar más el valor del ancho “b”.

Suponiendo una línea doble circuito 220 kV en apoyos convencionales de 50 km de largo y un valor por metro cuadrado de \$5.000 COP, se tiene:

$$\textit{Valor servidumbre Convencional} = 50.000m \times 32m \times 5.000 \frac{\$}{m^2}$$

$$= \$8.000.000.000,00 \textit{ COP}$$

Con un ancho de servidumbre compactad a 26m, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Valor servidumbre Compacta} &= 50.000m \times 26m \times 5.000 \frac{\$}{m^2} \\ &= \$ 6.500.000.000,00 \text{ COP} \end{aligned}$$

Con la reducción del ancho de servidumbre para implementar la línea se obtiene un ahorro por compra del derecho de servidumbre de \$1.500.000.000,00 COP lo que puede suponer una compra de 6 apoyos para torres en promedio como se observara más adelante en el presente trabajo, en donde se muestran los valores promedio de postes para líneas compactas.

En promedio, en un terreno plano, la distancia entre cada apoyo, torreo o poste es de 400m, para la longitud de la línea del ejemplo habría un total de 125 apoyos. Con el ahorro por adquisición del derecho de servidumbre se podría adquirir 6 de los apoyos necesarios para la construcción de la línea lo que supondría un ahorro del 9,6% en adquisición de estructuras (hay que tener en cuenta que el cálculo es hecho utilizando el valor de la estructura de retención con mayor altura, es decir la más costosa).

4.2 Torres convencionales vs. Postes compactos.

Otro de los costos altos en la construcción de una línea de transmisión es la adquisición de las estructuras que soportaran los conductores, cables de guarda y fibra óptica si es el caso.

Para líneas compactas es común el uso de postes dado que se trata de un solo cuerpo recto lo que facilita la disminución de las distancias entre fases con la utilización de aisladores compuestos que proporcional un mayor nivel de aislamiento y soporte mecánico ya que su apoyo en el cuerpo de la estructura cuanta con dos puntos (del propio circuito y de circuitos diferentes).

A continuación se presenta un análisis comparativos entre los costos de estructuras en acero galvanizado y postes del mismo material, las estructuras están proyectadas para soportar dos circuitos de 110 kV y uno de 220 kV todos en la misma estructura y corredor.⁸

TORRES CONVENCIONALES:

Valor tonelada acero galvanizado para torres convencionales: 1.694 USD [5]

Valor del cambio 3 de Julio de 2015: 2.653,74 COP

Tabla 4. Valor torres convencionales. Celosías de acero galvanizado para soporte de 2 circuitos 110 kV y 1 circuito 220 kV

TIPO DE TORRE	ALTURA TOTAL (m)	PESO (Kg)	VALOR (COP)
Suspensión	35,5	20.230	\$ 90.942.661,38
Suspensión	39,5	21.650	\$ 97.326.179,87
Retención	35,5	21.720	\$ 174.063.264,88
Retención	39,5	25.460	\$ 186.380.758,32
Retención	43,5	27.310	\$ 208.183.620,78
Terminal	31,5	29.830	\$ 224.007.553,95

En la Tabla 4 se presenta el cálculo en pesos colombianos del valor por torre para soporte de tres circuitos, dos 110 kV y un 220 kV, en el mismo corredor.

Independiente del diseño de las torres y de la disposición de los circuitos, vertical u horizontal, los pesos de las torres para las alturas dadas se conservan más o menos invariantes.

POSTES:

A continuación se presenta una cotización para postes con las dimensiones expuestas en la Imagen 9. Se trata de un poste para disponer verticalmente cada

⁸ Los valores presentados hacen parte de precios manejados por Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO dentro de las licitaciones y cotizaciones de sus proyectos.

circuito, para dar apoyo a los circuitos en disposición horizontal se tendría que usar crucetas de extensión lo que incrementaría el valor de cada poste. [6]

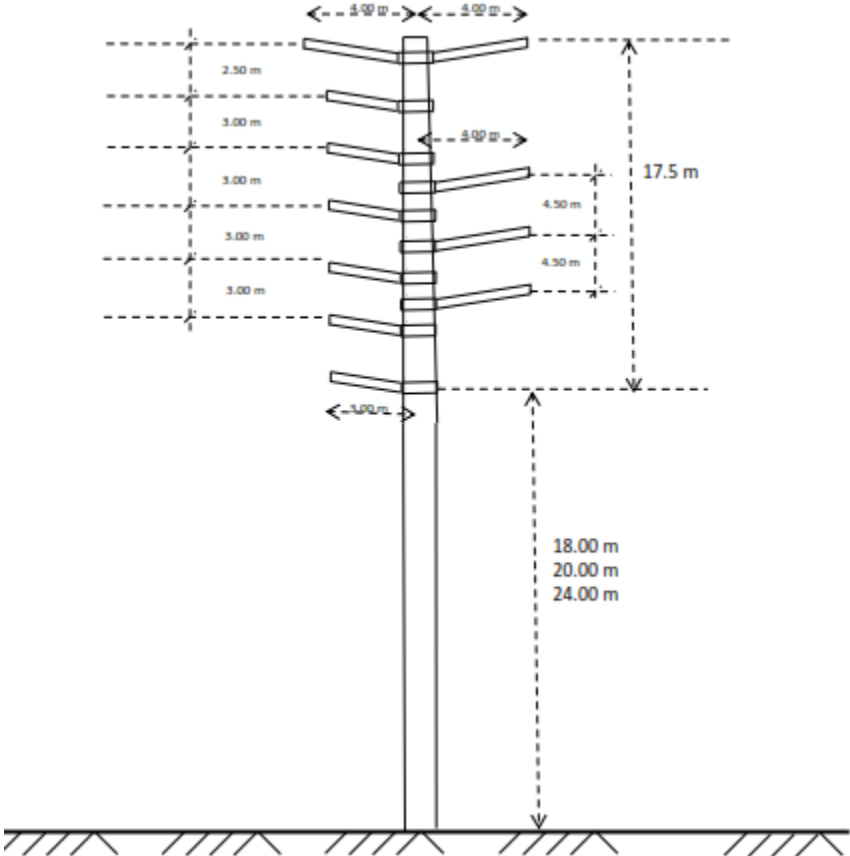


Imagen 9. Silueta de poste metálico.

Tabla 5. Cotización postes metálicos DIMEL ingeniería S A⁹

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CAN.	V/UNIT.	V/TOTAL
1		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO RETENCION 35.5 M ALTURA TOTAL.	41	\$153,400,000	6,289,400,000
2		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO RETENCION 39.5 M ALTURA TOTAL.	12	\$188,480,000	2,261,760,000
3		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO RETENCION 43.5 M ALTURA TOTAL.	1	\$239,790,000	239,790,000
4		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO SUSPENSIÓN 35.5 M ALTURA TOTAL.	23	\$ 55,070,000	1,266,610,000
5		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO SUSPENSIÓN 39.5 M ALTURA TOTAL.	7	\$ 66,950,000	468,650,000
6		D.I.pole - Transmission POSTE DE DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE, 2 X 110 KV - 1 X 230 KV TIPO TERMINALES 31.5 M ALTURA TOTAL.	2	\$ 114,800,000	229,600,000
				SUBTOTAL	\$10,755,810,000
				IVA 16%	\$1,720,929,600
				TOTAL	\$12,476,739,600

En la Tabla 5 se muestra una cotización hecha por una firma que fabrica los postes bajo pedido, la columna de interés para el presente trabajo es la que referencia el valor unitario por poste.

⁹ Cotización suministrada por la firma DIMEL INGENIERIA S.A para Eléctricas de Medellín comercial EDEMCO S.A

Tabla 6. Comparación precios apoyos convencionales y postes metálicos

TIPO DE SOPORTE	ALTURA (m)	VALOR TORRE CONVENCIONAL (COP)	VALOR POSTE METALICO (COP)	DIFERENCIA (COP)
Suspensión	35,5	\$ 90.942.661,38	\$ 55.070.000	\$ 35.872.661,38
Suspensión	39,5	\$ 97.326.179,87	\$ 66.950.000	\$ 30.376.179,87
Retención	35,5	\$ 174.063.264,88	\$ 153.400.000	\$ 20.663.264,88
Retención	39,5	\$ 186.380.758,32	\$ 188.480.000	(\$ 2.099.241,68)
Retención	43,5	\$ 208.183.620,78	\$ 239.790.000	(\$ 31.606.379,22)
Terminal	31,5	\$ 224.007.553,95	\$ 114.800.000	\$ 109.207.553,95

En la Tabla 6 se muestra un comparativo entre los valores de los apoyos según su tipo. Para este caso en particular se tendrá un sustancial ahorro por compra de apoyos dado el caso que no se utilicen demasiados apoyos tipo retención de 39,5m y 43,9 m (estos apoyos, en corredores urbanos serían necesarios en cruces con ángulo de puentes viales, dado que la suspensión también es una opción para el cruce de puentes).

También se debe tener en cuenta el costo de las cimentaciones que se utilizarán para cada tipo de línea, en general la cimentación para la línea compacta reduce los costos debido a que solo es un punto de apoyo, pero para tener plena certeza de la situación es necesario realizar estudios de suelo y dimensionar el área para la ejecución de las cimentaciones. Para postes siempre se considera la cimentación en concreto mientras que para una torre en el mismo terreno es posible tener cimentaciones tipo parrillas según lo amerite el diseño.

5. MANTENIMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Para garantizar la óptima operación de las líneas se debe programar un mantenimiento periódico que consta inicialmente de las siguientes actividades:

5.1 Inspección general:

En la inspección general se busca conocer el estado de los elementos que compone la infraestructura eléctrica de la línea en su totalidad, partiendo del pórtico de la subestación de salida y terminando en el pórtico de la subestación de llegada, los elementos de este mantenimiento a tener en cuenta son:

- a. **Estado de la estructura:** Se verifica verticalidad de los cuerpos, horizontalidad de los brazos, grado de corrosión de los cuerpos, estado de pernos, tuercas y arandelas y limpieza general de los cuerpos.
- b. **Estado de los aisladores:** Se verifica el tipo de cadena, cantidad de aisladores rotos o fisurados, grado de contaminación de los aisladores, verificación de descargas que hayan ocurrido y hayan producido flameo.



Imagen 10. Cadena de aisladores contaminada. Línea 220 kV¹⁰

- c. **Estado de los conductores:** Se verifica existencia de puntos calientes, hilos rotos, corrosión, estado de los blindajes, empalmes y camisas de reparación.

¹⁰ Cadena de aisladores con presencia de contaminación. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO.

- d. **Estado del cable de guarda:** Se hace verificación tal cual como en los conductores. Tratándose de fibra óptica se revisa el encauchetado de la fibra y las cajas de empalme.



Imagen 11. Hilos rotos en cable de guarda línea de 500 kV¹¹

¹¹ Hilos rotos en capa externa de cable de guarda de línea de 500 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A

- e. **Estado de Herrajes:** Se hace verificación de los herrajes utilizados en la línea, su estado funcional, grado de corrosión y la totalidad de las piezas que componen cada uno de los elementos.

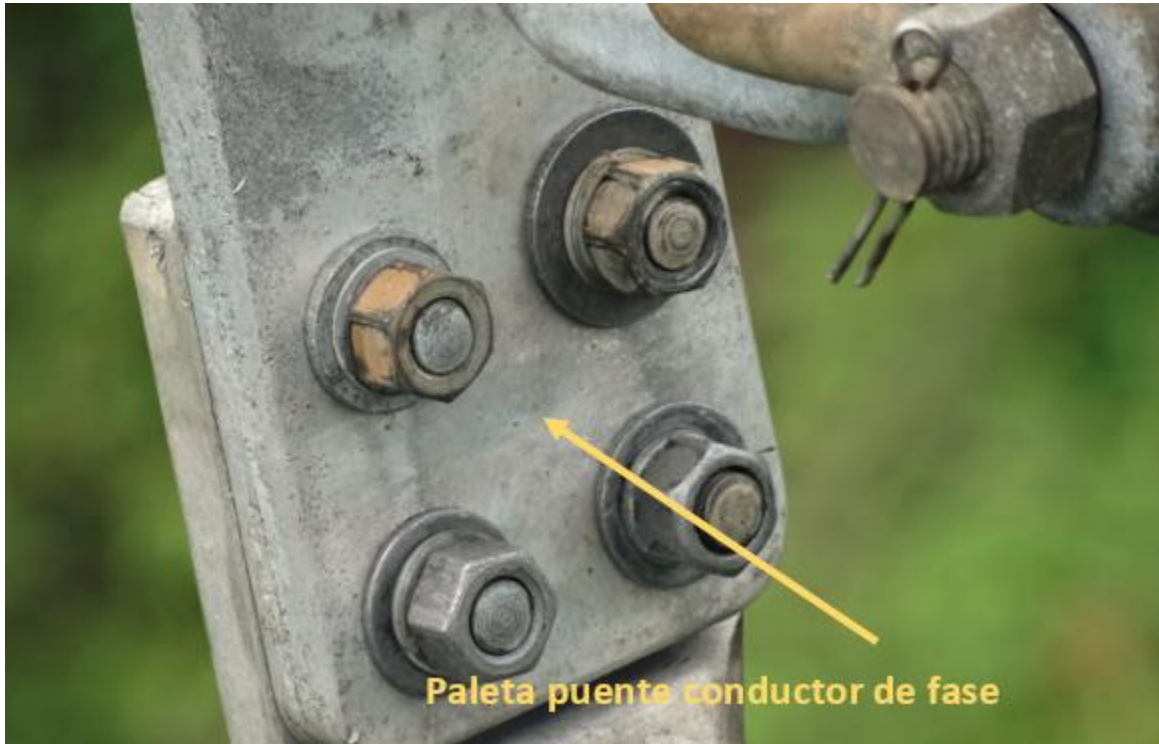


Imagen 12. Paleta para puente conductor de fase línea de 220 kV.¹²

¹² Paletas para puente conductor de fase de línea de 220 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A



Imagen 13. Amortiguador conductor de fase Línea de 220 kV.¹³

- f. **Acercamiento:** Se evalúan los posibles acercamientos que puedan tener los conductores de manera vertical u horizontal con el piso y que hagan disparar la línea. Los disparos ocurren normalmente en el momento con mayor temperatura del día, debido a la elongación que tiene el conductor por temperatura.

¹³ Amortiguador de vibraciones para conductor de fase línea de 220 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A



Imagen 14. Identificación de posible acercamiento en línea de 220 kV.¹⁴

5.2 Mantenimiento de servidumbre:

Consiste en realizar los trabajos necesarios para mantener y garantizar despejada el área de servidumbre dispuesta para cada línea:

- a. **Limpieza de servidumbre:** Tala de árboles que se encuentren dentro del área de servidumbre y que puedan llegar a tener una altura suficiente para tocar el conductor más bajo o violar la distancia de seguridad mínima. Para la vegetación que no presenta mayor peligro para la línea solo se hace una poda controlada.

¹⁴ Identificación de posible acercamiento fase tierra en línea de transmisión de 220 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A



Imagen 15. Limpieza de franja de servidumbre línea de 500 kV¹⁵

- b. **Limpieza de sitio de torre:** Se elimina la maleza que obstruya la visual de la torres y pueda crecer a través de los cuerpos bajos.
- c. **Invasiones:** Reportar edificaciones, construcciones y demás cuerpos estructurales que estén dentro de la franja de servidumbre y no estén permitidos según lo estipulado en el RETIE.

¹⁵ Limpieza de franja de servidumbre en zona de plantación de pinos para una línea de 500 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A



Imagen 16. Demolición de invasión en línea de 500 kV.¹⁶

5.3 Modificación y medición de SPT:

Se trata básicamente de realizar medidas del sistema de puesta a tierra verificando el cumplimiento de la resistencia máxima para puestas a tierra en torres de transmisión dispuesta por el RETIE de cada estructura y según su medida se procede a programar modificaciones en el sistema de puesta a tierra SPT. Según RETIE el valor máximo de resistencia de puesta a tierra para torres es de 20 Ω .

¹⁶ Demolición de invasión en línea de 500 kV. Archivo fotográfica propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.S



Imagen 17. Instalación de puesta a tierra línea de 230 kV.¹⁷

Con la realización periódica de estas labores se debe garantizar el óptimo funcionamiento de las líneas.

La inspección general se hace normalmente con intervalos de un año, cada uno de los hallazgos se ingresa a una base de datos y se programa su intervención según sea su nivel de importancia, dado que las líneas no se pueden indisponer en cualquier momento se debe programar con anticipación las consignaciones para solicitar la desconexión por un periodo de tiempo prudente al operador de red. Algunos de los trabajos se pueden realizar en caliente (sin necesidad de desconexión).

El mantenimiento de servidumbre normalmente tiene un intervalo de un año, dado que existen especies que no se pueden talar y existen retoños y crecimiento de

¹⁷ Instalación de puesta a tierra en torre de 230 kV. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A

árboles por si solos hay que verificar que la vegetación no genere un riesgo de disparo para la línea.

La medición y modificación de puestas a tierra depende de las variaciones en pH que puedan tener los suelos y afecten el sistema inicialmente dispuesto. Cada vez que la medida cambie y se encuentre por encima del valor de referencia máximo establecido por el RETIE, se debe intervenir el sistema y modificarlo o extender sus contrapesos para garantizar la medida exigida por el reglamento. Esta labor no requiere desconexión de la línea.

Las imágenes presentadas en esta sección son de mantenimiento realizado a líneas de transmisión convencionales debido a que no se cuenta con archivo fotográfico y/o trabajos mantenimiento realizados a líneas compactas.

Los métodos de mantenimiento son los mismos a diferencia de la inspección general a la estructura, ya que para las líneas compactas se hace más fácil debido a que se trata de un cuerpo vertical liso y sólido y no presenta mayores inconvenientes su inspección.

El mantenimiento de líneas compactas es de mayor cuidado ya que el espacio entre fases es más reducido lo que restringe la movilidad de una persona, liniero, dentro de la inspección en las estructuras. Para la inspección general de líneas de transmisión dentro de corredores urbanos es muy común el uso de un carro canasta para tener una mejor visual de la infraestructura.

En la Imagen 18 se presenta un carro canasta para trabajos bajo tensión o en línea viva. La ilustración muestra un carro utilizado para trabajos en líneas de distribución, aun así, existen vehículos para trabajos en niveles de tensión superiores.



Imagen 18. Carro canasta para trabajos bajo tensión¹⁸

El uso del carro canasta depende de los accesos para vehículos que existan cerca de la línea. Para líneas en corredores urbanos se supondría que los accesos son óptimos ya que en las ciudades se cuentan con gran variedad de vías que puedan llegar a estar cerca a cada apoyo. Para líneas compactas con accesos por vías

¹⁸ Carro canasta para trabajos en línea viva. Archivo fotográfico propiedad de Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A

destapadas el carro canasta no es una opción, ya que para el carro se debe garantizar estabilidad en su transitar para que no se afecte su mecanismo.

La utilización del carro canasta complementa en gran medida el mantenimiento para líneas:

1. Es una forma fácil y seguridad de aproximarse a los conductores, cables de guarda y cadenas de aisladores para hacer una inspección visual.
2. Utilizando guantes dieléctricos y en conjunto con el aislamiento del carro canasta, se pueden realizar trabajos en caliente como: cambio de aisladores, empalmes, colocación de camisas de reparación y entices, pintura galvánica a herrajes, engrase de herrajes, corrección de ángulos de inclinación de amortiguadores y limpieza de aisladores entre otros.
3. Pintura a postes y torrecillas para evitar la corrosión por sales, contaminación y deterioro normal del material.
4. Para los mantenimientos correctivos, el carro canasta es de gran ayuda para mover o subir la herramienta hasta la línea para realizar los trabajos. Elementos como emplomadoras, perforadores hidráulicos “osos”, grúas de cadena (chicharras), poleas, agarradoras y manila, que son de gran peso (p.e una empalmadora puede llegar a pesar de 20 a 30 kg) y hacen difícil y extenuante la labor del liniero quien normalmente suben en sus espaldas la herramienta o la halan con las mismas poleas utilizadas para el manteniendo; es así como el carro canasta puede ser un punto clave para optimizar el tiempo y así aumentar los puntos a intervenir a lo largo de una línea cuando se requiera pedir su salida por algún mantenimiento mayor.

Tabla 7. Comparación mantenimiento líneas compactas y líneas convencionales.

MANTENIMIENTO	LÍNEA CONVENCIONAL	LÍNEA COMPACTA
<p>Mantenimiento de servidumbre</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor área para mantener despejada de árboles y retoños. • Periodicidad de mantenimiento un año. • Los árboles aislados pueden ser considerados y hacer un seguimiento continuo a su crecimiento para evidenciar el peligro para la línea. • Los métodos de poda y tala siguen siendo convencionales debido al difícil acceso de maquinaria y carros grúa a las zonas donde se encuentran las torres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor área a intervenir. • Periodicidad de mantenimiento menor a un año debido a que se debe efectuar el mantenimiento más al detalle lo que implica un incremento en el costo de mantenimiento. • Los árboles aislados son de mayor cuidado porque pueden suponer riesgos para la línea debido a la disminución de distancias de seguridad. • La tala y poda se facilita con la entrada de maquinaria y carros grúa a los puntos de apoyo de la línea.
<p>Inspección general</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La inspección general para torres convencionales implica personal con experticia en trabajo en alturas y ascenso en torres de transmisión dado que 	<ul style="list-style-type: none"> • La inspección para líneas compactas se puede ejecutar utilizando un carro canasta que le de proximidad a la estructura a un operario sin la necesidad de ascender por la estructura.

	<p>no hay acceso para carros canasta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La inspección general es de más cuidado y mayor tiempo debido a que en una torre convencional el número de piezas es mayor y se debe inspeccionar una a una. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a que los apoyos de líneas compactas se componen de un cuerpo recto y liso la inspección se hace más sencilla y reduce los tiempos de la misma.
Medición y modificación de SPT	La medición se hace con la ayuda de un elemento de medición (megger o teluometro) y es igual para ambos casos.	

La gran diferencia del mantenimiento según el tipo de línea es básicamente la cantidad de personal y tiempo que se requiere para ejecutar las labores.

Mientras que para una línea convencional 220 kV de 300 apoyos se necesita ocho personas para realizar las tres tareas en dos meses, para una línea del tipo convencional solo se requerirían 4 personas para ejecutar la misma labor y en la mitad del tiempo. (Salarios, viáticos, prestaciones legales y demás compensan la adquisición del carro canasta).

6. CONCLUSIONES

1. Las líneas de transmisión compactas traen consigo varios beneficios técnicos, económicos y ambientales.

La implementación de una línea compacta reduce el impacto ambiental y visual debido a la disminución del ancho de servidumbre que a su vez genera un ahorro sustancial en costos de compra del derecho de servidumbre.

2. El compactar una línea brinda la posibilidad de incluir más circuitos dentro del mismo corredor lo que optimiza los costos de la línea. Antes de elegir construir varios circuitos soportados por las mismas estructuras se debe realizar un buen análisis sociopolítico dado que en nuestro país es un alto riesgo tener dispuestos varios circuitos en un mismo corredor debido a los ataques terroristas de grupos al margen de la ley, que son muy comunes en nuestro país.
3. El impacto ambiental generado por la construcción de una línea de transmisión compacta se reduce en gran medida comparado con el de la construcción de una línea convencional, la intervención a la vegetación, ya sea por tala o por poda, disminuye debido a que el ancho de servidumbre se reduce.
4. El mantenimiento para líneas compactas es básicamente el mismo que el aplicado a líneas de transmisión convencionales, puede diferir básicamente en el control que se debe hacer a la estructura como tal y lo que en las líneas compactas es de menor atención que en las convencionales.
5. El mantenimiento de servidumbre para una línea compacta se debe hacer más al detalle y evaluar si es necesario realizarlo con mayor periodicidad debido a que las distancias de seguridad se reducen y el número de circuitos puede incrementar, por lo que no se puede correr el riesgo que un árbol dentro o fuera de la franja saque de operación uno o varios de los circuitos involucrados en el mismo corredor.

6. Los costos de una línea compacta comparados con una convencional, por lo general llegan a ser más bajos debido a la disminución en cantidad de material y adquisición del derecho de servidumbre.

En cuanto al mantenimiento los costos se consideran iguales, aunque en las líneas compactas la reducción de personal es notorio, la periodicidad del mantenimiento aumenta lo que incrementa los costos de ejecución.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] E. U. BOJ DE LEÓN, «Evaluación técnico económica del diseño de líneas de transmisión de 69 kV utilizando estructuras compactas,» Guatemala, Trabajo de graduación Universidad San Carlos Facultad de Ingeniería, 2004.
- [2] EPRI Transmission Line Reference Book 115-345 kV, *Chapter 9: Aesthetic and Evironmental Aspects of Compact Lines.*, Compact Line Desing.
- [3] V. F. SCHMUCK, K. O. PAPAILIOU, P. J. KOLMEIJER, J. F. VAN WOLVEN., *Zur Weiterentwicklung von 420 kV kom paktleitunggen mit Silikonverbundisolatoren und deren Vorteile in Notleitungssystemen*, PFISTERER, 2005.
- [4] RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, Bogotá-Colombia: Segelectrica, Actualización 2013.
- [5] Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, *Precio de la tonelada de acero galvanizado para estructuras electricas*, Medellín-Colombia, 2015.
- [6] Eléctricas de Medellín Comercial EDEMCO S.A, *Cotización postes electricos empresa DIMEL S.A*, Calí-Colombia, 2014.