



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA
CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA
TENSIÓN EN GUATEMALA**

Pedro Guillermo Arriaga de León
Asesorado por el Ing. Diego Velásquez Jofre

Guatemala, junio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA
CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA
TENSIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

PEDRO GUILLERMO ARRIAGA DE LEÓN
ASESORADO POR EL ING. DIEGO VELÁSQUEZ JOFRE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V:	Bro. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA:	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA,

tema que fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de agosto de 2009.


Pedro Guillermo Arriaga de León



**Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil -UIEIC-
Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-**

Guatemala, 12 de abril de 2010.

Ingeniero
José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente.

Ingeniero Ordóñez Morales:

Luego de un cordial saludo, sírvame la presente para hacer de su conocimiento que el trabajo de graduación titulado: "FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA", elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil, Pedro Guillermo Arriaga de León, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular y deseándole éxitos en sus actividades, me despido.

Muy atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Diego Velásquez Jofre
Ingeniero Civil
Colegiado No. 8866

Ing. Diego Velásquez Jofre
Profesor-Investigador del Área de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Email: dvelasquez@ing.usac.edu.gt

Nivel 0, Edificio T-3, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria Zona 12,
Ciudad de Guatemala, Centro América
Telefax: (502) 2418-9119
Email: uieic.usac@gmail.com



Guatemala,
22 de abril de 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala


Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pedro Guillermo Arriaga de León, quien contó con la asesoría del Ing. Diego Velásquez Jofre.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Arriaga de León, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles





FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Diego Velásquez Jofre y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Pedro Guillermo Arriaga de León, titulado FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **FACTORES BÁSICOS A CONSIDERAR PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Guillermo Arriaga de León**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, appearing to be 'Murphy Olimpo Paiz Recinos', written over a large, empty oval shape.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, junio de 2010



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por haberme dado el regalo de la vida, y alcanzar en ella este logro.

A la Virgen María

Por ser mi luz y fortaleza.

Mis padres

Héctor Guillermo Arriaga Portillo y María del Rosario de León de Arriaga

Por su amor y por ser un ejemplo excepcional para enseñarme a andar en el camino de la vida.

Mis hermanas

Gabriela Lucía y María Mercedes

Por su optimismo, consejos y apoyo.

Mi abuelita

Blanca Estela Portillo de Arriaga

Por su gran cariño.

A la memoria de mis abuelitos

Graciela de León Arango y Guillermo Arriaga Régil

Su recuerdo me dicta que nunca se deja de luchar.

Mis tíos, primos y familia en general.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres:

Su sacrificio, esfuerzo y dedicación se ve reflejada en una meta más.

Mi asesor:

Diego Velásquez Jofre

Por su colaboración para llevar a cabo el presente trabajo de graduación.

Claudia:

Su apoyo incondicional durante este recorrido fue pilar fundamental para seguir adelante.

Mis amigos:

Por los momentos compartidos y la ayuda brindada en todo momento.

La Universidad de San Carlos de Guatemala:

Por permitirme obtener todos los conocimientos necesarios durante mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN	
1.1 Descripción y definición de las líneas de transmisión	1
1.1.1 Fuentes de energía para líneas de transmisión	2
1.1.2 Complementos de una línea de transmisión de alta tensión	4
1.2 Importancia de las líneas de transmisión de alta tensión	7
1.2.1 Auge de las líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala	13
1.3 Trascendencia de la Ingeniería Civil en las líneas de transmisión de alta tensión	23
1.4 Partes de una línea de transmisión de alta tensión	28
1.4.1 Torres de alta tensión	28
1.4.2 Cables conductores	37

2. TRABAJOS PRELIMINARES Y TRABAJOS LEGALES EN EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN	
2.1 Selección de la ruta	41
2.1.1 Consideraciones en la selección de ruta	43
2.2 Reconocimiento de la Ruta	47
2.3 Trabajos de topografía	50
2.4 Catastro y valuación de terrenos	58
2.5 Servidumbre, permisos y licencias previos a la construcción	61
3. CARGAS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LA IMPORTANCIA DE LOS SUELOS	
3.1 Cargas debidas a la naturaleza	69
3.2 Peso de la estructura	72
3.3 Comportamiento e influencia del cableado	73
3.4 Estudios Geotécnicos	79
3.5 Tipos de cimentación a considerar según el suelo en líneas de transmisión de alta tensión	82
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Proceso de generación de energía	5
2	Línea de transmisión de alta tensión	6
3	Energía eléctrica en el sector primario	8
4	Uso de la energía eléctrica en el sector industrial	10
5	Red de líneas de transmisión de Guatemala	14
6	Ruta del proyecto SIEPAC	19
7	Plan de expansión de líneas en Guatemala	21
8	Estructura de una torre de alta tensión	29
9	Localización de stub en torre de alta tensión	31
10	Patatas de torre de alta tensión	32
11	Cuerpo de torre de alta tensión	33
12	Cuerpo superior y ménsula	34

13	Torre de suspensión y torre de amarre	36
14	Localización de cables conductores e hilos de guarda	38
15	Cable conductor	39
16	Trazo de línea de transmisión	48
17	Levantamiento de servidumbre de paso	52
18	Planta-perfil de una línea de transmisión	54
19	Diagonales para perfil en sitio de torre	56
20	Perfiles diagonales en sitios de torre de alta tensión	57
21	Placas tectónicas del mundo	70
22	Peso propio de torre de alta tensión	72
23	Árbol de cargas en torre de alta tensión	77
24	Esfuerzo de arrancamiento	78

TABLAS

I	Potencial de los recursos renovables en Guatemala	13
II	Tabla resumen del plan de expansión	22
III	Ancho de servidumbre según tipo de línea de transmisión	51
IV	Leyes para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
km	Kilómetro
KV	Kilovatio
mts	Metros
MW	Megavatio
T	Carga de tensión
USD	Dólar estadounidense

GLOSARIO

Anclaje	Sistema constructivo que ofrece soporte y firme sujeción entre el suelo de cimentación y la propia cimentación.
Automatización	Uso de sistemas o elementos computarizados para el control de maquinaria o procesos, en sustitución de operadores humanos.
Bien Inmueble	Tipo de bien que no puede ser trasladado o que no se puede mover por estar íntimamente ligado al suelo, tal es el caso de casas y terrenos.
Cable Conductor	Tipo de cable utilizado para conducir corriente eléctrica.
Carga	Fuerza aplicada a un determinado objeto, elemento o estructura.
Catenaria	Curva que describe un cable conductor cuando se encuentra suspendido entre dos torres de alta tensión.
Cimentación	Subestructura cuya función principal es transmitir las cargas de la edificación o superestructura al suelo.

Concreto	Mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa por medio de una paste de cemento y agua.
Coordenada	Conjunto de valores que permite definir y ubicar una posición sobre la Tierra.
Corrosión	Interacción de un metal con el medio con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro de sus propiedades físicas y mecánicas.
Deflexión	Desviación en la dirección de una ruta.
Deformación	Cambio en el tamaño o forma de un elemento, debido a esfuerzos internos, fuerzas aplicadas sobre el mismo o dilataciones térmicas.
Diseño Estructural	Campo de la Ingeniería Civil encargado del diseño y cálculo de estructuras, tomando en cuenta las cargas y esfuerzos a las que se ve sometida, materiales con los que está constituida y la economía de la misma.
Energía	Capacidad de llevar a cabo un trabajo.
Energía eléctrica	Tipo de energía que se manifiesta como corriente eléctrica a través de un cable conductor.
Ensayo de suelos	Prueba realizada para la determinación de las características geotécnicas de un suelo.

Esfuerzo	Relación entre una carga y el área donde la misma es aplicada.
Esfuerzo de torsión	Tipo de esfuerzo en el que la que una fuerza tiende a retorcer o rotar una estructura.
Estructura	Obra de construcción destinada a soportar su propio peso, y la presencia de cargas exteriores sin que pierda las condiciones de funcionalidad para las cuales fue concebida.
Estudio geotécnico	Estudio que permite determinar la naturaleza y propiedades del suelo, necesarias para definir el tipo de cimentación de una estructura.
Fibra óptica	Medio de transmisión que permite enviar gran cantidad de datos a grandes distancias. Habitualmente usada en telecomunicaciones.
Galvanizado	Proceso mediante el cual se recubre un metal para su protección ante agentes corrosivos y prolongar su durabilidad.
Hidroeléctrica	Construcción que utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica.
Hilo de guarda	Hilo suspendido en la parte superior de dos torres de alta tensión destinado a interceptar descargas atmosféricas y conducir las a tierra, para la protección de una línea de transmisión.

Nivel freático	Profundidad a la que se encuentra el agua subterránea.
Obra de infraestructura	Construcción concebida bajo una determinada funcionalidad, o para llevar a cabo servicios que permitan el crecimiento y desarrollo de nuevas actividades.
Perfil de terreno	Representación gráfica de la elevación natural que presenta un terreno.
Pilotes	Elementos constructivos utilizados en cimentaciones profundas, permitiendo trasladar las cargas hasta un estrato resistente en el suelo.
Placa tectónica	Fragmento que tiende a desplazarse como un solo bloque rígido y que forma parte de la superficie terrestre.
Planta	Referente a los trabajos de topografía de una línea de transmisión de alta tensión, es la representación gráfica bidimensional de un proyecto sobre un plano horizontal visto desde arriba.
Servidumbre de paso	Permiso que otorga un propietario para autorizar el paso de un proyecto de infraestructura y sus componentes a través de su predio.

Telecomunicación	Rama de la ingeniería referente a la comunicación a distancia, resolviendo problemas de transmisión y recepción de señales e interconexión de redes.
Tendido de cable	Procedimiento mediante el cual se suspende un cable conductor en torres de alta tensión, bajo las normas de diseño con las cuales debe cumplir el cable conductor.
Tensión	Tipo de carga que actúa sobre un determinado elemento, tendiendo a estirarlo o aumentar su elongación.
Tensión de línea de transmisión	Magnitud física con la que se impulsan los electrones a lo largo de un cable conductor, provocando el flujo de corriente eléctrica.
Topografía	Rama de la Ingeniería Civil que lleva a cabo procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de superficies de tierra.
Torre de alta tensión	Estructura conformada por piezas de acero galvanizado, utilizada en líneas de transmisión de alta tensión para el sostenimiento de cables conductores.
Valuación	Proceso mediante el cual se estima el valor de un bien.

Voltio

Unidad de medida del voltaje o tensión de una línea de transmisión.

Zapata

Tipo de cimentación utilizada en terrenos con mediana o alta capacidad de carga.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación analiza los conceptos y aspectos básicos, que son imprescindibles en la fase previa a la construcción de líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala.

En el primer capítulo se introduce conceptos referentes a las líneas de transmisión de alta tensión, definiendo en primer lugar la consistencia de las mismas y los elementos complementarios con las que éstas desarrollan un sistema de transporte de energía eléctrica, la importancia que éstas desempeñan en el desarrollo de Guatemala, las áreas de la Ingeniería Civil que se involucran en este tipo de proyectos, y todas las partes propias de una línea de transmisión de alta tensión que deben ser conocidas para comprender el funcionamiento de la misma.

En el segundo capítulo se describe los trabajos preliminares a ser llevados a cabo para una línea de transmisión, los factores a considerarse en la selección de su ruta, así como los trabajos de topografía; los cuales son de utilidad en el diseño de los distintos elementos que conforman una línea de transmisión. Se describe también la necesidad de ejecutar un proceso catastral y la respectiva valuación de los predios involucrados, para llevar a cabo un proceso adecuado en la adquisición de la servidumbre, detallando las distintas leyes que otorgan los permisos necesarios para la construcción del proyecto.

Por último, en el tercer capítulo se da a conocer las cargas que afectan las torres de alta tensión, tanto externas, como las generadas por componentes propios de una línea de transmisión, así como la forma que éstas afectan una torre en la generación de esfuerzos. Se describe además en este capítulo la importancia que tienen los estudios geotécnicos, así como los ensayos aplicados en sitios de torres de alta tensión, para poder determinar la cimentación más adecuada, basado a diferentes parámetros.

OBJETIVOS

General:

Dar a conocer, por medio de un análisis integral, los factores básicos a considerar previos a la construcción de líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala.

Específicos:

1. Describir las generalidades de las líneas de transmisión de alta tensión, los distintos tipos de torres que las conforman y sus partes, así como el gran campo de acción que representan para el ingeniero civil.
2. Enlistar los trabajos preliminares para el trazo y diseño de una línea de transmisión de alta tensión, las gestiones que conlleva su exitosa adquisición y otros factores involucrados en el proceso.
3. Analizar las cargas que pueden afectar a las torres de alta tensión, como parte esencial de las líneas de transmisión, así como otros factores que afectan su comportamiento y estabilidad.
4. Comprender la importancia de los suelos, y su influencia en la cimentación, como parte fundamental de la obra civil previa a la construcción de torres de alta tensión y de una línea de transmisión en general.

INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión de alta tensión representan proyectos de extensa magnitud, y como todo proyecto de infraestructura, involucran múltiples áreas de aplicación de la Ingeniería Civil. Sin embargo, el involucramiento del ingeniero civil guatemalteco en este tipo de proyectos es escaso. Por lo tanto, el mismo carece de las nociones básicas que le impiden su participación en la ejecución de este tipo de proyectos.

La importancia de las líneas de transmisión de alta tensión trasciende a factores clave que inciden en el desarrollo de un país, y a consecuencia de ello, surge un creciente auge en el desarrollo de líneas de transmisión en Guatemala. Todo lo anteriormente descrito da la pauta a una enorme gama de oportunidades en el cual el ingeniero civil puede desarrollarse profesionalmente a base de conocimientos que fundamenten criterios sólidos, que respalden y garanticen el buen desarrollo de este tipo de obras de infraestructura.

Ante la falta de documentos que proporcionen conocimientos fundamentales básicos de Ingeniería Civil referentes a las líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala, así como de la creciente necesidad de ejecutar este tipo de proyectos, en el presente trabajo de graduación se proporciona conceptos y lineamientos básicos que integran las distintas ramas de la

Ingeniería Civil, y que constituyen base importante para la posterior construcción de una línea de transmisión de alta tensión.

Para lograr un certero análisis de proyectos de líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala, y como parte fundamental del presente trabajo de graduación, se analiza generalidades de estos proyectos como introducción a los mismos, los trabajos preliminares y legales necesarios para llevar a cabo su ejecución, las cargas a considerar y la influencia de los suelos como factores determinantes en la seguridad de las estructuras.

1. GENERALIDADES DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN

1.1 Descripción y definición de las líneas de transmisión

Una línea de transmisión es un conjunto de partes especializadas, utilizadas para dirigir la transmisión de energía eléctrica hacia los puntos de consumo, y al mismo tiempo, información importante utilizada en telecomunicaciones. Como en todo sistema de transmisión de energía y datos, se dan pérdidas por distintos factores, y por lo tanto, es necesario hacer que la energía sea transportada con un máximo de eficiencia a modo de disminuir al máximo dichas pérdidas.

De acuerdo con su capacidad y la Ley General de Electricidad de Guatemala, las líneas de transmisión pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Líneas de transmisión de baja tensión (menor o igual a los 1,000 voltios)
- Líneas de transmisión de media tensión (superior a los 1,000 voltios y menor o igual a los 60,000 voltios)
- Líneas de transmisión de alta tensión (superior a los 60,000 voltios)

En función de esta clasificación, se define el tipo de estructura utilizada en la línea de transmisión. Se puede utilizar desde postes simples de madera en líneas de mediana tensión hasta robustas torres metálicas en líneas de alta tensión, dado que estas últimas pueden cubrir largos tramos (cientos de kilómetros) y sujetar cables conductores de mayor diámetro y peso, debido a su alta capacidad energética.

1.1.1 Fuentes de energía para líneas de transmisión

Las líneas de transmisión necesitan una fuente generadora de energía para poder funcionar; a continuación se describe tres fuentes importantes con las que cuenta Guatemala para ser aprovechadas:

- **Energía hidráulica**

Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las corrientes de los ríos (energía cinética), de los saltos de agua (energía potencial) y la gravedad (energía gravitacional). Esta energía aplicada a rotores, molinos y turbinas, genera un movimiento rotacional que se convierte en energía mecánica utilizable en diversas actividades, siendo la aplicación más importante la producción de energía eléctrica. Esta fuente no agota el agua ni causa algún efecto nocivo sobre la misma.

- **Energía Geotérmica**

Está dada por la energía calórica contenida en el vapor de agua que sale directamente a la superficie en zonas volcánicas. Es la velocidad y la temperatura del vapor de agua la que se utiliza para producir energía eléctrica. Las plantas geotérmicas tienen la ventaja que necesitan menor área por megavatio producido que otro tipo de plantas, además de no requerir la construcción de represas, tala de bosques ni construcción de tanques de almacenamiento de combustible.

- **Energía Eólica**

Se obtiene de la fuerza y de la velocidad del viento, el cual es producto del movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

La energía cinética del viento puede ser otra fuente importante para la producción de energía eléctrica.

De las tres fuentes anteriores, la que mayor se explota en Guatemala para la producción de energía eléctrica es la hidráulica y ésta última es utilizada en un porcentaje mínimo comparado con el que se podría producir si existiera un mayor y mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Por lo tanto, debe fomentarse la explotación de los recursos renovables que brinda Guatemala. Existe también en Guatemala plantas térmicas de carbón, con la diferencia que éstas utilizan un recurso no renovable para la generación de energía eléctrica, y su funcionamiento suele causar contaminación.

1.1.2 Complementos de una línea de transmisión de alta tensión

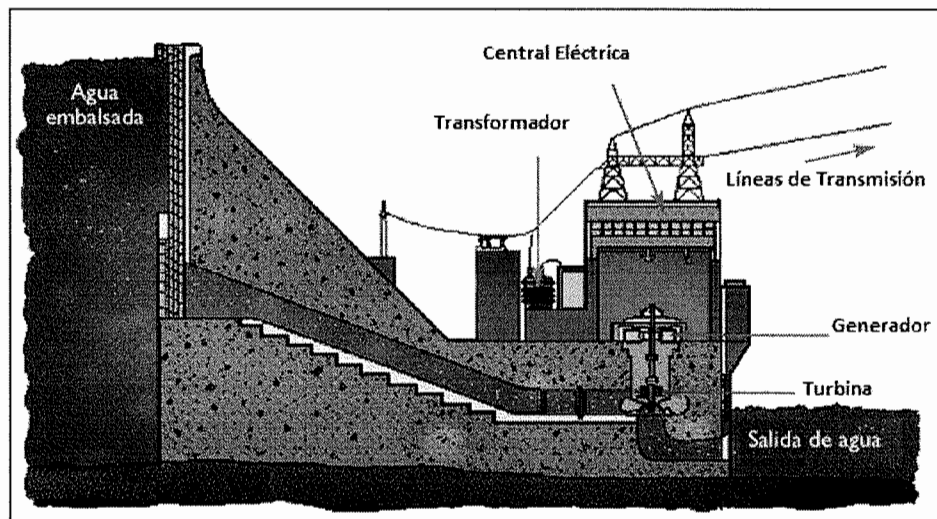
Las líneas de transmisión de alta tensión trabajan en conjunto con otras partes esenciales que conforman todo un sistema, estas se describen a continuación.

- **Planta Generadora de Energía Eléctrica**

Una planta generadora de energía eléctrica utiliza algunas de las fuentes de energía anteriormente mencionadas para la producción de electricidad. La energía producida en dichas plantas es la misma que obtienen y transportan las líneas de transmisión.

La figura 1 muestra el proceso de generación de energía en una hidroeléctrica. Si varía el recurso utilizado para la producción de energía, el proceso sigue siendo el mismo.

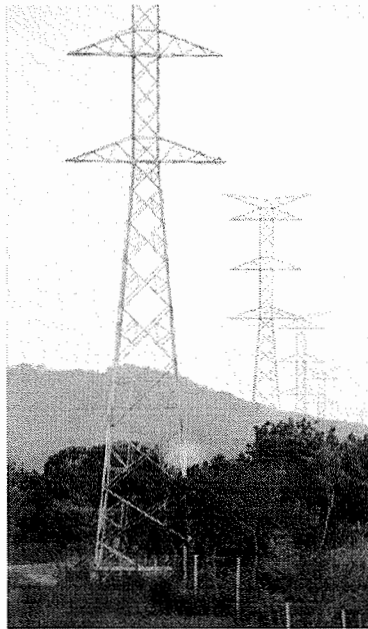
Figura 1. Proceso de generación de energía



Fuente: ar.kalipedia.com

El proceso comienza cuando la fuerza del agua hace girar la turbina, la cual a su vez acciona un generador que produce energía. Dicha energía sale de la central eléctrica pasando por un transformador, el cual da el grado de tensión de la línea de transmisión. Una vez llevado a cabo este proceso la energía es transportada a lo largo de la línea de transmisión a través de cables metálicos que a su vez van sostenidos por medio de las diferentes torres que componen la línea de transmisión, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Línea de transmisión de alta tensión



Fuente: www.eprsiepac.com

- Subestaciones Eléctricas

Las subestaciones eléctricas son usadas para la transformación de la tensión de la energía eléctrica proveniente de las líneas de transmisión. De este modo la energía que llega a una subestación se distribuye en líneas de transmisión de menor tensión aptas para el consumo en de los usuarios en sus distintos puntos.

1.2 Importancia de las Líneas de Transmisión de Alta Tensión

La energía eléctrica es indispensable para el desarrollo de una determinada área geográfica, así como del país en general, dado que es pilar fundamental del desarrollo industrial, parte importante del desarrollo social y un elemento primordial para el avance tecnológico. La energía eléctrica se hace indispensable en la vida cotidiana del ser humano paralelamente a los cambios en los hábitos de vida.

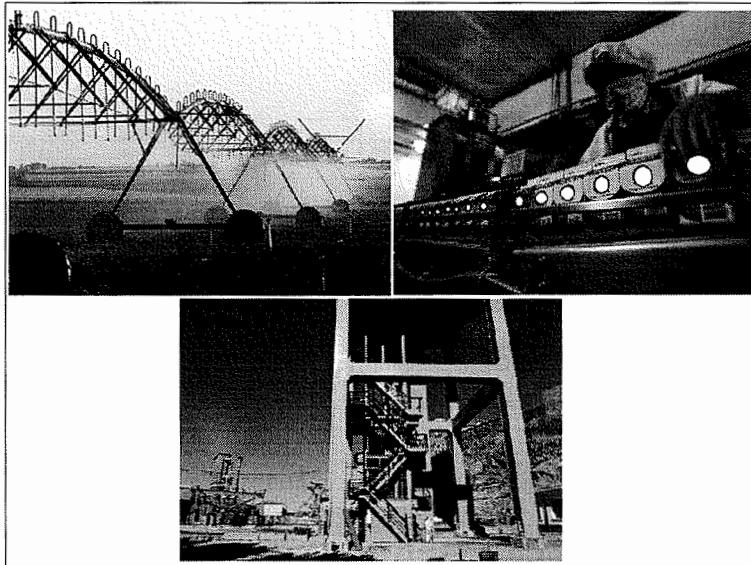
Dentro de las actividades económicas no existe ninguna en la que esté ausente el uso de energía eléctrica. Este consumo energético puede distribuirse en tres sectores según su actividad económica, a la que debe de sumarse la de los hogares:

- Sector Primario

A este sector pertenecen la agricultura, ganadería y minería. De éstos, la agricultura representa un importante papel en la actividad económica de Guatemala dado su gran diversidad biológica. Esta actividad económica depende en gran cantidad de aportes de energía externa para el crecimiento de los cultivos, como el uso de energía eléctrica que impulsa motores de riego.

El sector ganadero hace uso de la energía eléctrica en los múltiples procesos necesarios para obtener los productos obtenidos a través de la ganadería. Por último, la minería también depende en gran parte de la electricidad para la obtención de los distintos minerales.

Figura 3. Energía eléctrica en el sector primario



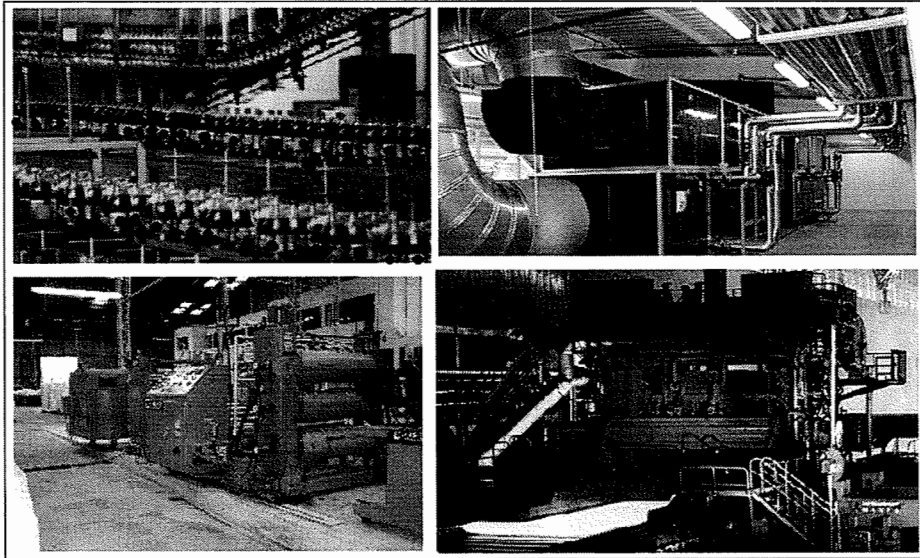
Fuente: www.agronet.com

En la figura 3 se muestran algunos usos de la energía eléctrica dentro de las actividades económicas del sector primario.

- Sector Secundario

Este sector incluye únicamente a la industria y las actividades que esta involucra. Dado el creciente avance de la tecnología y la automatización de hoy en día, las grandes industrias llevan a cabo sus principales procesos a través de maquinaria de última generación, controlando de esta manera la mayoría de sus operaciones, haciendo que la industria sea una de los principales consumidores de energía eléctrica. El consumo atribuido a la industria se reparte en distintos sectores: químico, alimentario, papeleras, textiles, etc. En cada uno de estos sectores puede ser utilizada para accionar motores, para el funcionamiento de grandes hornos eléctricos, en procesos de obtención de calor o refrigeración, para el suministro de iluminación dentro de la planta, así como en múltiples procesos esenciales dentro de la misma, los cuales se muestran en la figura 4.

Figura 4. Uso de la energía eléctrica en el sector industrial



Fuente: www.aceroferrebazan.com.mx

- Sector Terciario

A este sector pertenecen el transporte, servicios y comercios. En países desarrollados el principal consumo de energía eléctrica dentro de dichas actividades económicas se debe al transporte que proporcionan trenes eléctricos, buses híbridos, etc., sin embargo, este no es el caso de países en vías de desarrollo como Guatemala, donde el consumo dentro de este sector económico está representado por las otras dos actividades restantes, donde se incluye a la educación, la sanidad, la banca, hotelería, etc.

- Hogares

A pesar de no estar entre las actividades económicas, el consumo de energía eléctrica en los hogares representa junto con la industria los principales consumidores de dicho recurso. La mayor parte quizá se invierte en la producción de agua caliente sanitaria, otros usos importantes son el de iluminación y el uso de electrodomésticos.

Todas las actividades económicas de Guatemala dependen en gran parte de la energía eléctrica. Si ésta no llega a cada uno de sus destinos, sin duda se crea un grave estancamiento en el flujo de la economía del país; muchas actividades, procesos y operaciones se ven interrumpidas o simplemente no pueden ser llevadas a cabo. De las diferentes necesidades surge la importancia de llevar la energía eléctrica a cada uno de sus usuarios y destinos, siendo sinónimo esencial de desarrollo.

Luego de todo lo anteriormente descrito, sale a relucir la importancia de las líneas de transmisión. Sin líneas de transmisión simplemente no hay energía.

Con su finalidad primordial, que consiste en transportar toda la energía eléctrica generada en magnitudes considerables hasta las subestaciones de distribución, las líneas de transmisión de alta tensión llevan consigo otras consecuencias positivas:

- Brindan nuevas oportunidades de desarrollo
- Impulsan del desarrollo económico y social
- Ayudan a la reducción de la pobreza
- Acrecentan la riqueza del capital humano
- Elevan la calidad de vida
- Generan nuevas fuentes de trabajo

Todo esto se logra porque se crea un entorno en donde las áreas geográficas y sus habitantes desarrollan sus potenciales, disfrutan de una vida productiva y creativa de acuerdo a sus propias necesidades e intereses, a nivel individual y colectivo.

Además de transportar energía eléctrica, las líneas de transmisión de alta tensión integran en proyectos recientes el uso de fibra óptica, facilitando la conducción de telecomunicaciones. Esto promueve una auténtica sociedad de información, mediante la conectividad y el aprovechamiento de tecnologías de información y comunicaciones como herramientas modernas de desarrollo. Esto reduce la brecha digital a nivel regional, induciendo a una más efectiva, amplia y competitiva utilización social de las telecomunicaciones para elevar los niveles y calidad de vida del área.

1.2.1 Auge de las Líneas de Transmisión de Alta Tensión en Guatemala

Guatemala cuenta con un gran potencial energético que aún espera por ser explotado. Según estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (MEM), gran parte de dicho potencial está concentrado en el sector hidroeléctrico, del cual sólo un minúsculo porcentaje es aprovechado. La tabla I lo resume en magnitudes:

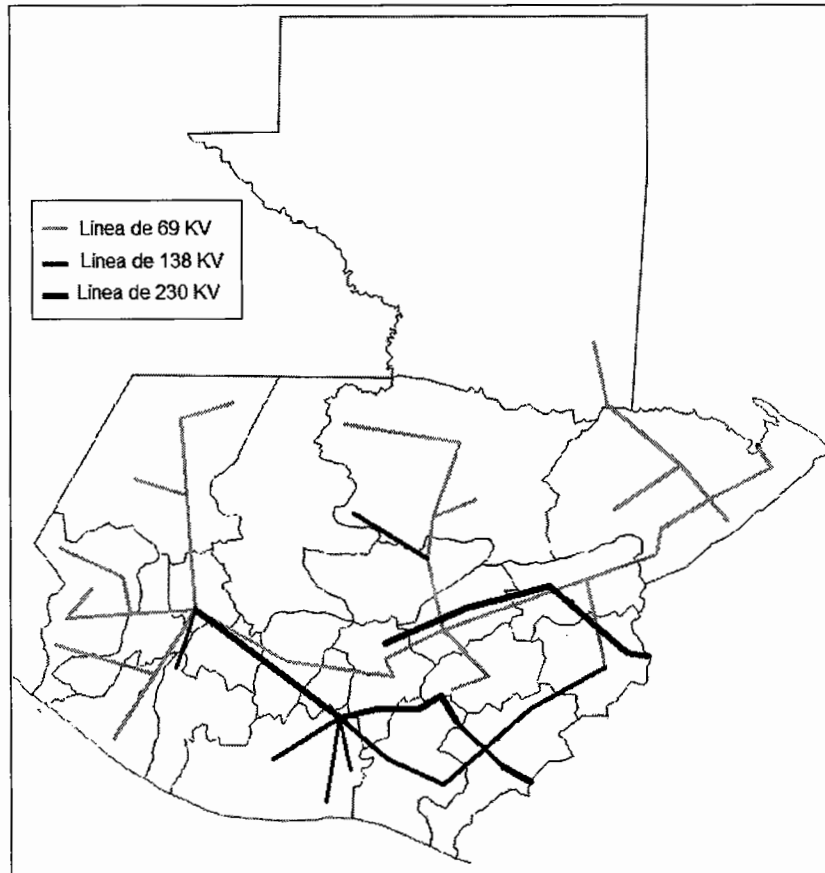
Tabla I. Potencial de los recursos renovables en Guatemala

Fuente	Potencial(MV)	Utilizado (MV)	% Utilizado
<i>Hidroeléctrico</i>	5,000	650.3	13.01
<i>Geotérmico</i>	1,000	26.5	2.65
<i>Eólico</i>	7,800	0.1	0

Fuente: Boletín "La Energía en Guatemala", MEM 2,007

Si a esta falta de explotación de los recursos energéticos se le suma la creciente demanda de energía (cerca de un 5% anual) de parte de las industrias, comercios, servicios y residencias, se crea una importante necesidad energética para que dicha demanda sea satisfecha, la cual conlleva un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos que brinda el país, así como la ampliación de la red de líneas de transmisión para el suministro de recursos, en la solución de esta problemática.

Figura 5. Red de líneas de transmisión de Guatemala



Fuente: www.inde.gob.gt

La figura 5 muestra la red de líneas de transmisión de Guatemala para el año 2006, contando con 3033 km de líneas de transmisión distribuidos de la siguiente manera: 2084 km de 69 KV, 276 km de 138 KV y 673 km de 230 KV, además de 64 subestaciones de transformación.

Dicha red está conformada en su gran mayoría por líneas de alta tensión de baja capacidad (69 KV), haciendo falta desarrollo e infraestructura de líneas de alta tensión de mayor magnitud. Con base a estos datos y a la problemática energética del país anteriormente mencionada, desde años anteriores se viene contemplando la ampliación de dicha red con los siguientes proyectos de generación de energía:

- Planta Río Hondo 2 (36 MV)
- Central ZYM (15 MV)
- Xacbal (94 MV)
- Central Canujá (22.8 MV)
- Cutzulchimá (11.6 MV)
- Esmeralda (20.6 MV)
- El Estor (12 MV)
- El Recreo (25 MV)

La ampliación de la red también considera tres grandes proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, los cuales se describen a continuación:

- Interconexión México-Guatemala

Inaugurado en junio del año 2006. Añade un total de 103 kilómetros de líneas de transmisión de 400 KV de los cuales 32 se encuentran en territorio mexicano y 71 kilómetros en Guatemala. Dicho proyecto incluyó la ampliación de las estaciones de Tapachula y los Brillantes en Retalhuleu. Se crea con el objetivo principal de hacer posible la interconexión eléctrica entre Guatemala y México, para fortalecer el sistema de transmisión y efectuar transacciones de energía entre ambos países. Dicho proyecto incluye un contrato de compraventa de energía asociada, por medio del cual el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) adquirirá de la Comisión Federal de Electricidad de México 120 megavatios (MV), con posibilidad de ampliar dicha magnitud hasta 200 MV, dado el excedente energético con el que cuenta el país vecino. Dicho intercambio servirá para abastecer la demanda de energía eléctrica. El monto total del proyecto asciende a los USD 56 millones de los cuales USD 37.5 millones equivalen a la inversión hecha en Guatemala financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En abril del 2009 se llevaron a cabo exitosamente las primeras pruebas de dicha interconexión. Durante el segundo semestre de 2009 se realizaron los primeros intercambios de energía entre ambos países.

La infraestructura del proyecto cuenta con estructuras de acero galvanizado con cimentación de concreto, además de la implementación de fibra óptica para la transmisión de telecomunicaciones.

- SIEPAC

El Sistema de Interconexión de Energía Eléctrica para países de América Central (SIEPAC) consiste en la ejecución del primer sistema de transmisión eléctrica regional que reforzará la red eléctrica de América Central (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá), con las siguientes especificaciones: líneas de transmisión eléctrica a 230 KV, de las siguientes longitudes estimadas: Guatemala: 282 km; El Salvador: 287 km; Honduras: 270 km; Nicaragua: 309 km; Costa Rica: 489 km; y Panamá: 151 km. La línea SIEPAC se conectará a las redes nacionales de cada país, mediante las siguientes subestaciones: Guatemala Norte, Panaluya y Guatemala Este en Guatemala; Ahuachapán, Nejapa y 15 de Septiembre en El Salvador; Río Lindo y Agua Caliente en Honduras; Planta Nicaragua y Ticuantepe en Nicaragua; Cañas, Parrita, Río Claro y Palmar Norte en Costa Rica; y Veladero en Panamá.

Desde sus inicios, la infraestructura del SIEPAC ha sido concebida con una disponibilidad de fibras ópticas, siendo una parte de esta necesarias para la propia operación del sistema y mantenimiento de la infraestructura de transmisión, así como para las necesidades del sector eléctrico centroamericano, dejando un remanente para otros usos tales como las telecomunicaciones y poder establecer posibles negocios con los socios eléctricos de cada país con este potencial.

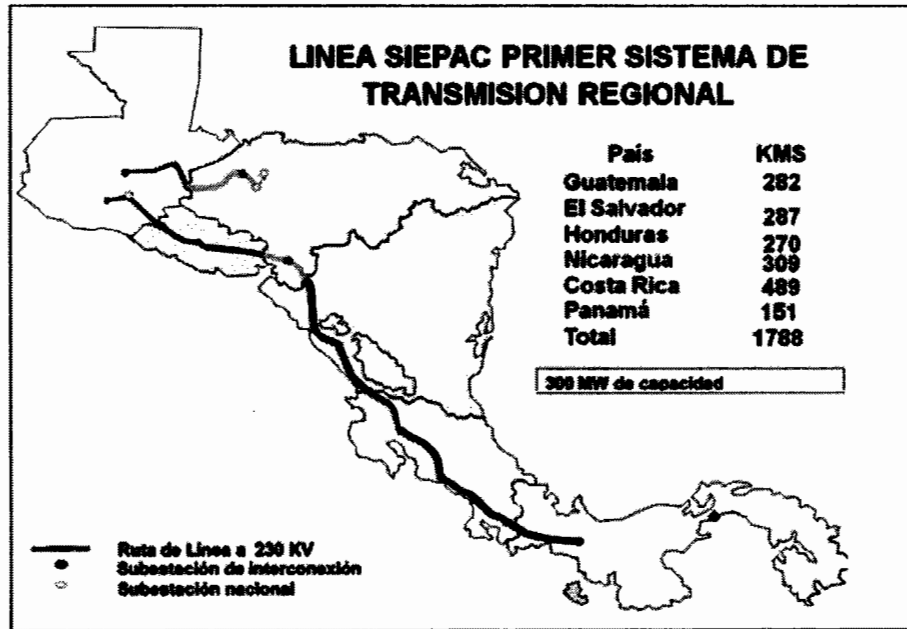
El proyecto SIEPAC fue concebido para apoyar la formación y consolidación progresiva de un Mercado Eléctrico Regional (MER), así como establecer toda la infraestructura de interconexión eléctrica (líneas de transmisión, equipos y subestaciones) que permita los intercambios de energía eléctrica entre los participantes de dicho Mercado Eléctrico Regional. Toda esta infraestructura con refuerzos de los sistemas de transmisión de cada país, permitirán disponer de una capacidad confiable y segura de transporte de energía de cerca de 300 MV entre los países de la región.

Las siguientes cantidades enlistan la magnitud del proyecto de la línea del SIEPAC:

- 4,600 estructuras de alta tensión
- 32,000 toneladas de acero
- 110,000 toneladas de concreto
- 4,000 toneladas de aluminio
- 65,000 km de fibra óptica
- 1,800 km de servidumbre

Lo extenso del proyecto también implica la generación de cerca de 1100 empleos directos durante la construcción de la línea, así como inversiones de millones de dólares tanto en ejecución como en operación y mantenimiento. El costo total del proyecto se estima en unos USD 395,000,000 y se prevé esté finalizado para finales del año 2010.

Figura 6. Ruta del proyecto SIEPAC



Fuente: www.eprsiepac.com

La figura 6 ilustra la ruta del proyecto SIEPAC en su totalidad, logrando interconectar eléctricamente toda América Central, esto supone un enorme avance para suplir el déficit energético de los países de la región mediante el intercambio continuo de energía entre los mismos. El proyecto SIEPAC se analiza ser unificado junto con la interconexión México-Guatemala, mejorando las posibilidades de intercambio con la adición de un poderoso miembro al sistema como lo es México, país que cuenta con exceso de recursos energéticos.

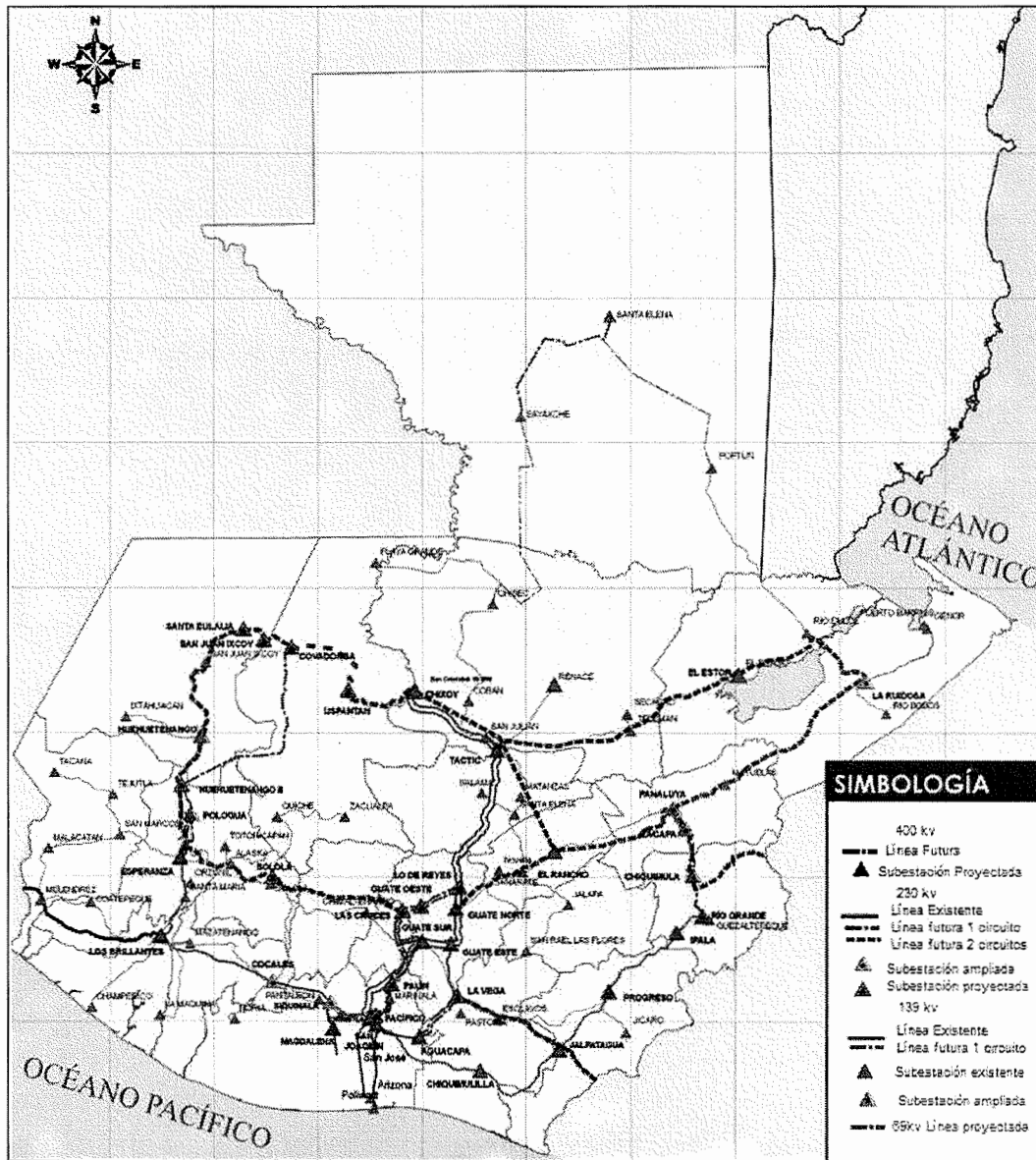
- Plan de expansión de líneas de transmisión

Debido a los problemas identificados en la red de transmisión actual de Guatemala, al crecimiento de la demanda y la falta de inversiones en años anteriores la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala (CNEE), promovió a partir de marzo de 2009 la licitación tanto a nivel nacional como internacional para la construcción de más de mil kilómetros de líneas de transmisión de 230 KV, así como la ampliación y construcción de nuevas subestaciones.

Dicho plan está proyectado desde 2008 para ser finalizado en el 2022, año en el cual se pretende entren en operación aproximadamente 2700 MV de nueva generación. El objetivo primordial del plan de expansión es cumplir con los lineamientos, acciones y estrategias establecidas en la política energética aprobada por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), priorizando la garantía del suministro de la energía eléctrica en Guatemala, mediante la utilización óptima de los recursos renovables.

El plan de expansión prevé la construcción de un sistema de transporte de energía que consiste en círculos que permitan llevar la energía desde otra área cuando ocurran fallas, dividiendo el proyecto en 5 anillos. La inversión para el proyecto se estima en poco más de USD 504 millones.

Figura 7. Plan de expansión de líneas en Guatemala



Fuente: www.cnee.gov.gt

La figura 7 muestra el diagrama propuesto para el plan de expansión de líneas de transmisión en el mapa de Guatemala.

Los cinco anillos de los cuales está constituido el proyecto se resumen en la siguiente tabla:

Tabla II. Tabla resumen del plan de expansión

Anillo	Ubicación Geográfica	Departamentos	Longitud (kms)	Subestaciones
Anillo Metropacífico	Región Central y Región Sur	Guatemala, Chimaltenango, Escuintla y Sacatepéquez	144	1. Pacífico (maniobras) 2. La Vega (maniobras) 3. Palín 4. GuateOeste 5. Lo de Reyes (maniobras) 6. Separación de Barras Escuintla I 7. Separación de Barras Escuintla II 8. Separación de Barras GuateSur 9. Separación de Barras GuateNorte 10. Ampliación de Transformación GuateNorte 11. Ampliación de Transformación GuateEste 12. Ampliación de Transformación GuateSur 13. Ampliación de Transformación en Escuintla 14. Seccionamiento 2do. Circuito GuateNorte - GuateSur 15. Ampliación enlace Escuintla I y II 16. Subestación GuateNorte Grupo 1 17. Subestación GuateNorte Grupo 2
Anillo Hidráulico	Región Noroccidental	Huehuetenango, Alta Verapaz, Baja Verapaz y Quiché	464.3	1. Ampliación Pologuá 2. Ampliación Huehuetenango 3. Chixoy II (maniobras) 4. Subestación Codavonga (maniobras) 5. Huehuetenango 6. Subestación San Juan Ixcoy (maniobras) 7. Subestación Santa Eulalia (maniobras) 8. Subestación Uspantán (maniobras)
Anillo Atlántico	Región Nororiental	Chiquimula, Izabal, El Progreso y Zacapa	585	1. Panaluya 2. Panaluya 3. El Estor 4. La Ruidosa
Anillo Oriental	Región Suroccidental	Jalapa, Jutiapa y Santa Rosa	55	1. Ampliación de la transformación en Chiquimula 2. Ampliación de la transformación en Zacapa 3. Ampliación de la transformación en Jalpatagua 4. Ampliación de la transformación en el Rancho
Anillo Occidental	Región Suroccidental	Quetzaltenango, Retalhuleu, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez y Tonicapán	146	1. Las Cruces (maniobras) 2. Siquinalá (maniobras) 3. Sololá 4. Traslado de transformador a la Esperanza 5. Ampliación de la transformación en la Esperanza 6. Ampliación de la transformación en Cocales 7. Ampliación de la transformación en Magdalena
Total			1394.3	40 (subestaciones, ampliaciones y refuerzos)

Fuente: Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas

1.3 Trascendencia de la Ingeniería Civil en las Líneas de Transmisión de Alta Tensión

El desarrollo de cualquier obra de infraestructura es el objetivo principal de la Ingeniería Civil, siendo ésta una base fundamental para la ejecución de cualquier proyecto que fomente el crecimiento de Guatemala.

Las líneas de transmisión de alta tensión se catalogan como proyectos sumamente extensos, que involucran infraestructura especializada concerniente a múltiples áreas de la Ingeniería Civil, cuya aplicación con adecuado criterio se hace fundamental para llevar a cabo un proyecto de este tipo. Entre las ramas de la Ingeniería Civil que se relacionan con un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión se cita las siguientes:

- Planeamiento

Como todo proyecto de gran magnitud, una línea de transmisión de alta tensión debe ser cuidadosamente planificada para ser realizada con éxito. Esto implica la definición de todas las fases con las que cuenta el proyecto, cuantificadas en tiempo y costos, así como la metodología a seguir para realizarlas.

Para una línea de transmisión de alta tensión se puede identificar varias etapas principales en la realización del proyecto:

1. Diseño de la ruta de la línea de transmisión
2. Georeferenciamiento de la ruta
3. Catastro de la línea
4. Toma de topografía de la ruta
5. Negociación y adquisición de la servidumbre
6. Obtención de licencias de construcción
7. Toma de topografía de cada sitio de torre
8. Excavación del sitio de torre para cimentación
9. Fundición de la cimentación
10. Montaje de torre de alta tensión
11. Tendido de cables conductores

La planificación de cada una de las etapas anteriores se hace esencial en una línea de transmisión, especialmente en la negociación y adquisición de la servidumbre, que representa en algunas ocasiones uno de los principales retrasos en este tipo de obras. Una adecuada planificación logrará además de tomar en cuenta cada una de las actividades que involucra cada etapa, considerar los imprevistos que pudieran surgir en cada una de ellas, estimar los recursos necesarios y estimar los costos para cada actividad a modo de cumplir con los objetivos del proyecto, evitando retrasos que pudieran repercutir en la economía y en la ejecución.

- Topografía

Todo proyecto de infraestructura necesita un conocimiento pleno de la superficie de terreno que la albergará, es por ello que la topografía se convierte en punto de partida.

Gran parte de los trabajos dentro de un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión están sustentados en labores topográficas, desde el diseño de la ruta, el catastro, el georeferenciamiento de la torres, hasta la propia construcción. Por tal motivo, la topografía se convierte en una importante rama de la ingeniería civil aplicada a líneas de transmisión de alta tensión.

- Diseño Estructural

Los proyectos de líneas de transmisión de alta tensión necesitan tener previo a su ejecución un estudio bien fundamentado en cuanto a las estructuras, dado el tipo de torres que involucran y todos aquellos factores que de alguna u otra manera pudieran afectar su comportamiento.

En primer lugar, es necesario tener conocimiento de los materiales que constituirán la torre de alta tensión, así como los cables conductores de la energía eléctrica. De esta manera se define las propiedades mecánicas de los materiales, resistencias conocidas, así como su respuesta ante distintos factores climáticos, los cuales pueden causar contracciones o dilataciones en el material utilizado.

Asimismo es necesario llevar a cabo un análisis estructural que fundamente el diseño de las torres de alta tensión, tomando en cuenta la configuración estructural más adecuada, las cargas a las que se verán sometidas y el modo en que estas incurrirán en el comportamiento de la estructura.

- Mecánica de suelos y cimentaciones

El conocimiento del suelo y de las propiedades que éste brinda, se hace esencial como material de soporte para torres de alta tensión. Por tal motivo se hace necesario la toma de muestras de suelo en zonas estratégicas, así como los distintos ensayos que aplican a estos proyectos. Como consecuencia de un buen conocimiento del suelo, se podrá emitir juicios acertados en cuanto al diseño de la cimentación que soportará la superestructura.

- **Valuación de Bienes Inmuebles**

Esta área desempeña un papel importante en proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, debido a que todos los terrenos por donde pasará la línea de transmisión deben ser valuados por un experto en la materia previo a su construcción. Mediante la valuación a lo largo de toda la ruta de la línea de transmisión, se logra establecer los valores de los terrenos afectados, lo que conlleva una negociación adecuada en la adquisición de la servidumbre bajo un precio justo.

A partir de todo lo anteriormente expuesto se analiza que un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión se relaciona íntimamente con la Ingeniería Civil, abarcando prácticamente todas sus áreas de aplicación, tanto en la fase previa a su ejecución, como en los trabajos propios de la misma, partiendo desde el planeamiento del proyecto, hasta la fase de ejecución física. Esto representa un campo de acción sumamente amplio para el ingeniero civil, donde la aplicación de criterios adecuados a su rama se hacen esenciales para la integridad del proyecto en general.

1.4 Partes de una línea de transmisión de alta tensión

Como ya se definió anteriormente, una línea de transmisión es un conjunto de partes especializadas, cuyo fin es el transporte de energía eléctrica. Este conjunto de partes está representado básicamente por dos, (las cuales a su vez pueden estar estructuradas y conformadas por otras partes menores y ser de distintos tipos), estas son:

- Torres de alta tensión
- Cables de conducción

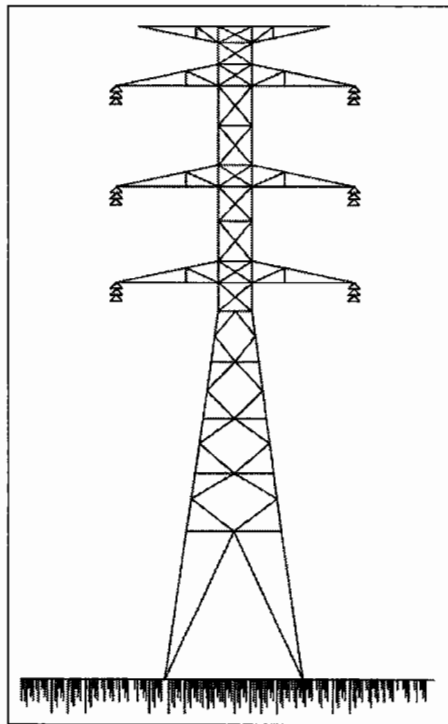
1.4.1 Torres de Alta Tensión

Las torres de alta tensión son estructuras especializadas cuyo fin primordial es sujetar los cables que conducirán la energía eléctrica a través de toda la línea de transmisión. Estas pueden variar en altura para mantener los cables a una distancia vertical adecuada del nivel de piso, así como también variar en tipo según sus requerimientos mecánicos.

En el diseño de una torre de alta tensión deben considerarse varios factores que pueden afectar su estabilidad, tal es el caso del número de cables

conductores a sujetar, la tensión mecánica de los mismos, la forma en que el viento afecta tanto a los conductores como a la propia torre, las cargas sísmicas, la composición del suelo y la cimentación a utilizar. Una torre de alta tensión está estructurada por un conjunto de piezas de acero, tal y como se muestra en figura 8, las cuales se encuentran recubiertas con una capa de galvanizado, protegiendo al material de los efectos de la corrosión al estar expuesto totalmente a la intemperie.

Figura 8. Estructura de una torre de alta tensión



Fuente: Elaborada por el autor

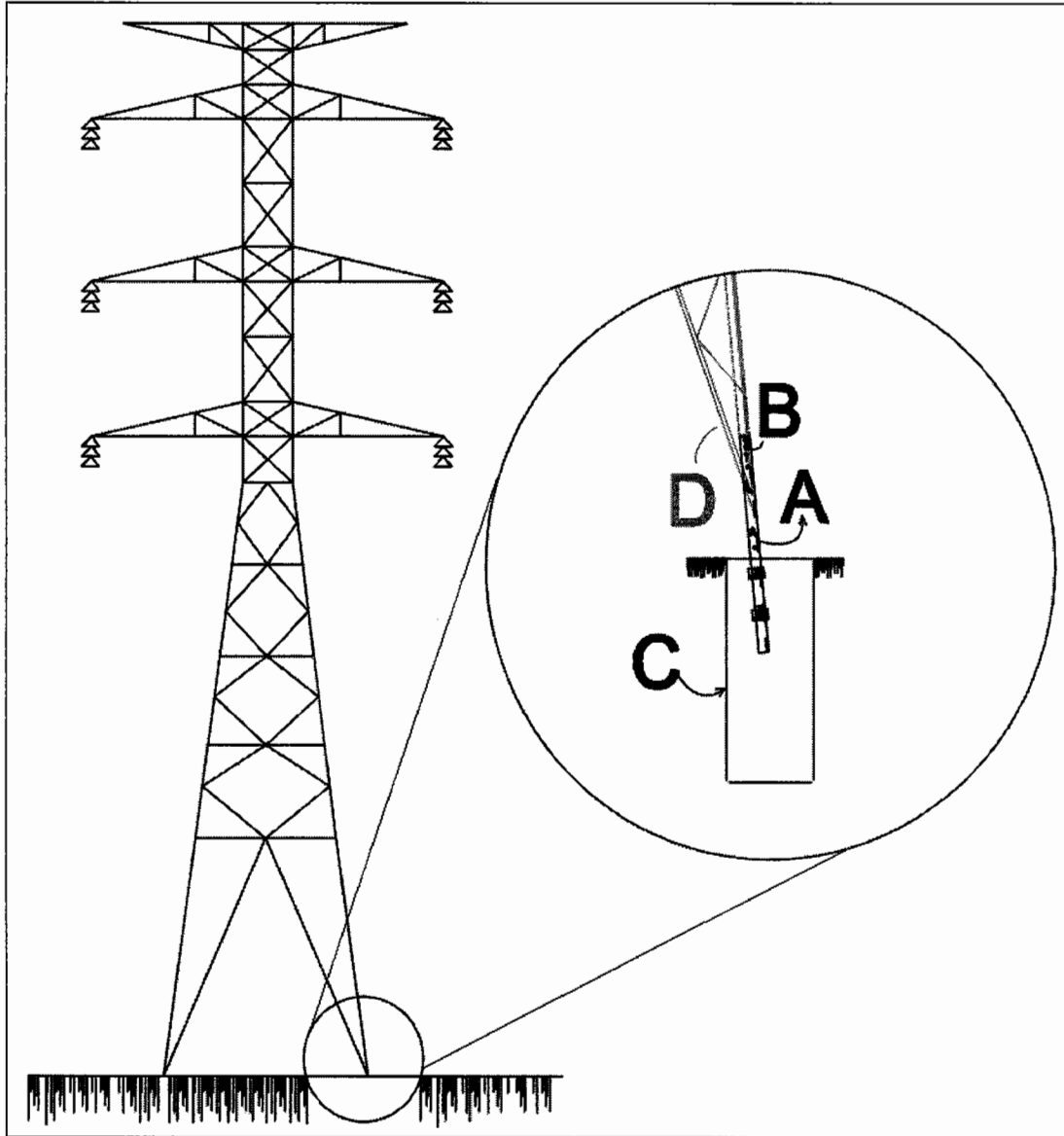
Se puede identificar varias partes en la estructura de una torre de alta tensión, las cuales se describen a continuación, desde el nivel inferior de la torre hasta la estructura superior.

- Stub

El stub es utilizado como pieza de unión entre la cimentación y las patas de la torre. Para cumplir con dicho fin, la cimentación se funde conjuntamente con el stub, siendo éste previamente nivelado topográficamente para lograr encajar con el resto de estructura de la torre. Una vez que el stub queda debidamente anclado a la cimentación, la pata de la torre se une al stub mediante tornillos, dando paso a levantar el resto de la estructura.

La figura 9 muestra la localización del stub en una torre de alta tensión, así como la utilidad de dicha pieza en las uniones anteriormente descritas. El literal A de la figura muestra el stub; el B señala la localización de los tornillos de unión; el C muestra la cimentación de la torre; y finalmente el D señala la pata de la torre que se une al stub.

Figura 9. Localización de stub en torre de alta tensión

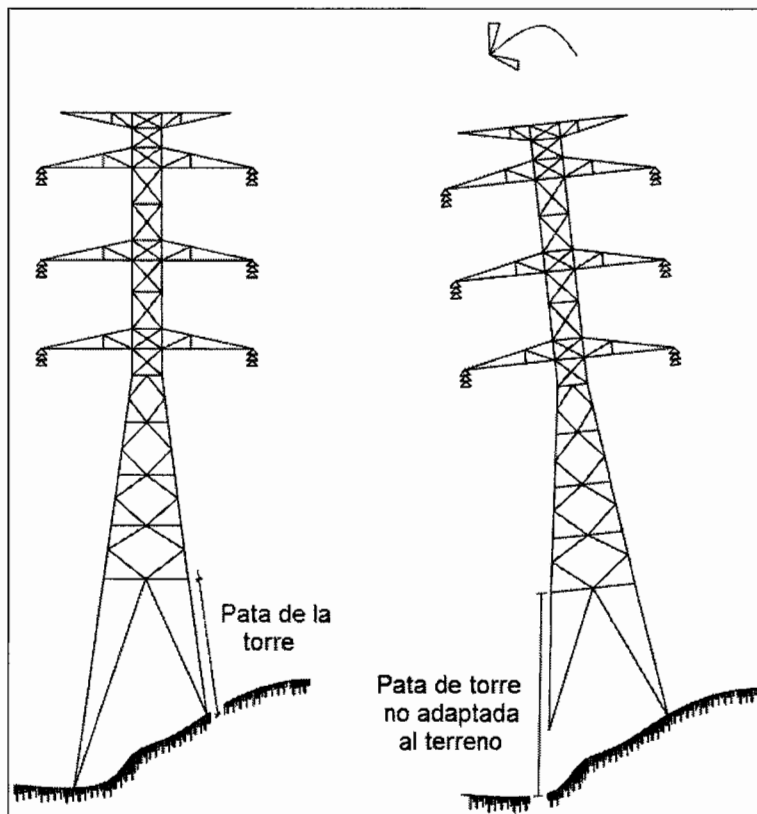


Fuente: Elaborada por el autor

- Patas de la torre

Una torre de alta tensión consta de cuatro patas. Estas son las encargadas de adaptarse a los posibles desniveles del terreno, evitando así ladeos en la torre (tal y como muestra la figura 10). Por tal motivo, las patas de una torre de alta tensión se fabrican en distintas alturas.

Figura 10. Patas de torre de alta tensión

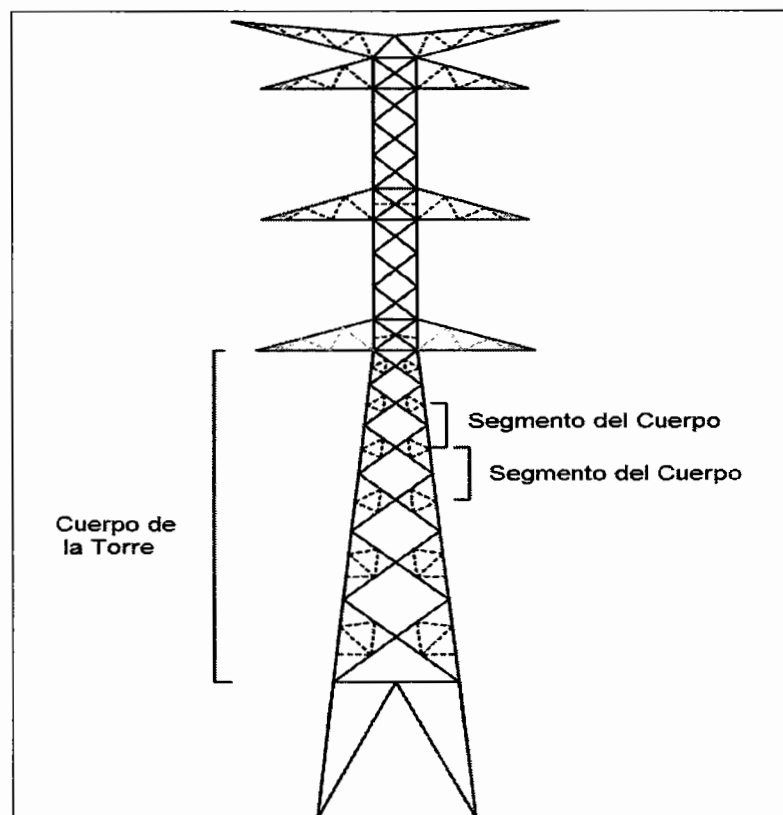


Fuente: Elaborada por el autor

- Cuerpo de la torre

El cuerpo de la torre es la parte consecutiva a las patas. Tiene la función de darle la altura deseada a la torre mediante segmentos repetitivos, montando tantos segmentos como sea necesario para dar la altura especificada a la torre. La figura 11 muestra el detalle del cuerpo de una torre.

Figura 11. Cuerpo de torre de alta tensión

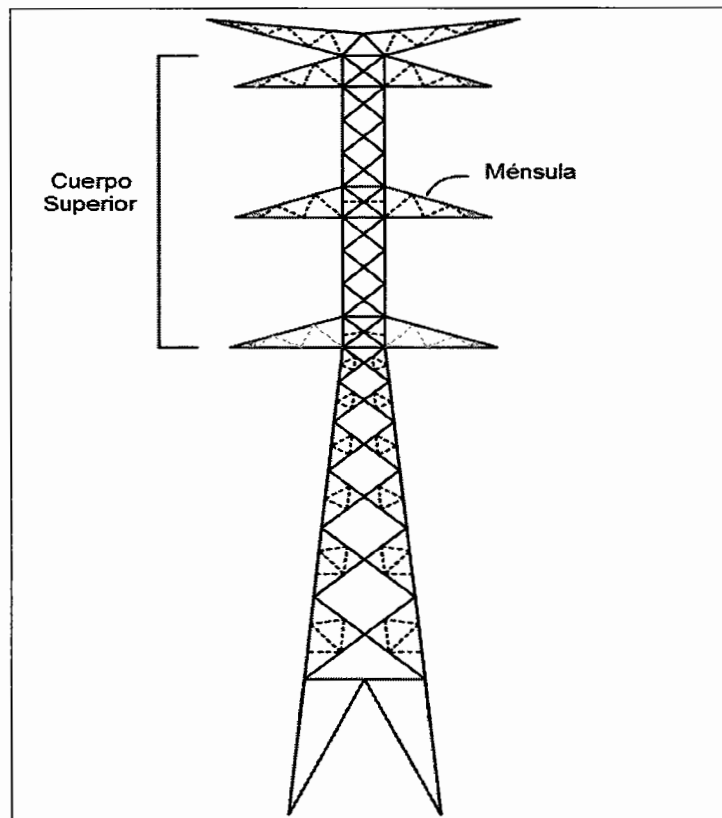


Fuente: Elaborada por el autor

- Cuerpo superior y ménsulas

Seguidamente al cuerpo de la torre se encuentra la parte superior de la estructura. Dicha parte es el cuerpo superior de la torre, y es en éste que se sujetan las ménsulas, las cuales a su vez tienen la finalidad de sujetar los cables conductores. La figura 12 muestra ambas partes.

Figura 12. Cuerpo superior y ménsula



Fuente: Elaborada por el autor

Una vez descritas las partes esenciales que conforman una torre de alta tensión, es necesario también conocer los distintos tipos de torres existentes según sus requerimientos mecánicos.

- Torre de suspensión

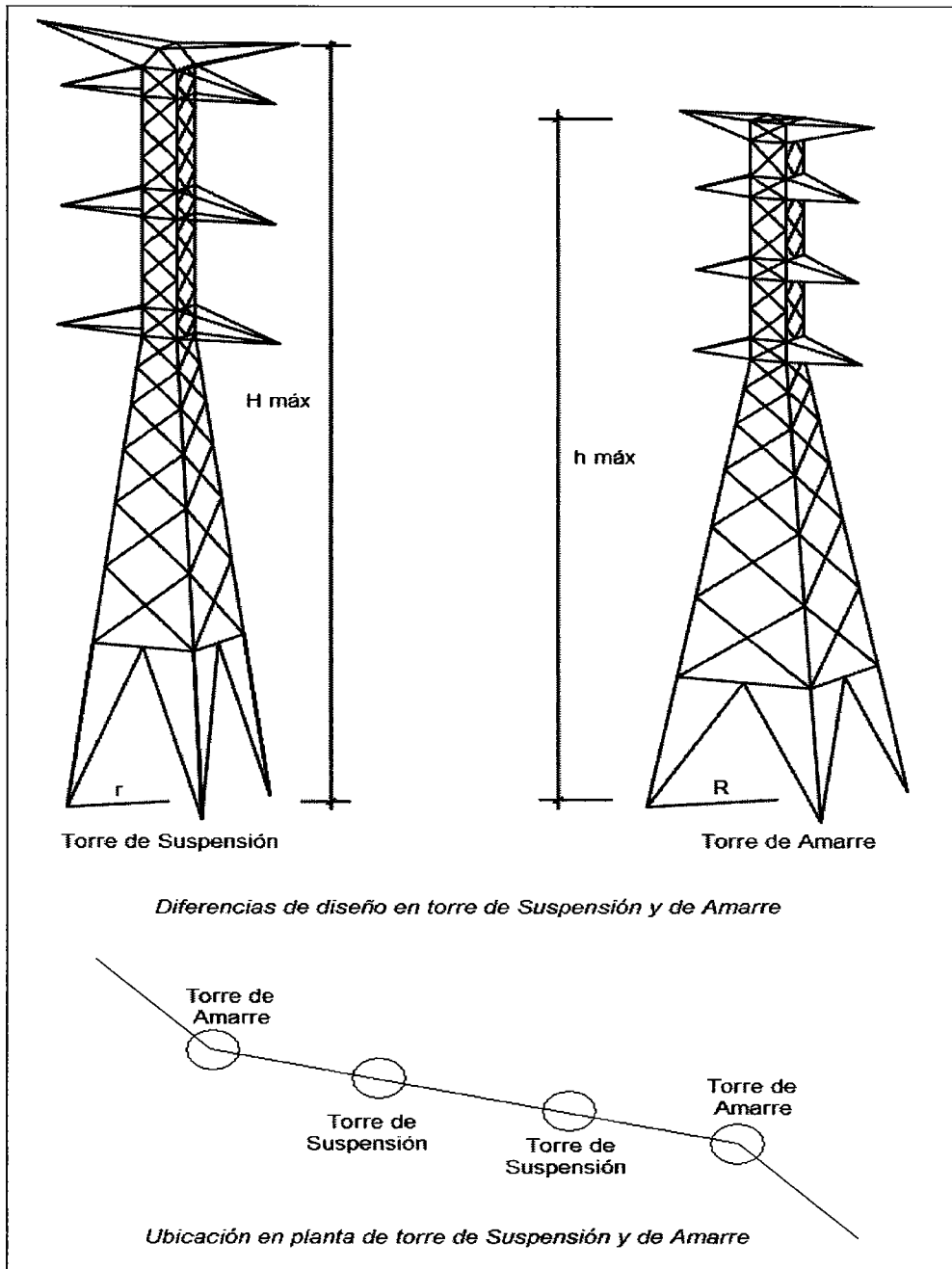
Es utilizada en los tramos rectos de la línea de transmisión. Soporta cargas causadas por la naturaleza, así como el propio peso de los cables.

- Torre de amarre

Soporta esfuerzos laterales de torsión generados por los cables conductores, producto del cambio de dirección en la línea de transmisión. Por tal motivo la altura máxima que puede alcanzar es menor al de una torre de suspensión, y el radio del centro de la torre a sus apoyos es mayor, dando más resistencia y estabilidad a la torre ante los esfuerzos inducidos.

Se puede observar en la figura 13 una comparación entre una torre de suspensión y una de amarre, tanto en su localización como en su diseño.

Figura 13. Torre de suspensión y torre de amarre



Fuente: Elaborada por el autor

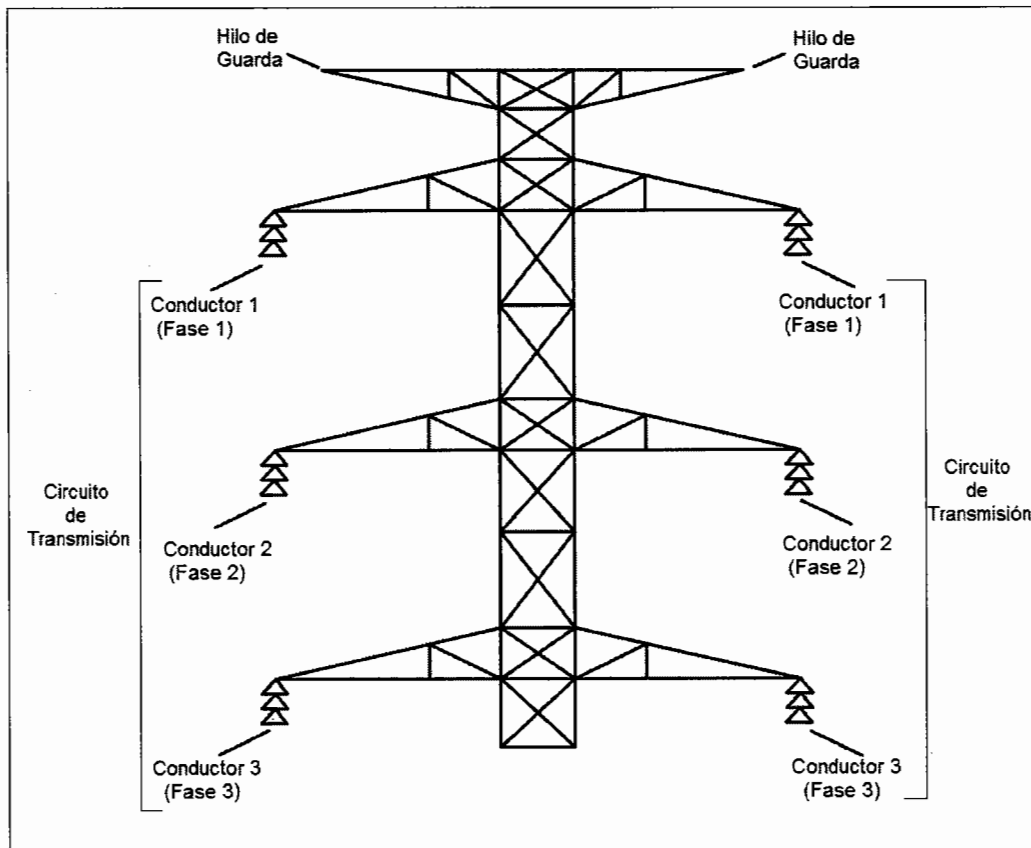
1.4.2 Cables conductores

Los cables conductores son los encargados de conducir la energía eléctrica producida en una determinada central generadora.

Dado que la energía es transmitida en tres fases, es necesario un igual número de cables conductores para completar un circuito de transmisión. A los cables conductores es necesario sumar un cable denominado “hilo de guarda” con el fin de proteger la línea de transmisión ante posibles descargas ⁽⁴⁾. Esta protección consiste en interceptar las descargas atmosféricas y transmitir las por medio de un conductor a tierra. Además de esta función esencial, el hilo de guarda está constituido por finos hilos de fibra óptica los cuales son los encargados de la transmisión de telecomunicaciones.

Se observa en la figura 14 el cuerpo superior de una torre de alta tensión, ubicando en el mismo los hilos de guarda, así como también, los cables conductores.

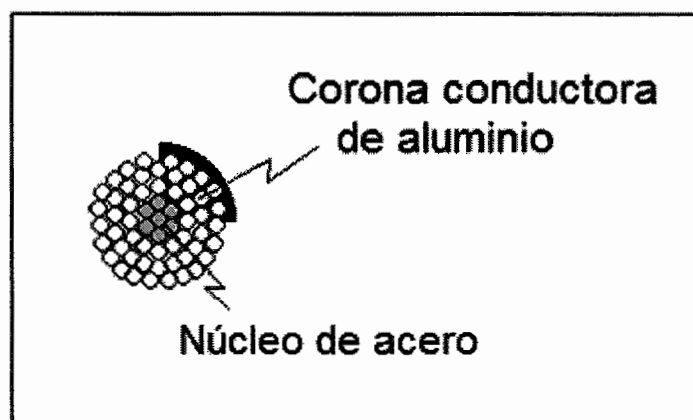
Figura 14. Localización de cables conductores e hilos de guarda



Fuente: Elaborada por el autor

Los cables conductores de una línea de transmisión de alta tensión están constituidos de un núcleo de alambres de acero que contribuyen a la resistencia mecánica, rodeado de una corona de alambres de aleación de aluminio que llevan a cabo la función propia de la transmisión de energía eléctrica, tal y como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Cable conductor



Fuente: www.textoscientificos.com

2. TRABAJOS PRELIMINARES Y TRABAJOS LEGALES EN EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN

2.1 Selección de la ruta

En el proceso de selección de ruta de una línea de transmisión de alta tensión, se debe investigar y estudiar diversas rutas, con la finalidad de garantizar la elección de una ruta práctica y factible, tomando en cuenta costos de construcción, uso del suelo, impacto ambiental, el mantenimiento de la línea y otras consideraciones referentes a la ingeniería del proyecto.

La definición de la ruta tiene su punto de partida en un mapa de restricciones de paso, desarrollado como producto del trabajo de gabinete, el cual se apoya fuertemente en mapas de distinta índole y una herramienta muy valiosa; los sistemas de información geográfica (SIG). Éstos tienen una gran trascendencia en proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, puesto que automatizan el proceso de selección de la ruta, permiten a los usuarios consolidar la información de mapas y sus atributos, por lo tanto se puede analizar de manera eficiente toda la información resultante. La información que proporciona los sistemas de información geográfica ha demostrado facilitar la elección de rutas eficientes con el ambiente y las personas.

Una vez elaborado el mapa de restricciones, se procede a realizar un proceso de descarte, donde resaltan las áreas geográficas más confiables para el desarrollo de la línea. De esta manera se define los lugares donde el paso de la ruta es inadecuado y como producto se obtiene un mapa con distintas alternativas de ruta.

Idealmente todos los factores a tomar en cuenta en la selección de la ruta deben ser graficados en mapas de estudio, con finalidad que esta información pueda ser evaluada fácil y claramente.

Luego del análisis que se obtuvo del estudio de gabinete, se hace esencial una segunda fase; la investigación de campo, la cual permite realizar un diagnóstico del medio circundante, así como la coordinación con municipalidades locales. Este proceso se realiza con la finalidad de descartar alternativas de ruta, las cuales demuestran no ser compatibles con usos de suelo actuales o que impacten negativamente en una determinada área, tanto por el aspecto ambiental (considerando bosques primarios y áreas protegidas), así como también por el aspecto social, el cual para Guatemala representa un factor decisivo, tanto previo a la ejecución del proyecto, como en la construcción misma. Por tal motivo, es necesario tomar en cuenta las áreas que contengan núcleos poblados que pueden promover una fuerte oposición de comunidades en dicha ruta.

Si se reduce las regiones de estudio; de extensas a áreas localizadas, el detalle de información recolectada permite focalizar el interés en una o dos alternativas o corredores de ruta factibles, las cuales deben ser analizadas en base a las consideraciones necesarias a tomar en cuenta para un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión.

2.1.1 Consideraciones en la selección de ruta

La selección final del corredor de ruta debe basarse en las consideraciones descritas a continuación:

- Alineamiento y deflexiones

La ruta ideal de una línea de transmisión es una línea recta. Esta afirmación se basa en el principio geométrico que la menor distancia entre dos puntos es una línea recta. En la práctica esto no es posible, pero debe tratarse que los alineamientos entre los puntos obligados sean de la mayor longitud posible. Una buena ruta tendrá entonces un mínimo de deflexiones, reduciéndose a los mínimos necesarios, y también reduciendo la longitud total de la ruta, lo que implica menos recursos e incide en un menor costo del proyecto.

Los vértices del trazado se convierten lógicamente en puntos donde se ubicarán las estructuras. Estos sitios deben ser analizados cuidadosamente, con el objetivo de permitir la ubicación de la estructura teniendo en cuenta características como la altura del terreno, buena estabilidad del suelo, etc.

- Accesibilidad

La accesibilidad es un factor importante, por lo tanto la ruta debe estar cerca de carreteras, en uso o por construirse, o caminos que puedan ser adecuados como carreteras. Esto facilita el transporte de materiales hacia los sitios de torre, así como una ruta accesible para su posterior mantenimiento.

- Naturaleza del terreno

De las investigaciones realizadas referentes a la selección de ruta debe obtenerse conocimiento de la naturaleza de los terrenos, con el fin de evitar rutas que pasen por terrenos con zonas muy rocosas, zonas inestables, terrenos con fuertes pendientes, zonas hidrográficas que presenten inundaciones, terrenos con alto grado de erosión, terrenos con alta acidez, zonas con suelos de baja capacidad de carga y áreas que pueden presentar fallas geológicas.

- **Vecindades de aeropuertos y aeropistas**

Se realiza el análisis de las normas de la Dirección General de Aeronáutica Civil de Guatemala, cuando la ruta esté cercana a aeropuertos y aeropistas registradas, tomando en cuenta el cono de aproximación de las aeronaves.

- **Influencia Física y Ambiental**

Tener en cuenta las reservas forestales, parques ecológicos, y las zonas arqueológicas.

- **Obstáculos naturales**

Se considera como obstáculos naturales, aquellas zonas con valles encañonados donde se presenten fuertes vientos, así como zonas de alta contaminación por distintas fuentes.

- **Vegetación y cultivos**

Tratar de evitar el paso de la línea por cultivos costosos y de alto rendimiento como el algodón, arroz, café, o zonas de reforestación.

- **Áreas restringidas**

Existen zonas restringidas donde la ruta debe tratar de alejarse; yacimientos de minerales, depósitos de combustibles, refinerías y fábricas que produzcan excesiva contaminación. Se debe considerar también la dirección de los vientos procedentes de las fuentes de contaminación.

- **Fuentes de materiales**

Debe considerarse una ruta con fuentes cercanas de materiales de construcción, para facilitar la ejecución de la línea de transmisión de alta tensión, y evitar el incremento de costos por transporte de material.

- Zonas pobladas y urbanizaciones

El paso de la línea de transmisión de alta tensión por zonas pobladas y urbanizaciones debe ser analizado cuidadosamente, tanto por la oposición de comunidades existentes, como por el impacto que pueda causar en cada una de ellas.

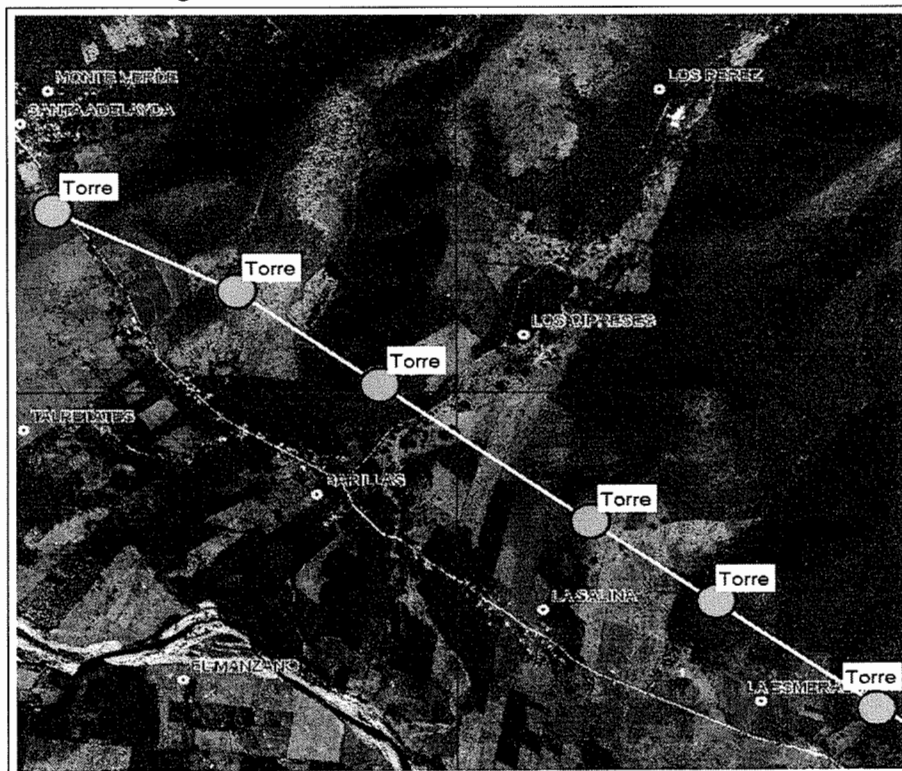
Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se obtiene un criterio claro y preciso en la selección de ruta, y se puede prever factores que afectan el paso de la línea de transmisión, por lo tanto se lleva a cabo un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles a favor del proyecto.

2.2 Reconocimiento de la Ruta

Una vez que se ha seleccionado un corredor de ruta, es necesario hacer los trabajos de reconocimiento de dicho corredor, el cual alberga la ruta final de la línea de transmisión. Dicho reconocimiento, al igual que el proceso de selección del corredor ideal, debe obtenerse del trabajo de campo, apoyado con actividades de gabinete.

Como parte del trabajo de gabinete, se examina fotografías aéreas del corredor seleccionado, dado que éstas proporcionan una imagen clara de las zonas por donde se le dará paso a la línea de transmisión. Es a través de este proceso que se determina el trazo de la línea, definiendo así el punto de inicio y el punto final de la línea, puntos de salida y de entrada a subestaciones eléctricas, así como los vértices de la línea donde ésta cambia de dirección, para luego definir los sitios donde se ubicarán torres entre dichos vértices, como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Trazo de línea de transmisión



Fuente: Proyecto SIEPAC 2,008

El trazo de la línea de transmisión realizado en fase de gabinete debe ser posteriormente verificado en campo. De esta manera pueden realizarse los cambios pertinentes en el trazo de la línea, en caso que alguna zona fuera inadecuada para el paso de la misma, o existiesen obstáculos que pueden no ser analizados de manera concreta en la fase de gabinete. Tal es el caso de posibles construcciones aledañas a los sitios de torre, afluentes hidrológicos cercanos, terrenos con fuertes pendientes, o incluso sitios de torres ubicados en caminos u otras vías terrestres.

Una vez definido el trazo con sus respectivas correcciones, es necesario que la misma sea debidamente ubicada dentro del área geográfica que abarca un proyecto de este tipo, por lo tanto se adopta un sistema universal de coordenadas para trabajos de campo y de gabinete, y se define las coordenadas de cada uno de los sitios de torre y su elevación, a modo de poder obtener un sistema georeferenciado en cuanto a ubicación a lo largo de toda la línea de transmisión. De esta manera se puede identificar en campo los sitios de torre mediante mojones o estacas que no puedan ser fácilmente removibles. Una vez llevado a cabo este proceso se da por concluida la fase de reconocimiento de ruta, cuyo objetivo final es ubicar el paso de la línea de transmisión a través de áreas que presenten factores favorables para la misma con un mínimo de restricciones.

2.3 Trabajos de Topografía

Toda obra civil tiene su punto de partida en la topografía. Previo a la construcción de líneas de transmisión de alta tensión se hace esencial el desarrollo de trabajos de topografía de gran precisión, los cuales son parte importante para que el proyecto sea posteriormente ejecutado con éxito.

Existen varios trabajos preliminares de topografía en proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, éstos son:

- Levantamiento de la franja de servidumbre de paso
- Planta – perfil del eje de la línea de transmisión
- Perfiles diagonales en los sitios de torre

A continuación se describe en qué consiste cada uno de estos trabajos preliminares de topografía, para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión.

- Levantamiento de la franja de servidumbre de paso

Previo a la construcción de una línea de transmisión de alta tensión, es necesario llevar a cabo el levantamiento topográfico de la servidumbre de paso a lo largo de la línea y de las fracciones de los terrenos que afectan dicha servidumbre, las cuales deben ser debidamente representada en planos con sus medidas y área. Los planos serán utilizados posteriormente para la negociación de la servidumbre. El área de la fracción afectada depende tanto del ancho de la servidumbre como de los linderos del terreno que darán paso a línea de transmisión.

La tabla III muestra los anchos de servidumbre considerados para líneas de transmisión según su respectiva tensión, de acuerdo al Instituto Nacional de Electrificación (INDE):

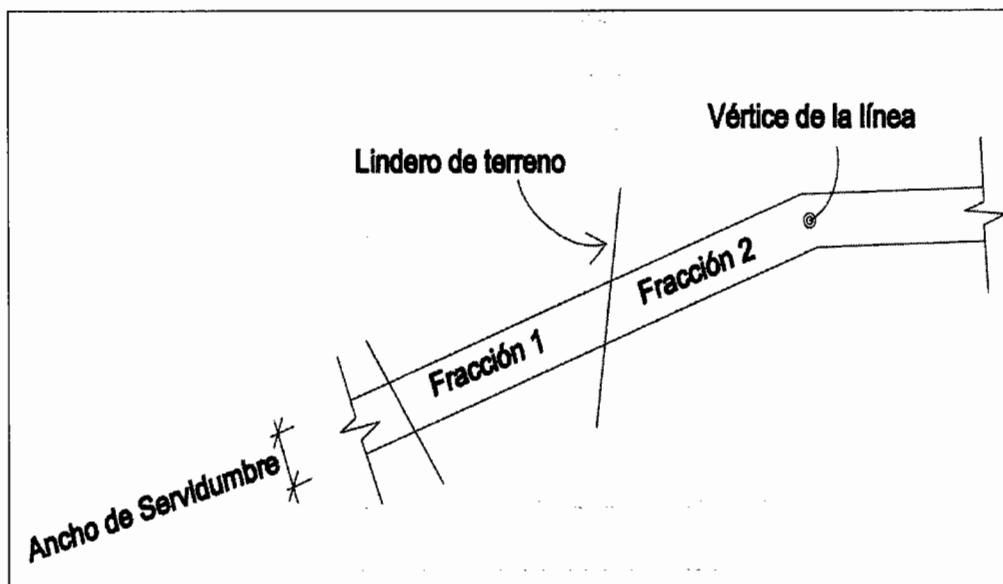
Tabla III. Ancho de servidumbre según tipo de línea de transmisión

Tensión de la línea	400 KV	230 KV (torre)	230KV (poste)	138 KV (poste H)	138 KV (poste)	69 KV (poste H)	69 KV(poste)
Ancho de servidumbre	40 mts	30 mts	20 mts	25 mts	20 mts	25 mts	20 mts

Fuente: Instituto Nacional de Electrificación

El levantamiento de las fracciones de los terrenos que soportan la servidumbre de paso de la línea debe ser representado como lo muestra la figura 17. De esta manera se obtiene una imagen clara del levantamiento de la franja de servidumbre, que posteriormente puede ser de mucha utilidad en distintas situaciones para llevar a cabo el proyecto.

Figura 17. Levantamiento de servidumbre de paso



Fuente: Elaborada por el autor

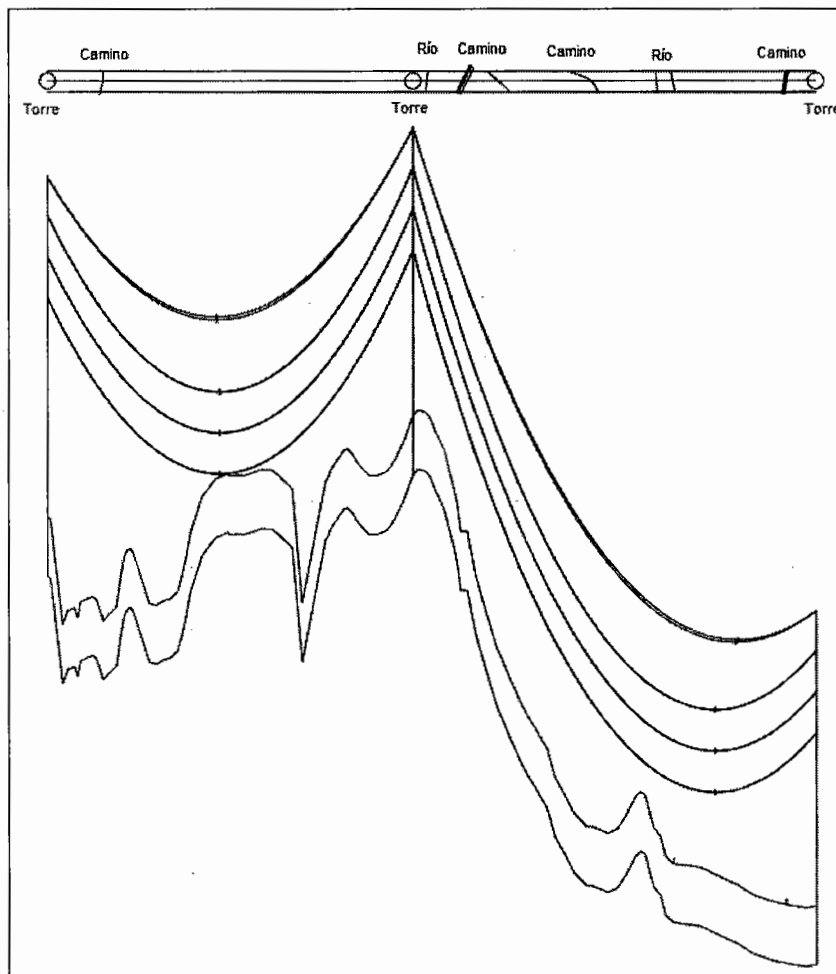
- Planta-perfil del eje de la línea de transmisión

Otro de los trabajos importantes de topografía previo a la construcción, es el levantamiento de la planta-perfil sobre todo en el eje de la línea de transmisión de alta tensión. Es de acuerdo a éste que se definen las alturas que tendrán cada una de las torres de alta tensión, dependiendo de las distintas cotas que tenga el terreno y de aquellos obstáculos que deben ser evitados para que los cables conductores se encuentren a una distancia adecuada por encima del terreno y de dichos obstáculos.

El levantamiento del perfil del terreno debe realizarse tomando datos en tramos que comprendan dos vértices de la línea de transmisión. Para obtener un perfil representativo del terreno donde se encuentra el trazo del eje de la línea de transmisión, es necesario tomar datos en puntos que marquen un cambio significativo de nivel o pendiente. Aquellos puntos donde se dificulte la toma de datos, como por ejemplo; barrancos y cañones, deben ser señalados mediante observaciones a fin de lograr una representación gráfica lógica de los mismos. Así mismo, es necesario tomar datos en todos aquellos puntos donde el eje de la línea pudiera cruzarse con ríos, caminos, u obstáculos tales como líneas de transmisión ya existentes (analizando la altura de las mismas), de modo que el diseño contemple todos estos factores y que éstos no causen ninguna interferencia.

La toma de datos puede realizarse obteniendo coordenadas (este, norte) para cada punto, así como la elevación del mismo. De esta manera los datos pueden ser procesados, estableciendo distancias horizontales entre cada punto, y la diferencia de nivel entre cada uno de ellos.

Figura 18. Planta-perfil de una línea de transmisión



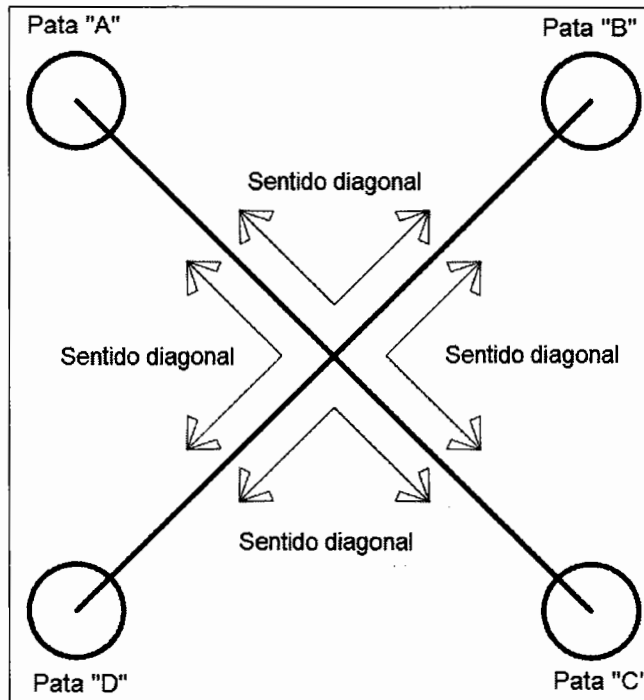
Fuente: Elaborada por el autor

La figura 18 muestra la representación gráfica de la planta-perfil de una línea de transmisión. En planta se observa la localización de las torres, los caminos, ríos y todo aquello que pudiera cruzar el paso de la línea de transmisión. En el perfil se observa reflejado el terreno. Por encima de éste se encuentra nuevamente el terreno elevado según la distancia vertical de seguridad por encima de la cual los cables conductores deben pasar. Esto quiere decir, que si algún cable en la figura intersecta el perfil del terreno superior, no se está cumpliendo con la distancia de seguridad, y como consecuencia podría aumentar la altura de la torre.

- Perfiles diagonales en los sitios de torre

Los trabajos de perfiles diagonales en los sitios de torre, comprenden la toma de niveles del terreno con respecto al centro de la torre en el sentido diagonal de las patas de la torre. Estos sentidos diagonales se muestran en vista en planta en la figura 19. Según muestra la figura, deben tomarse datos de nivel del terreno en la diagonal que va desde la pata "A" hasta la pata "C", y posteriormente los que van de la pata "B" a la pata "C".

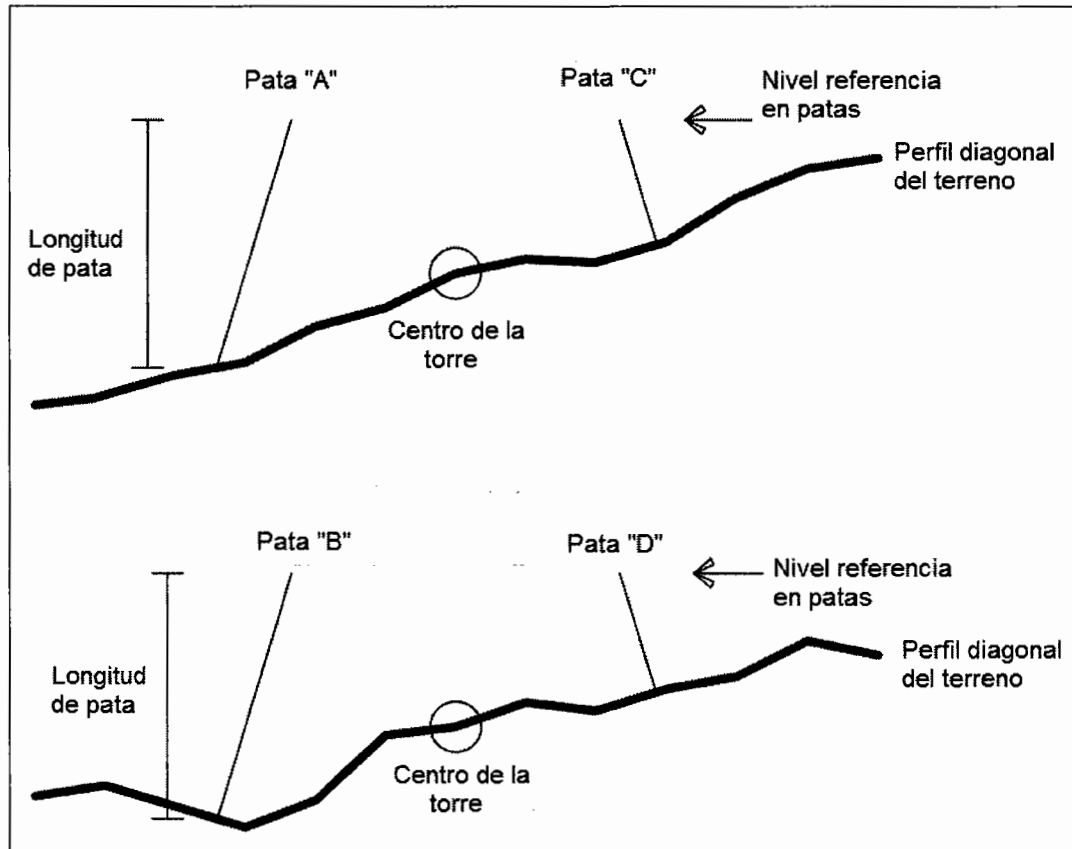
Figura 19. Diagonales para perfil en sitio de torre



Fuente: Elaborada por el autor

Una vez obtenidos los niveles a lo largo de toda la diagonal, se obtiene un perfil del terreno de la misma, el cual sirve para calcular la longitud vertical que debe de tener cada una de las patas según los desniveles que tenga el terreno con respecto al centro de la torre, que es el propósito fundamental de los perfiles diagonales. Estos perfiles pueden ser como los mostrados en la figura 20, donde adicionalmente se muestra como varía la longitud de las patas según los cambios de nivel en el terreno y el alineamiento a un mismo nivel de referencia en las cuatro patas.

Figura 20. Perfiles diagonales en sitios de torres de alta tensión



Fuente: Elaborada por el autor

2.4 Catastro y Valuación de terrenos

- **Catastro**

El catastro es un inventario detallado de la totalidad de los bienes inmuebles de una determinada región. En el caso de proyectos de líneas de transmisión, el catastro debe realizarse a lo largo de todo el trazo de la línea de transmisión, tomando inventario de todos aquellos bienes inmuebles que son afectados por el paso de la misma.

Durante el proceso catastral es necesario llevar a cabo una investigación, que sirva de base para definir los límites de cada uno de los terrenos que se encuentran en la línea de transmisión, y determinar quiénes son sus propietarios o posesionarios. El catastro se realiza directamente en el campo, y siguiendo como guía única el trazo efectuado en el levantamiento topográfico. Es de suma importancia contar con un catastro confiable verificando a cada uno de los propietarios directamente en los terrenos y confirmando sus colindantes.

Por no contar con un 100% de terrenos registrados en el Registro de la Propiedad Inmueble, existen muchos terrenos en posesión y que además no cuentan con escrituras que den certeza jurídica de dicha propiedad. En tales casos es necesario realizar una declaración jurada como respaldo a la condición que tiene la persona de posesión del terreno.

Una vez constatados los propietarios o posesionarios de cada uno de los terrenos por los que pasa la línea de transmisión, y sus respectivos límites, pueden elaborarse los planos mediante levantamiento topográfico en campo, los cuales contienen la fracción de la servidumbre que afecta cada terreno con sus respectivas medidas, área y propietario.

Un catastro preciso conduce a realizar avalúos de áreas exactas y evitar traslapes de propiedades que conllevan a incrementar el costo de indemnización.

- **Valuación de bienes inmuebles**

Una vez elaborados los planos de las fracciones de servidumbre que afecta cada uno de los terrenos como producto del catastro, se utilizan los mismos como base para llevar a cabo el avalúo tomando en cuenta el área en cada plano.

En la fase de valuación, se procede a realizar una inspección física en cada uno de los terrenos tomando en consideración las características de topografía, recurso hídrico, acceso, la clase y uso del suelo ⁽¹⁾. Cada uno de estos factores sirven para determinar el valor de cada uno de los predios de uso agrícola. En el caso de terrenos urbanos se considera su ubicación, urbanización, oferta y demanda, que son los factores por los cuales se rige un valor en el mercado urbano.

Valuar los terrenos en proyectos de líneas de transmisión tiene por objeto determinar la cantidad a pagar por el paso de la línea. En este tipo de proyectos se maneja un 50% del valor del avalúo como el monto máximo a indemnizar por el paso de la línea de transmisión. Si en caso el área afectada al predio afecta más del 60%, se debe considerar la compra del inmueble por el valor del 100% del avalúo, esto debido a que el resto del área del terreno pudiera quedar inutilizable.

Una vez definido el monto de indemnización, se debe de llevar a cabo la negociación con el propietario. Se recomienda iniciar dicha negociación con un 30% del valor del avalúo, a modo de tener un margen porcentual para la negociación.

2.5 Servidumbre, permisos y licencias previos a la construcción

El paso posterior a la negociación, es el pago de la indemnización mediante una escritura para poder inscribir la servidumbre de paso. Esto se realiza únicamente en terrenos que se encuentran debidamente inscritos en el registro de la propiedad. A los terrenos en posesión, debe de elaborarse la misma escritura, archivándose en un registro privado, para poder inscribirlo en el Registro de la Propiedad Inmueble en el momento en que éste se encuentre debidamente inscrito. Una vez llevada a cabo la inscripción de la servidumbre, ésta queda oficialmente constituida como un derecho de paso a través de la misma.

Adicional a la inscripción de la servidumbre, deben de llevarse a cabo los distintos trámites correspondientes a los permisos y licencias previos a la construcción del proyecto, y que una vez llevados a cabo, otorgan la autorización necesaria para la ejecución del proyecto. Estos se describen a continuación:

- Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental -EIA-

La ley de Protección y Conservación del Medio Ambiente, Decreto 68-86, en el Artículo número 8, indica que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación de impacto ambiental. Dicho estudio deberá ser realizado por técnicos en la materia y aprobado por el Ministerio de Ambiente. Una vez aprobado el EIA, deberá pagarse la licencia, el monto de la misma será determinado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, que toma como base el costo total del proyecto. La ley indica que en caso se omitiera exigir la evaluación de impacto ambiental, en conformidad con su respectivo artículo, se procederá a sancionar tanto al funcionario por incumplimiento de sus deberes, así como al particular que omita cumplir con dicho requisito.

En caso que el proyecto afectara algún área protegida habrá que realizar las consultas al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), para que conjuntamente se determinen las acciones a tomar. Esto según la ley de Áreas Protegidas, Decreto Legislativo 4-89 ⁽²⁾. La contaminación electromagnética que pudiera causar una línea de transmisión de alta tensión es también un tema a tratar, tomando en cuenta sus consecuencias reales, basándose en estudios actuales efectuados por organismos como la Organización Mundial de la Salud.

- Ley Forestal según Decreto Legislativo Número 101-96

Para proyectos de líneas de transmisión es necesario tomar en cuenta los Artículos 34, 46, 56, y 67 de ésta ley.

El Artículo 34 indica que se prohíbe el corte de árboles de aquellas especies protegidas y en vías de extinción contenidas en listados nacionales establecidos y los que se establezcan conjuntamente por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). El INAB brindará en este caso protección a estas especies y estimulará su conservación y reproducción, exceptuando de esta prohibición los árboles provenientes de bosques plantados y registrados en el INAB. Se hace necesario entonces tomar en cuenta este artículo de modo que no se viole la prohibición en la construcción de líneas de transmisión.

En caso que la línea de transmisión pase por áreas cubiertas con bosque, el Artículo 46 dicta que para áreas boscosas con una extensión mayor a una hectárea, cuya cobertura se propone cambiar por otra no forestal, el interesado deberá presentar para su aprobación al INAB, un estudio suscrito por técnico o profesional debidamente registrado en éste, que asegure que la tierra con bosque no es de vocación forestal. Según el artículo podrá autorizarse el cambio de cobertura en tierras de vocación forestal, mediante solicitud acompañada de un Plan de Manejo Agrícola que asegure que la tierra con cobertura forestal es apta para una producción agrícola económica sostenida.

Según elección, se podrá pagar al Fondo Forestal Privativo o se reforestará un área igual a la transformada, conforme a lo que establece el reglamento.

En el Artículo 56 se da las distintas opciones de garantía en las obligaciones de reforestación establecidas en las licencias emitidas por el INAB. En caso que se lleve a cabo la tala de arboles y plantación, se debe garantizar el compromiso de reforestación mediante cualquiera de las tres opciones dictadas en este artículo.

El Artículo 67, en su inciso c, trata las obligaciones y proyectos de repoblación forestal, indicando que adquieren la obligación de repoblación forestal las personas individuales o jurídicas que corten bosque para tender líneas de transmisión, oleoductos, lotificaciones y otras obras de infraestructura. Los programas de repoblación forestal obligados, podrán realizarse en tierras del Estado de las municipalidades, de entidades descentralizadas o en tierras privadas; pero será obligatorio que se realicen en la jurisdicción departamental donde se efectúa la actividad que obligue a la repoblación.

Las actividades de reforestación para cumplir las obligaciones correspondientes al Artículo 67, deberán ser contempladas en el respectivo plan de manejo debidamente aprobado por el INAB.

- Ley General de Electricidad

La ley general de electricidad de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) estipula varios requisitos necesarios que deben cumplirse previo a la construcción de líneas de transmisión, contemplados en los artículos descritos a continuación.

El Artículo 11 de la ley general de electricidad, declara que todo proyecto de generación de transporte de energía eléctrica deberá cumplir con el respectivo estudio de impacto ambiental, el cual será objeto de estudio, y en base a éste se podrá aprobar o denegar el proyecto, o se aprobará con recomendaciones, las cuales deberán cumplirse.

El Artículo 31 detalla los derechos que implica la constitución de servidumbres legalmente inscritas, entre los cuales se encuentra el derecho a construir en los terrenos afectados por la servidumbre, la colocación de postes y torres, el tendido de los cables, la instalación de subestaciones, así como todas las estructuras que sean necesarias, para poder prestar el servicio de suministro de energía eléctrica.

El Artículo 32, como complemento del Artículo 31, señala las obligaciones que la servidumbre legalmente constituida implica para los propietarios o poseedores de los predios que soportan dicha servidumbre. Estas obligaciones contemplan el permiso a la construcción de las instalaciones que correspondan, así como el paso de los inspectores y trabajadores que intervengan en el transporte de materiales y equipo necesario para la construcción, inspección y mantenimiento de la línea.

El Artículo 33 trata la indemnización por servidumbre de paso. En este caso el propietario de la servidumbre deberá pagar por anticipado al propietario o poseedor del inmueble que deba soportar la servidumbre, así como la indemnización por los daños y perjuicios que se prevean puedan causarse. El monto de dicha indemnización será acordado bajo mutuo acuerdo. Sin embargo la indemnización que se pague por los daños que se causen en la constitución de la servidumbre no puede consistir en el suministro gratuito de energía eléctrica, según lo señala el Artículo 34.

- Ley para la Protección del Patrimonio Cultural de la Nación

En esta ley se contemplan todos aquellos bienes muebles e inmuebles declarados como patrimonio cultural de la nación.

En sus Artículos 2 y 3 esta ley declara y clasifica todos aquellos bienes que por su fortalecimiento en la identidad nacional son considerados como patrimonio cultural. El conocimiento de estos bienes es necesario previo a la construcción de líneas de transmisión, dado que la misma ley en su capítulo II vela por su protección, y se hace entonces necesario apearse a ésta, en pro de la preservación del patrimonio cultural de la nación ante proyectos de infraestructura como lo son las líneas de transmisión.

- **Licencia Municipal**

Se debe tramitar la respectiva licencia, cuando la municipalidad correspondiente lo contemple o exista un reglamento municipal de construcción. De esta manera, una vez tramitada la licencia se puede dar paso a la construcción del tramo de línea de transmisión en jurisdicción de dicha municipalidad.

La tabla IV resume las leyes anteriormente descritas.

Tabla IV. Leyes para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión

Ley ó licencia	Artículo
Ley de Protección y Conservación del Medio Ambiente	8
Ley Forestal	34, 46, 56, 67
Ley General de Electricidad	11,31, 32, 33,34
Ley para la Protección del Patrimonio Cultural de la Nación	2, 3
Licencia Municipal	-

Fuente: Elaborada por el autor.

3. CARGAS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LA IMPORTANCIA DE LOS SUELOS

3.1 Cargas debidas a la naturaleza

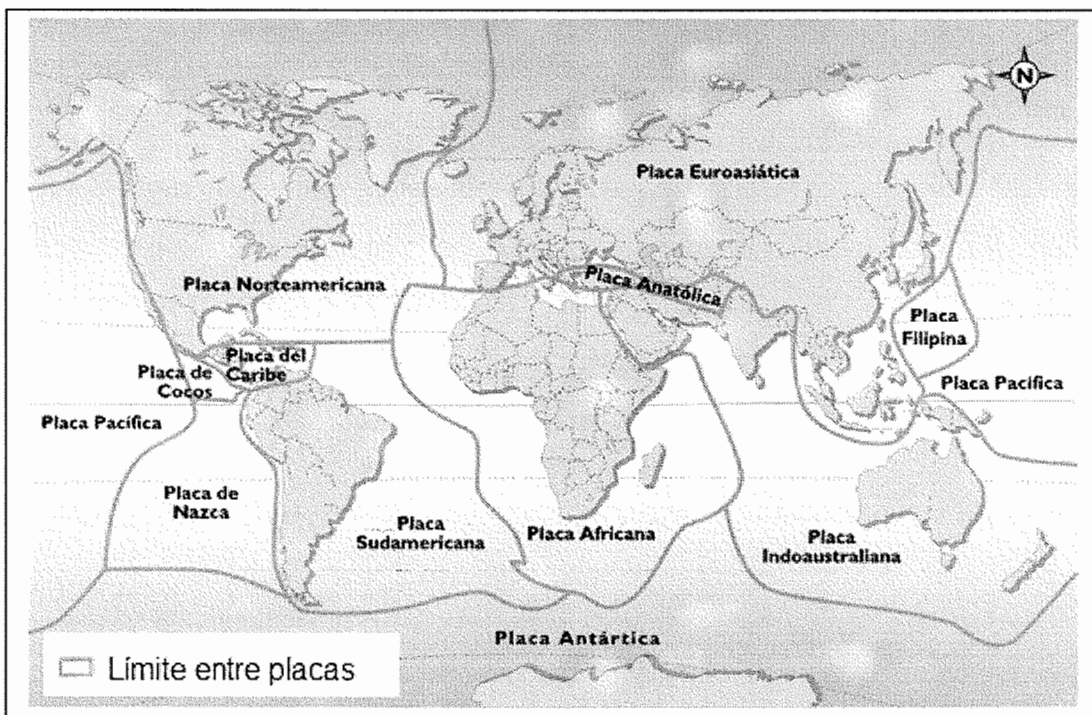
En el comienzo del diseño estructural de una obra de infraestructura es esencial determinar que tipo de cargas afectarán a la misma. Para el diseño de torres de líneas de transmisión de alta tensión, las principales cargas que éstas soportan son las generadas por la naturaleza. El código ASCE 74 "*Guidelines for Electrical Transmission Lines Structural Loads*" de la American Society of Civil Engineers toma especial importancia para las cargas provocadas por la naturaleza, considerando principalmente las provocadas por el viento y hielo en el caso de los Estados Unidos de América. Sin embargo en nuestro país las cargas críticas a considerarse son las siguientes:

- Carga sísmica
- Carga de viento

- Carga sísmica

Una carga sísmica se refiere a la fuerza que se provoca en una masa estructural debido a la aceleración que ésta adquiere debido a un sismo. Un sismo es generado debido al choque de placas tectónicas en la litosfera, lo que puede provocar ondas longitudinales y transversales. Conforme una onda se aleja de su punto de origen su intensidad es menor.

Figura 21. Placas tectónicas del mundo



Fuente: <http://mx.kalipedia.com>

Guatemala se encuentra en una zona altamente sísmica, ya que en su posición geográfica se da la convergencia de tres placas tectónicas: la placa de Norteamérica, la del Caribe y la del Coco, como se muestra en la figura 21, las cuales pueden provocar gran cantidad de sismos al año en territorio guatemalteco ⁽⁵⁾. Dada esta situación es primordial considerar la carga sísmica en el diseño de torres de alta tensión en Guatemala.

- Carga de Viento

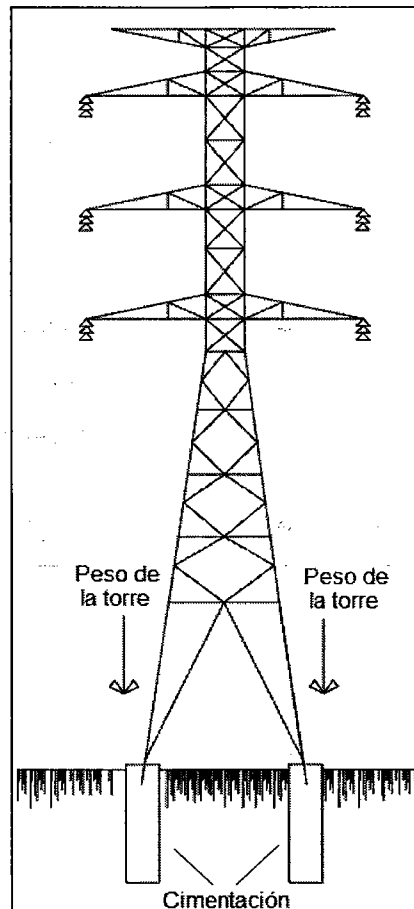
Una carga de viento consta de aquellas fuerzas ejercidas por una masa de aire en movimiento. Cuando la estructura impide el flujo de viento, se provoca una presión sobre ésta ⁽³⁾. El efecto que tiene el viento sobre una estructura depende en gran parte de la densidad y la velocidad del aire.

Dada la inclinada topografía de Guatemala, las torres de alta tensión son ubicadas estratégicamente en sitios altos. Dado que la velocidad del viento crece con la altura, la carga de viento se hace más crítica en estos puntos, afectando los cables conductores, que a su vez causan esfuerzos adicionales sobre la misma torre de alta tensión. Bajo estas condiciones se hace fundamental tomar en cuenta cargas de viento en torres de alta tensión.

3.2 Peso de la estructura

Además de las cargas ejercidas por la naturaleza, es necesario considerar el peso propio de la torre de alta tensión, como una carga a transmitirse directamente a la cimentación de ésta.

Figura 22. Peso propio de torre de alta tensión



Fuente: Elaborada por el autor

Una torre de alta tensión, como se describió en el capítulo 1, está compuesta por una serie de piezas de acero unidas mediante tornillos, las cuales conforman sus distintas partes. Una vez montada, el peso de todo el conjunto de piezas que la conforman, ejerce una carga vertical, distribuido en cada una de las cuatro patas de la torre, peso que finalmente es transmitido a la cimentación de cada pata, como se muestra en la figura 22.

Una torre de alta tensión varía en cuanto a peso dependiendo de su tipo y altura. Las de mayor magnitud pueden llegar a pesar cerca de 10 toneladas, mientras las menores alcanzan pesos cercanos a las 8 toneladas.

3.3 Comportamiento e influencia del cableado

Los cables conductores, en proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, son uno de los factores más importantes a tomar en cuenta. El mercado actual ofrece variedad en cuanto a tipos de cables conductores, materiales y propiedades que éstos ofrecen. Como factor económico es necesario llevar a cabo una buena elección de los mismos tomando en cuenta la relación costos-beneficios de cada tipo. Dicha elección se toma a partir del estudio de las propiedades mecánicas del cable conductor, dado que éstos afectan tanto la estructura de la torre de alta tensión, así también la cimentación de ésta.

Las circunstancias bajo las cuales se encuentran los cables conductores en líneas de transmisión de alta tensión hacen que su comportamiento varíe y como consecuencia tenga gran influencia en el resto de elementos que la conforman, es por ello que se hace esencial estudiar la conducta de los mismos.

Los cables conductores están constituidos de materiales metálicos. Este tipo de materiales da a los cables la facultad de poder deformarse ante distintos esfuerzos. Al quedar el cable suspendido, toma la forma de una catenaria, siendo afectado por esfuerzos de tensión que actúan en dirección de la tangente a la curva en un determinado punto, aplicado en el centro de la sección transversal. La deformación que puede darse ante este tipo de esfuerzos, así como otros factores que pueden afectar los cables, puede ser elástica o plástica. Al remover el esfuerzo de tensión, disminuyendo a cero la fuerza de tensión T , la cual mantiene una determinada deformación, la longitud retorna a su longitud original, la deformación se considera elástica. Cuando se producen deformaciones permanentes, lo cual significa que después de cierto límite, una vez quitada la carga, el cable no regresa a su longitud original, sino queda con una longitud adicional, que no desaparece después de aplicada la carga, se denomina deformación plástica o deformación permanente indistintamente. Para tomar en cuenta deformaciones plásticas en cables conductores es necesario conocer su límite elástico, a modo de predecir los posibles cambios de longitud que éstos puedan tener, para ser tomados en cuenta en el diseño y colocación del cable.

Según el Código 1597 de la IEC (International Electrotechnical Commission) las distintas deformaciones que pueden sufrir los cables según su origen pueden ser:

- Deformación por tensión

Como se mencionó anteriormente al quedar el cable suspendido se ve sometido a esfuerzos de tensión. La deformación sufrida es proporcional al esfuerzo de tensión.

- Deformación plástica por mudanza de Módulo de Elasticidad

La deformación plástica por mudanza o cambio del módulo de elasticidad nos indica que aún en materiales muy elásticos, entre una carga inicial y una carga final, existe una deformación plástica por cambio de módulo de elasticidad.

- Deformación térmica

La deformación térmica es aquella producida por los cambios de temperatura en el ambiente. En este caso el clima juega un papel esencial, determinando posibles deformaciones o expansiones en los cables conductores debido a los diferenciales de temperatura.

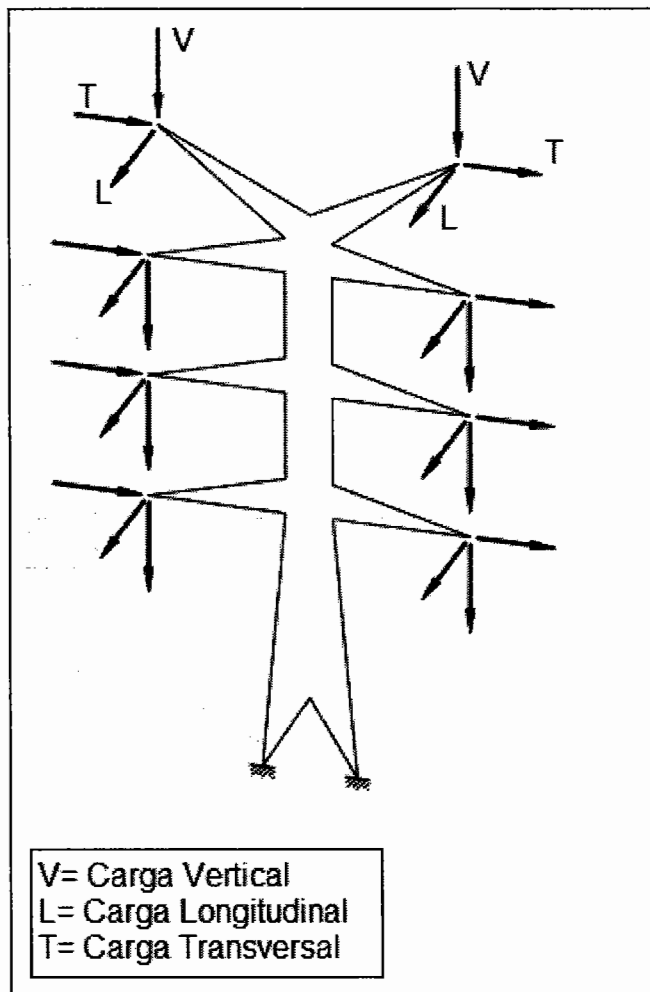
- Deformación plástica por fluencia lenta

Este tipo de deformación se produce cuando el cable conductor se ve afectado por cargas dentro de su rango elástico, sin embargo al prologar dicha carga durante un lapso considerable de tiempo pueden llegar a causar deformaciones plásticas. Las dos variables que juegan un papel importante en la deformación por fluencia lenta son la carga, y el tiempo durante el cual ésta es aplicada.

Las deformaciones que sufren los cables conductores por cada una de las causas anteriormente descritas contribuyen notablemente en las cargas inducidas hacia las torres de alta tensión. Otro factor que induce cargas a las torres de alta tensión es el viento que actúa sobre los cables conductores, causando vibraciones sobre los mismos, vibraciones que finalmente son transmitidas a la ménsula de la torre.

Como resultado de las deformaciones, y de la influencia del viento en los cables conductores, se provocan cargas longitudinales, transversales y verticales, en las ménsulas de las torres de alta tensión, representadas en el árbol de cargas de la figura 23.

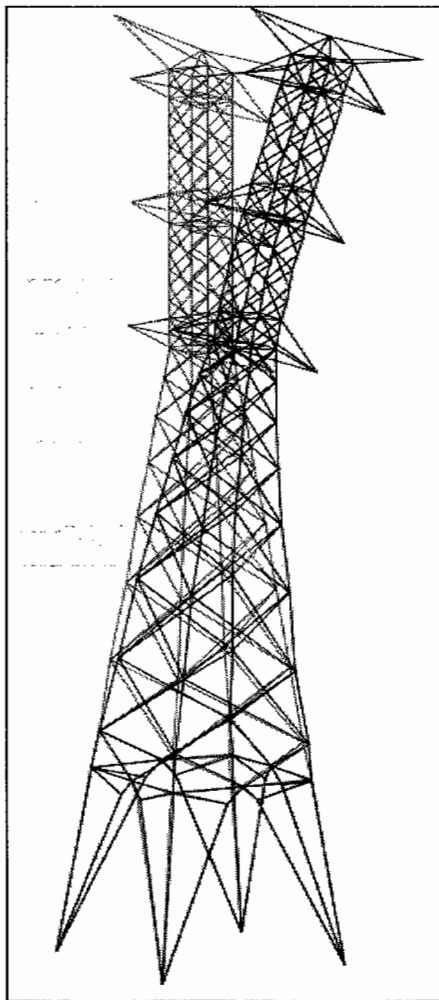
Figura 23. Árbol de cargas en torre de alta tensión



Fuente: Elaborada por el autor

Estas cargas pueden provocar esfuerzos de arrancamiento y momentos de volteo en torres de alta tensión, como se muestra en la figura 24. Cuando se dan este tipo de esfuerzos dos de las cuatro patas de la torre tienden a comprimirse, mientras las otras dos tienden a tensarse.

Figura 24. Esfuerzo de arrancamiento



Fuente: Elaborada por el autor

Para contrarrestar los efectos de las cargas causadas por los cables conductores en torres de alta tensión, es necesario considerar su magnitud afectada por factores de seguridad, así como el uso de cables conductores con buenas propiedad mecánicas.

3.4 Estudios Geotécnicos

Los estudios geotécnicos tienen por objetivo conocer las características y propiedades mecánicas de los suelos. El conocimiento del suelo se hace esencial, puesto que el mismo constituye la base que albergará cada torre de alta tensión a lo largo de una línea de transmisión, y es de acuerdo a las características de los suelos que se define el tipo y las condiciones de trabajo de la cimentación.

Los estudios geotécnicos conjugan dos aspectos importantes a tomar en cuenta en toda obra de infraestructura. Primero, el conocimiento de las propiedades del suelo conduce al diseño estructural que corresponde de la cimentación, brindando seguridad a la estructura. El segundo aspecto es el económico, el cual se ve favorecido sin sobreestimar el uso de recursos y materiales, usando únicamente los adecuados, producto de un buen conocimiento del suelo.

En proyectos de líneas de transmisión de alta tensión el conocimiento de las características de los suelos se lleva a cabo a través de ensayos DPL (Penetración Dinámica Ligera), y de ensayos SPT (Test de Penetración Standard) en el lugar de los sitios de torre, los cuales se describen a continuación.

- Ensayo DPL

El ensayo de Penetración Dinámica Ligera, mide la penetración dinámica a través de golpes, en el terreno natural. Este tipo de ensayo conforma un método capaz de medir la capacidad de carga in situ del suelo. El ensayo consiste en el hincado continuo de una varilla de acero, con un cono de acero en su extremo inferior, en tramos de 10 centímetros, mediante la utilización de un martillo que cae libremente. Como resultado, el ensayo da a conocer un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración en función del tipo del suelo.

Para la realización de un ensayo DPL debe ubicarse, primero, el lugar del sitio de torre donde deberá realizarse, necesitándose de tres operarios, uno encargado de mantener la verticalidad de la varilla de acero, un segundo operario se encarga del golpe del martillo, mientras un tercer operario observa y toma los datos correspondientes.

- Ensayo SPT

El ensayo de penetración standard -SPT- es un método muy usado en el reconocimiento geotécnico de los suelos. Este tipo de ensayo permite determinar características, espesor, y estratificación de los materiales del subsuelo. El ensayo SPT permite también conocer la resistencia del suelo en función del número de golpes necesario para introducir una determinada profundidad una cuchara cilíndrica y hueca.

La metodología del ensayo consiste en descender un aparato que toma muestras en la perforación del sondeo hasta la profundidad requerida. Una vez llevado a cabo este procedimiento debe contabilizarse el número de golpes necesarios para hincar la cuchara una determinada profundidad.

La ventaja adicional que presenta este tipo de ensayo es que al ser la cuchara SPT un aparato que toma muestras, permite visualizar el terreno donde se ha realizado la prueba.

El ensayo SPT tiene su principal utilidad en la caracterización de suelos arenosos, en los que es muy difícil obtener muestras del suelo.

3.5 Tipos de cimentaciones a considerar según el suelo en líneas de transmisión de alta tensión

Los cimientos son elementos de transición que convierten las fuerzas originadas en las cargas de las torres y sus combinaciones, en presiones sobre el suelo de soporte.

La capacidad soporte de los cimientos depende de los parámetros de resistencia del suelo sobre el que estarán apoyados; influye en su magnitud factores tales como: profundidad de cimentación, nivel freático, puntos de aplicación de cargas, entre otros.

Para el dimensionamiento de los cimientos debe adoptarse una presión portante admisible, valor orientado a asegurar un comportamiento satisfactorio de los mismos, de manera que no se produzcan movimientos en la cimentación, nocivos a su estabilidad y buen funcionamiento.

Los métodos analíticos que suministra la mecánica de suelos para evaluar la capacidad de carga última del suelo, se basan en la determinación de las características de resistencia al corte del suelo de cimentación y son aplicables con razonable certidumbre.

Además de las características mecánicas de los suelos, es necesario considerar algunas veces aspectos químicos, como la acidez que pueda presentar el suelo, debido a la acción destructiva que presentan los suelos ácidos sobre elementos metálicos. En estos casos podrá considerarse un tipo de concreto especial para la cimentación, que presente resistencia ante agentes químicos del suelo.

El tipo de cimentación se define ante las condiciones que reúne el suelo de cimentación, entre las que se considera las siguientes:

- **Zapata de Concreto**

Se puede optar por cimentación con zapata de concreto cuando se presentan algunas de las siguientes condiciones:

- Existencia de suelos ácidos
- Nivel freático alto y variable
- La capacidad de carga del suelo es aceptable

- **Losa de cimentación**

Se podrá optar por una losa de cimentación cuando se presenten algunas de las siguientes condiciones:

- Capacidad de carga del suelo es baja
- El terreno es susceptible a inundaciones
- Exista dificultad en la operación de equipos para la construcción de cimentaciones profundas

- **Cimentación profunda**

Las cimentaciones profundas constan de pilotes de concreto. Para llevar a cabo este tipo de cimentaciones, debe realizarse excavaciones en forma cilíndrica, donde posteriormente se coloca la armadura de acero y se vierte el concreto. Este tipo de cimentación se puede considerar cuando:

- No sea posible desde el punto de vista técnico-económico la construcción de una losa de cimentación.
- Exista baja capacidad de carga del suelo.

- **Cimentación anclada**

Una cimentación anclada consiste en una zapata, en la cual en su parte inferior (donde ésta se encuentra asentada en el suelo), se coloca varillas de acero, las cuales se encuentran ancladas al suelo. Se debe considerar una cimentación anclada, cuando se construirá sobre suelos rocosos, de esta manera los anclajes son utilizados para estabilizar la cimentación en masas de roca irregulares.

En los casos en los que se detecte condiciones no uniformes del suelo de cimentación, se debe considerar un reemplazo del suelo natural por un relleno seleccionado, sobre el cual deberá apoyarse el cimiento.

A pesar de existir ciertos parámetros teóricos para la elección del tipo de cimentación, el criterio y experiencia por parte de un ingeniero geotecnista debe prevalecer en la selección de la misma.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de líneas de transmisión de alta tensión se da paralelamente a la creación de nuevos proyectos generadores de energía eléctrica, como parte de un conjunto de elementos integrados, donde las líneas de transmisión de alta tensión son parte importante.
2. La ubicación de una torre de alta tensión en una línea de transmisión, hace que varíen los requerimientos y condiciones de trabajo de la misma, variando en tipo, y adaptando las distintas partes que la conforman al sitio de torre que corresponda.
3. Los trabajos preliminares, en la selección de ruta de una línea de transmisión de alta tensión, llegan a ser factores determinantes dentro del proyecto, garantizando así condiciones sociales, ambientales y económicas en su posterior ejecución.
4. El buen conocimiento de la gestión en la adquisición de servidumbres para líneas de transmisión, así como de las leyes que este proceso implica, garantiza el éxito de dicha adquisición, así como de parte importante del proyecto.
5. Los estudios de evaluación de impacto ambiental, contemplan aquellos factores modificadores del medio ambiente como consecuencia de un proyecto de infraestructura, creando alternativas en la reducción del impacto negativo que éstos pudieran causar.

6. Diferentes tipos de cargas afectan las torres de alta tensión, las cuales pueden deberse a causas externas, como las causadas por la naturaleza, o a elementos propios de la línea de transmisión, tal es el caso de las ejercidas por los cables conductores, los cuales sufren distintos tipos de deformaciones y comprometen la estabilidad de la estructura.

7. El conocimiento de las características que presentan los suelos permite integrar las cargas que afectan una torre, conjuntamente con su cimentación, contribuyendo así en la seguridad no sólo de una torre, sino de toda una línea de transmisión, tomando en cuenta que la falla de una torre puede comprometer la estabilidad de torres vecinas.

RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo una adecuada explotación de los recursos que pueden brindar fuentes generadoras de energía eléctrica, para lograr un crecimiento sostenido de líneas de transmisión de alta tensión y sus partes complementarias, de modo que pueda lograrse el crecimiento que conlleva este tipo de proyectos.
2. Es de suma importancia distinguir los distintos tipos de torres de alta tensión existentes, así como la función que sus partes ejercen en cada una de ellas, de esta manera podrá conocerse el tipo de torre a utilizar según se dé el caso, y las partes a incorporar según las condiciones de terreno y altura requeridas.
3. Los trabajos preliminares para la selección de ruta, deben ser cuidadosamente analizados, puesto que el paso de la línea por puntos inadecuados puede generar dificultades que obstaculicen la posterior adquisición de la servidumbre, y que estén en inconformidad con la ley.
4. Respetar los procedimientos que dicta la ley en el proceso de adquisición de servidumbres para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, así como llevar a cabo procedimientos de negociación adecuados con los distintos propietarios. Esto facilitará los permisos de paso y la adquisición de servidumbre.

5. **Analizar mediante un estudio de evaluación de impacto ambiental todos aquellos factores modificadores del medio ambiente, de manera que un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión se integre de la mejor manera con el medio ambiente que lo rodea.**
6. **Analizar de una forma detallada cada una de las cargas que afectan a torres de alta tensión, así como las posibles combinaciones de éstas en casos críticos, a modo que el diseño de la estructura permita que la misma contrarreste eficazmente estos efectos.**
7. **Llevar a cabo los ensayos respectivos que permitan conocer las propiedades de los suelos, para que la cimentación sea la adecuada en cada sitio de torre, permitiendo que tanto la torre de alta tensión como su cimentación actúe como un solo elemento que guarde estabilidad y la integridad del proyecto.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arriaga Portillo, Héctor Guillermo. **Método del rendimiento potencial para valorización de fincas rústicas.** (Guatemala, 1992). pp 15
2. Congreso de la República de Guatemala. **Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89.** (Guatemala, 1989).

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

3. <http://html.rincondelvago.com/calculo-de-cargas.html>
Septiembre de 2009
4. <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2002/abril/fibraoptica.htm>
Octubre de 2009.
5. <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm>
Enero de 2010.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society of Civil Engineers. **Manual No. 74. Guidelines for Electrical Transmission Lines Structural Loads.** Estados Unidos 2006. 108 pp.
2. Congreso de la República de Guatemala. **Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86.** Guatemala, 1986. 13 pp.
3. Congreso de la República de Guatemala. **Ley Forestal, Decreto 101-96.** Guatemala, 1996. 27 pp.
4. Congreso de la República de Guatemala. **Ley General de Electricidad, Decreto 93-96.** Guatemala, 1996. 90pp.
5. Congreso de la República de Guatemala. **Ley para la Protección del Patrimonio Cultural de la nación, Decreto 26-97.** Guatemala, 1997. 15 pp.
6. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y Cimentaciones.** Quinta edición. México: Editorial Limusa, 2005. 650 pp.
7. International Electrotechnical Commission. **IEC 1597. Calculation methods for stranded bare conductors.** Suiza, 1995. 85 pp.
8. U.S.Department of Agriculture. **Design Manual for High Voltage Transmission Lines.** Estados Unidos 2005. 314pp.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

9. <http://www.cnee.gob.gt/PET/>
Noviembre de 2009.
10. <http://www.cvega.net/acrobat/PPTEnsayosdeCampo.pdf>
Febrero de 2010.
11. http://www.eprsiepac.com/descripcion_siepac_transmision_costa_rica.htm
Octubre de 2009.
12. http://www.eprsiepac.com/pdf/InfoFinal_Guatemala_rev2.pdf
Marzo de 2010.
13. <http://www.parro.com.ar/definicion-de-carga+del+viento>
Enero de 2010.
14. <http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/CargaSismica.htm>
Noviembre de 2009.
15. <http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/usos.htm>
Septiembre de 2009.