



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

**PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE
TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA**

Pablo Roberto Mendía Tobías

Asesorado por el Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE
TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO ROBERTO MENDÍA TOBÍAS

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO BENIGNO OROZCO GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha Guatemala enero 2021.

Pablo Roberto Mendía Tobías

Guatemala, 21 de abril de 2022.

Ingeniero Fernando Moscoso
Coordinador Área de Potencia
Escuela Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC.

Estimado Ingeniero:

De acuerdo con la designación efectuada por la Dirección de Escuela, me permito informarle que he procedido a asesorar el Trabajo de Graduación titulado: **PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACION DE TORRES DE TRANSMISION DE EMERGENCIA**, desarrollado por el estudiante PABLO ROBERTO MENDIA TOBIAS, carne 2014-03874 y, encontrándolo satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo, remitiéndolo a esa Coordinación para el trámite pertinente, en el entendido que el Autor y este Asesor somos responsables del contenido y conclusiones del Trabajo.

Agradeciendo la atención a la presente, me es grato suscribirme, deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Atentamente,

Ing. Gustavo Benigho Orozco Godínez.

Colegiado 1,879

ASESOR

ING. GUSTAVO B. OROZCO
COLEGIADO 1879



Guatemala, 8 de junio de 2022

Ingeniero

Armando Alonso Rivera Carrillo

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Rivera:

Por este medio, con base a lo indicado en el REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADUACION vigente, tengo a bien proponer la aprobación del trabajo de graduación titulado:

**"PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE
TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA "**

del estudiante PABLO ROBERTO MENDÍA TOBÍAS, habiendo cumplido con los requisitos establecidos en el referido reglamento y conforme la aprobación del asesor.

Sin otro particular

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ingeniero Fernando Alfredo Moscoso Lira
Coordinador Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF. EIME 70.2022.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área , al trabajo de Graduación del estudiante Pablo Roberto Mendía Tobías: **PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

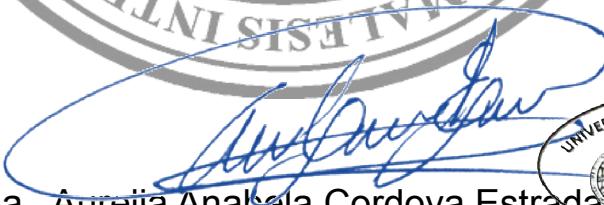
Guatemala, 19 de octubre de 2022.

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.803.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOCOLO Y NORMATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA**, presentado por: **Pablo Roberto Mendía Tobías**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Decana

Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme despertar con salud y vida, durante mi vida estudiantil.
- Mi madre** Lilian Tobías, por su incondicional amor y por ser guía en mi vida.
- Mi padre** Herman Mendía, por ser un gran ejemplo profesional; de quien siempre he aprendido a superarme a mí mismo.
- Mis amigos** Quienes me apoyaron en cada momento de mi vida académica y personal.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, que me brindó los conocimientos y ética necesaria para ser un profesional que sirve al bienestar del país.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar y permitirme crecer como ingeniero profesional.
Mis amigos de la Facultad	Roberto Marticorena, Isis González y Álvaro Robles, por ser ese apoyo cuando fue necesario, y ser esa inspiración para seguir creciendo más cada día.
A mis padres	Herman Mendía y Lilian Tobías, por enseñarme que en la vida hay que ser fuertes y aprender a levantarse en las caídas. Que siempre me apoyaron en las decisiones que tomara.
A mi hermano	German Mendía, por demostrarme que cualquier meta se puede alcanzar con esfuerzo y dedicación.
Mis catedráticos	Que, por medio de la cátedra, forman grupos de profesionales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Sector energético nacional	1
1.1.1. Marco Legal del Sub-Sector Eléctrico de Guatemala, comprendido de leyes y reglamentos	4
1.1.1.1. Ley General de Electricidad	5
1.2. Torres de transmisión	6
1.2.1. Clasificación según función	7
1.2.1.1. Suspensión	7
1.2.1.2. Terminal o remate	8
1.2.1.3. Transposición	9
1.2.2. Clasificación según geometría de estructura	10
1.2.3. Partes de una torre de transmisión	12
1.2.3.1. Hilo de guarda	13
1.2.3.2. Método de Ángulos Fijos	13
1.2.3.3. Aisladores	16
1.2.3.4. Herrajes	18
1.2.3.5. Puesta a tierra	18
1.2.3.6. Crucetas	20
1.2.3.7. Stub	20

1.2.3.8.	Amortiguadores Stockbridge	20
1.3.	Reglamento de La Ley General de la Electricidad	21
1.3.1.	Autorizaciones.....	22
1.3.2.	Sistema de transporte	22
1.3.3.	Sanciones.....	24
2.	SITUACIÓN ACTUAL	27
2.1.	Líneas de transmisión	27
2.1.1.	Parámetros de las líneas de transmisión	28
2.1.1.1.	Resistencia.....	28
2.1.1.2.	Inductancia	29
2.1.1.3.	Capacitancia.....	31
2.2.	Clasificación de líneas de transmisión	33
2.2.1.	Líneas de transmisión según equilibrio eléctrico	33
2.2.2.	Líneas de transmisión según longitud	33
2.2.3.	Líneas de transmisión según su geometría.....	37
2.3.	Fallas.....	40
2.3.1.	Falla por cortocircuito	42
2.3.1.1.	Fallas simétricas.....	43
2.3.1.2.	Fallas asimétricas.....	43
2.3.2.	Falla por fase abierta.....	46
2.4.	Mantenimiento de líneas de transmisión	49
2.4.1.	Mantenimiento predictivo.....	50
2.4.1.1.	Inspección visual	50
2.4.1.2.	Termografía.....	52
2.4.2.	Mantenimiento preventivo	53
2.4.3.	Mantenimiento correctivo	54
2.4.3.1.	Reparación de conductor de fase.....	55
2.4.3.2.	Sustitución de torres de transmisión	55

2.5.	Distancia mínima	56
3.	UTILIZACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA	59
3.1.	Torres de transmisión de emergencia	59
3.1.1.	Sustitución de una torre de transmisión de emergencia.....	61
3.1.2.	Apoyo de una torre de transmisión de emergencia.....	62
3.2.	Partes de una torre de transmisión de emergencia	63
3.2.1.	Base	64
3.2.2.	Articulación	64
3.2.3.	Tramos	65
3.2.4.	Toma de vientos universal	67
3.2.5.	Accesorios	67
3.2.5.1.	Poste de montada.....	67
3.2.5.2.	Plataformas de trabajo.....	68
3.2.5.3.	Palanca pivotante	69
3.3.	Instalación de torres de transmisión de emergencia	70
3.3.1.	Método de poste de montada y palanca pivotante	71
3.3.2.	Método por grúa	71
3.3.3.	Método por helicóptero	72
4.	PROPUESTA DEL PROTOCOLO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA.....	75
4.1.	Herramientas para trabajos en líneas energizadas	75
4.2.	Equipo de prueba	81
4.3.	Equipo de protección personal	82
4.4.	Maniobra y procedimientos en líneas energizadas.....	88

4.4.1.	Seguridad para maniobra en líneas energizadas	91
4.4.2.	Trabajos en proximidad a instalaciones en tensión.....	92
4.4.3.	Preparación del trabajo	93
4.5.	Plan de contingencia	95
4.5.1.	Plan de contingencia: identificación de los riesgos.....	96
5.	APLICACIÓN DE NORMAS PARA LA EJECUCIÓN CORRECTA DE LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA.....	99
5.1.	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOD).....	99
5.2.	Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte (NTDOST).....	102
5.3.	Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS).....	105
5.4.	Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT)	112
5.5.	Norma Técnica de Conexión.....	114
5.6.	Norma ISO 22301:2012. Continuidad de servicio	118
5.7.	Norma IEC 60652 Pruebas de carga en estructuras de líneas aéreas.....	120
5.8.	Norma IEEE 1070 - 2006 Guía para el diseño y prueba de componentes de estructura de restauración modular de transmisión.....	121

CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Atlas del Sistema Nacional Interconectado	3
2.	Torre de suspensión tangente.....	8
3.	Torre de remate	9
4.	Torre de transposición.....	10
5.	Torre de suspensión, tronco piramidal. Circuito simple triangular.....	11
6.	Torre terminal, Delta. Circuito simple horizontal.....	12
7.	Área de protección de un hilo de guarda.....	14
8.	Área de protección de dos hilos de guarda.....	15
9.	Aisladores tipo alfiler	17
10.	Partes de una torre de transmisión	21
11.	Arreglo de agrupamientos de conductores.....	30
12.	Círculo equivalente de línea corta	34
13.	Círculo equivalente de línea media, modelo T	35
14.	Círculo equivalente de línea media, modelo pi.....	36
15.	Círculo equivalente de línea larga	37
16.	Tipos de líneas de transmisión.....	40
17.	Gráfica de corriente de corto circuito.....	42
18.	Círculo equivalente de una falla bifásica	44
19.	Círculo equivalente de una falla monofásica.....	45
20.	Círculo equivalente de una falla bifásica – tierra	46
21.	Representación esquemática de una falla de dos fases abiertas	48
22.	Ánálisis por termografía a una torre de transmisión	53
23.	Torre de transmisión de emergencia.....	60

24.	Tipos de torres de transmisión.....	63
25.	Base o placa de cimientos	64
26.	Articulación	65
27.	Tramos.....	66
28.	Poste de montada.....	68
29.	Plataforma de trabajo.....	69
30.	Palanca pivotante	70
31.	Helicóptero transportando una torre de transmisión de emergencia.....	73
32.	Herramientas para maniobras en líneas energizadas.....	77
33.	Herramientas y equipos para maniobras en líneas energizadas	79
34.	Herramientas y equipos para maniobras con pétigas en líneas energizadas	81
35.	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID)	100
36.	Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte (NTDOST)	103
37.	Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS)	106
38.	Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT)	113
39.	Norma Técnica de Conexión	115

TABLAS

I.	Distancia mínima de trabajo.....	57
II.	Distancias a líneas eléctricas	57

GLOSARIO

Adjudicatario	Es la persona individual o jurídica a quien el Ministerio otorga una autorización, para el desarrollo de las obras de transporte y distribución de energía eléctrica, y está sujeto al régimen de obligaciones y derechos que establece la ley general de electricidad.
Aislador	Cualquier tipo de material que impida el paso de energía en cualquiera de sus formas.
IEC	Comisión electrónica Internacional.
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.
Línea de transmisión	Medio físico por el cual se transporta la energía eléctrica en grandes distancias.
Peaje	Es el pago que devenga el propietario de las instalaciones de transmisión, transformación o distribución por permitir el uso de dichas instalaciones para la transportación de potencia y energía eléctrica por parte de terceros.
Servidumbres	Se tendrán como servidumbres legales de utilidad pública todas aquellas que sea necesario constituir

teniendo como fin la construcción de obras e instalaciones para la generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

Transportista

Es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.

RESUMEN

La documentación que se presenta a continuación es una propuesta cuya finalidad servirá como apoyo para mejorar de forma teórica y práctica el proceso de la instalación de torres de transmisión de emergencia, dichas torres son utilizadas de forma poco habitual o errónea, a diferencia de otros países.

Esto es debido a la ausencia de documentación nacional y escasez de experiencia en operaciones de mantenimiento correctivo en torres de transmisión. Dichas operaciones son ejecutadas sin un proceso bien establecido, afectando la ausencia de energía eléctrica de grandes sectores o comunidades.

El protocolo fue ejecutado de modo que se pudiera realizar la instalación desde cualquier necesidad que se ocupe, siendo los espacios pocos recomendables para una torre de transmisión común, para así también cumplir también en la distribución de transporte de energía a sitios de difícil acceso.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una metodología de instalación de torres que permita la pronta recuperación de la red eléctrica de algún sector, con equipo de montaje rápido, según sea el caso de líneas de transmisión o torres de transmisión dañadas.

Específicos

1. Definir el proceso y protocolo adecuado de instalaciones de torres de transmisión de emergencia para las situaciones que ameriten el caso.
2. Normar el proceso correcto para la instalación de torres de emergencia y su debida conexión a la red eléctrica.
3. Determinar los requisitos mínimos técnicos para la obtención de una torre de transmisión de emergencia.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el servicio continuo de la energía eléctrica es indispensable. A pesar de ello, muchas veces se ha visto afectado por daños en líneas de transmisión o torres de transmisión, algunas veces provocados por la naturaleza y otras por el hombre. Independiente de la causa, lo más importante a realizar a consecuencia, es encontrar una solución.

Existen diversas respuestas a este tipo de problemática como lo son la Red Eléctrica Inteligente, una Red Interconectada o sustituir momentáneamente la torre dañada. Según los costos una solución puede ser más viable que la otra.

En el caso de Guatemala, ante una falla, no todas las opciones son considerables, por lo mismo se presenta como solución la utilización de torres de transmisión de emergencia. Un proyecto que se ha trabajado en diversos países y se ha presentado como una excelente solución.

Para aplicarla en el país se debe ajustar a diferentes normas y condiciones mínimas de trabajo. De igual manera, estas podrían ser utilizadas en espacios reducidos, dado que ocupan menor área.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Sector energético nacional

El sistema eléctrico en Guatemala se compone del Sistema Nacional Interconectado SNI, que a su vez está conformado por un conjunto de centrales generadoras, interconexiones regionales, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución y centros de carga, donde cada uno tiene un rol en el suministro de energía eléctrica. Las empresas de transporte energético tienen como objetivo el transporte de energía eléctrica de manera constante y de buena calidad.

En el año 1997, para lograr un mejor servicio para el sector energético, se crea un nuevo marco regulador del subsector eléctrico convirtiéndolo en un sistema mixto en el que participaba el sector privado junto con el gobierno, incentivando la inversión de los primeros en proyectos que impulsaran el crecimiento de la oferta con lo que se pretendía la descentralización del sistema de generación y distribución de energía para así mejorar el nivel de vida de los guatemaltecos. El cumplimiento de los estándares ya establecidos se realiza con la ayuda de tres entidades que son:

- El Ministerio de Energía y Minas MEM es el encargado de dictaminar las políticas energéticas del país, es decir los planes a corto, mediano y largo plazo. Establece las directrices en cuánto a la matriz energética que se requiere en el país y políticas, acuerdos, leyes y reglamentos relacionados al subsector eléctrico.

- La Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE es el ente regulador encargado del mercado regulado, es decir a todos los usuarios con consumo menor a 100 kW. Se encarga de hacer cumplir la ley, imponer sanciones, definir tarifas, resolver controversias, emitir normas técnicas.
- El Administrador del Mercado Mayorista AMM es el ente operador del mercado, coordina la operación de centrales, interconexiones, transacciones, establece precios de mercado para todas las transacciones y garantiza el abastecimiento de energía eléctrica en el país.

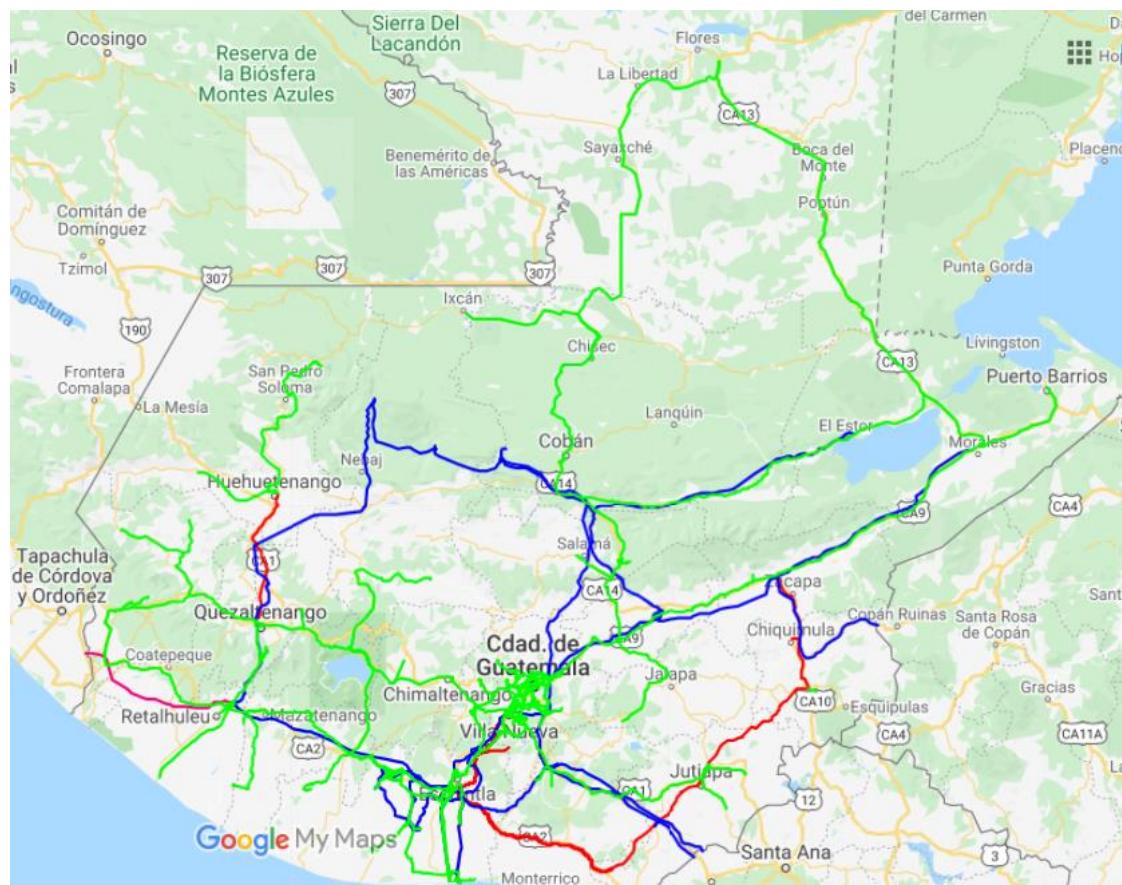
La generación es la parte de suministro de energía eléctrica que se extrae a través de una conversión de energía que la fuente puede ser del tipo térmica, nuclear, solar, hidroeléctrica o combustión. En Guatemala se estima que el 85 % de las centrales generadoras utilizan recursos renovables para su operación, mientras que el otro 15 % de ellas no, el valor puede variar según la demanda que se tenga de parte de los consumidores. Luego de hacer las conversiones pertinentes para obtener la energía eléctrica, ésta modifica sus valores de voltaje por medio de transformadores trifásicos o bancos de transformadores para alcanzar valores estándar. Estos valores se subdividen en tres grupos dependiendo de su magnitud, y los mismos varían según la distancia que necesitan recorrer, los voltajes trifásicos a utilizar son:

- Alta tensión: 69 kV, 138 kV, 230 kV y 400 kV
- Media Tensión: 13.8 kV, 34.5 kV
- Baja Tensión: 120/240V, 120/208V, 240/480V, 277/480V

Siendo la alta tensión el nivel de voltaje comúnmente usado para el transporte de energía en largas distancias, la media tensión utilizada para la

distribución de energía y la baja tensión para el consumo. Luego procede la parte del transporte de energía, que es la parte del suministro eléctrico constituido por los elementos necesarios, como lo son las líneas de transmisión y las torres de transmisión, para llevar hasta la subestación de distribución o de interruptor y a través de grandes distancias.

Figura 1. **Atlas del Sistema Nacional Interconectado**



Fuente: CNEE. *Atlas del S.N.I.*

<https://cn76tyiiurq7cr7.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b5ee4c44827e4276b34cfa52597547dd>. Consulta: 12 de abril de 2021.

Los niveles de tensión que operan en Guatemala se distinguen en el Atlas del SNI según el color del trazo de las líneas sobre el mapa del país, siendo estos:

- 69 kV en color verde
- 138 kV en color rojo
- 230 kV en color azul
- 400 kV en color magenta

Por último, se realiza la etapa de distribución, que es la parte del sistema de suministro de energía desde una subestación hasta el consumidor. La distribución de energía se lleva a cabo para 19 empresas distribuidoras, de las cuales 16 son empresas eléctricas municipales, las otras 3 la conforman EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.) que tiene como área de cobertura los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez. Mientras que las empresas Distribuidora de Electricidad de Oriente (Deorsa), y la Distribuidora de Electricidad de Occidente (Deocsa), forman a Energuate, que es la distribuidora de energía eléctrica en 297 municipios, en 20 departamentos del país. Éstas son las encargadas de comprar la energía en el mercado eléctrico. También logran acuerdos con generadoras de energía para después vender a los usuarios, sin participación en la generación, ni el transporte.

1.1.1. Marco Legal del Sub-Sector Eléctrico de Guatemala, comprendido de leyes y reglamentos

Siendo el marco legal del sector eléctrico, propuesto y aprobado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, se tomarán en cuenta únicamente solo los artículos pertinentes a la instalación o uso de torres de transmisión de emergencia para el transporte de energía eléctrica.

1.1.1.1. Ley General de Electricidad

En la década de 1990, la oferta de energía eléctrica no satisface las crecientes necesidades y demandas de la población, por ende, es necesario aumentar la producción, transmisión y distribución de dicha energía mediante la liberalización del sector. Tal que el Gobierno no cuenta con los recursos financieros, para sustentar una empresa de tal capacidad, hace necesaria la participación de inversionistas que apoyen la creación de las empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y optimicen el crecimiento del subsector eléctrico.

La Ley General de Electricidad establece la separación de funciones en la industria eléctrica. Las actividades de generación, transporte y distribución de energía eléctrica se deben realizar a través de empresas diferentes, y de acuerdo a las literales b y c del artículo 1 de la LGE que son los referentes al transporte de energía eléctrica:

- Es libre el transporte de electricidad, cuando para ello no sea necesario utilizar bienes de dominio público; también es libre el servicio de distribución privada de electricidad.
- En los términos a que se refiere esta ley, el transporte de electricidad que implique la utilización de bienes de dominio público y el servicio de distribución final de electricidad, estarán sujetos a autorización.¹

Instalación de Obras de generación, transporte y distribución de electricidad:

Las personas autorizadas y responsables para la realización de las obras pertenecientes al sector eléctrico, o adjudicatarios, tienen la capacidad de utilizar los bienes de dominio público y remover la vegetación necesaria para poder garantizar la seguridad de vidas, bienes e instalaciones eléctricas. Las líneas de transmisión o distribución podrán cruzar ríos, canales, líneas férreas, acueductos, calles y caminos. Debiéndose diseñar las instalaciones de tal manera que garanticen la seguridad de las personas y sus bienes, así como la prestación de los servicios.

¹ CNEE. *Marco Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos*. p. 3.

El espacio necesario de la construcción de obras, junto a su distancia de seguridad, para el sector eléctrico se les conoce como servidumbre legal de utilidad pública. Se debe tomar en cuenta áreas para la construcción, inspección, mantenimiento y modificación de las instalaciones correspondientes, según las consideraciones aplicadas en un ambiente rural o urbano.

Delimitar los terrenos para las bocatomas, canales de conducción, vertederos, clasificadores, estanques, cámaras de presión, tuberías, dependencias, habitaciones para el personal, canales de desagüe, caminos de acceso y en general todas las demás obras estrictamente requeridas para las instalaciones y descargar las aguas, por los cauces existentes en el terreno ocupado. De igual manera, se tienen obligaciones para regular el espacio de la servidumbre legal de utilidad pública, como lo son: la construcción del paso de los inspectores y de los trabajadores que intervengan en el transporte de materiales y equipo necesario para los trabajos de construcción, y la prohibición de actividades o construcciones ajenas de las libranzas eléctricas dentro del área de construcción.

1.2. Torres de transmisión

Una torre de transmisión es una estructura alta, encargada de sostener líneas eléctricas aéreas, diseñadas para transportar múltiples cables cuya cantidad debe ser en múltiplos de tres. Se utilizan para transportar líneas de transmisión de alto voltaje, que a su vez transportan energía eléctrica desde las plantas generadoras hasta las subestaciones. La altura típica varía de 15 a 60 metros, aunque existen torres de hasta 380 metros. Dichas torres pueden ser fabricadas de acero, junto con el apoyo de otros materiales como el hormigón y la madera.

Para el montaje de las torres, se utilizan prototipos, que son probados en estaciones de prueba de torres. Luego se procede a realizar la selección del método para el ensamblaje y montaje de la torre, este puede ser:

- Ensamblaje y montaje horizontalmente en el suelo, para luego levantarse mediante cables, este método requiere mucha área de trabajo. En otro caso, las torres se pueden montar de manera vertical, para luego apoyarse de helicópteros para su ensamblaje, y por último, se toma la opción de un ensamblaje previo para que luego la torre sea transportada al punto deseado y desde ahí realizar el montaje. Las torres de transmisión se pueden dividir según su disposición de conductores, función o la geometría en su estructura.

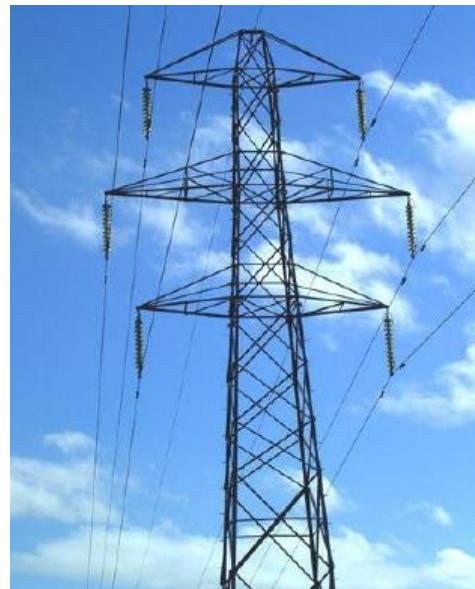
1.2.1. Clasificación según función

Las torres de transmisión se pueden clasificar dependiendo para lo que son utilizadas en el sector eléctrico, entre dicha clasificación se puede encontrar los tipos: suspensión, terminal o remate y transposición. Algunas torres de transmisión combinan estas funciones básicas.

1.2.1.1. Suspensión

Este tipo de torres soportan el peso de los cables, cadenas de aisladores y herrajes, son usadas en los tramos rectos y largos de la línea de transmisión. Son de construcción liviana y comúnmente con forma de equis entre su estructura. Estas a su vez se subdividen en torres de suspensión tangente, son utilizadas en conductores de línea recta, y torres de suspensión angulares, empleadas donde una línea debe cambiar de dirección.

Figura 2. **Torre de suspensión tangente**



Fuente: Begemot_30. *Torre de una tangente principal de alto voltaje eléctrico.*

https://es.123rf.com/photo_12081917_torre-de-una-tangente-principal-de-alto-voltaje-electrico.html. Consulta: 12 de abril de 2021.

1.2.1.2. **Terminal o remate**

Las torres de tipo terminal o remate son utilizadas al inicio y al final de la línea de transmisión o partida de una subestación eléctrica. Estas son las más robustas, y se deben realizar con cuidado sus cimentaciones.

Figura 3. **Torre de remate**



Fuente: IEG Consulting. *Charla informativa diseño de líneas de transmisión de 138 kV hasta 500kV*. <https://www.youtube.com/watch?v=fmVQ8HBqYpQ>. Consulta: 12 de abril de 2021.

1.2.1.3. Transposición

Las torres de transposición tienen la capacidad de alternar la posición de los conductores, pudiendo igualar la reactancia inductiva. Con el objetivo de mantener el sistema eléctrico balanceado entre conductores no equidistantes. Utilizadas en líneas mayores de 100 kilómetros de longitud.

Figura 4. Torre de transposición



Fuente: CITE energía. *Transposición en líneas de transmisión.*

http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/08/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed.pdf. Consulta: 12 de abril de 2021.

1.2.2. Clasificación según geometría de estructura

Dependiendo de los requerimientos eléctricos de cada situación, sean distancias o tensiones, se escogen los elementos estructurales, conductores y sistemas de fijación. Por su forma se pueden asociar como:

- Tronco piramidal
- Delta
- Venteada

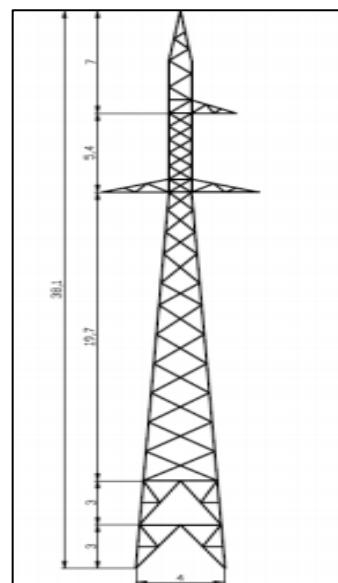
También pudiendo tener sub clasificación según su disposición de conductores, siendo estos:

- Triangular

- Vertical
- Horizontal

Entre los ejemplos de estas se puede tener:

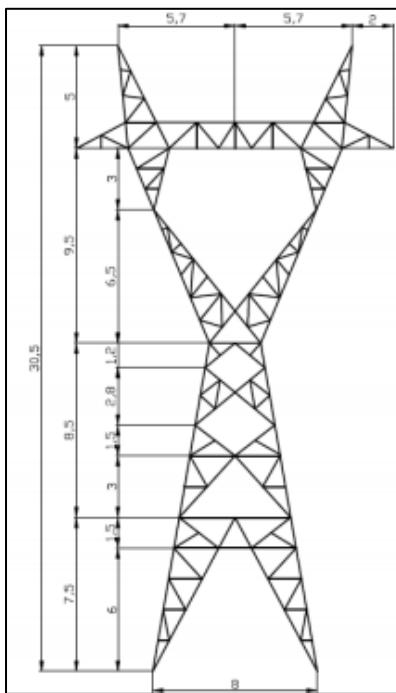
Figura 5. **Torre de suspensión, tronco piramidal. Circuito simple triangular**



Fuente: SEMBLANTES VÉLEZ, Marcelo Leonardo. *Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosoportada para una línea de 69 kV*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2587>.

Consulta: 12 de abril de 2021.

Figura 6. **Torre terminal, Delta. Circuito simple horizontal**



Fuente: SEMBLANTES VÉLEZ, Marcelo Leonardo. *Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosostenida para una línea de 69 kV*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2587>.

Consulta: 12 de abril de 2021.

1.2.3. **Partes de una torre de transmisión**

Las torres de transmisión eléctrica, por lo general soportan una gama de soluciones de líneas de energía basadas en la construcción de configuraciones, de acuerdo a las necesidades presentadas. Este enfoque de múltiples niveles permite que se comercialicen y combinen diferentes capacidades de kilovatios, presentando soluciones modulares de acuerdo a la potencia y función que debe cumplir la torre. Para cumplir con dichas funciones las torres de transmisión puede contar con las siguientes partes:

1.2.3.1. Hilo de guarda

Los hilos de guarda son cables sin tensión colocados en la parte más alta de una torre de transmisión. Dichos cables son utilizados para proteger las líneas aéreas y contar las descargas atmosféricas, a manera de pararrayos. También ayudan a reducir la tensión inducida producida por las descargas atmosféricas y ayudan en la disminución de la resistencia de tierra disminuyendo las tensiones de paso. La protección brindada por estos equipos es conocida como blindaje y estos a su vez están conectados a la red de tierras. Los métodos para el análisis de protección son:

1.2.3.2. Método de Ángulos Fijos

El blindaje por este método se puede llevar a cabo con hilos de guarda o bayonetas, donde se hace una proyección de una zona de protección al equipo que está debajo de ellos en forma de cono que forma un ángulo no mayor de 30 grados medidos desde la estructura que tiene la bayoneta o el hilo de guarda. El área de protección del hilo de guarda depende de la altura a la que se coloca dicho equipo de blindaje, el cual puede variar según la cantidad de hilos de guarda utilizados.

Altura para 1 hilo de guarda necesitada:

$$H = \frac{1}{3}(2S + 3i) + \frac{1}{3}\sqrt{(S^2 + 4\sqrt{3}iS)}$$

Ecuación 1.

Altura para 2 hilos de guarda necesitada:

$$H = \frac{2}{3}S + \sqrt{\frac{1}{9}S^2 + (\frac{i}{2})^2}$$

Ecuación 2.

Donde:

H es la altura del hilo de guarda

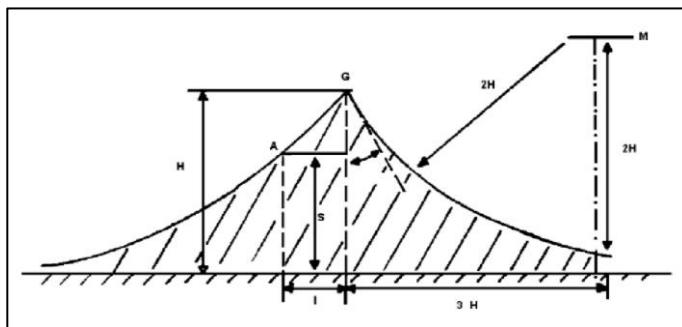
M es el centro de descarga

S es la altura del objeto protegido

i es la distancia del objeto horizontal

G es el hilo de guarda

Figura 7. **Área de protección de un hilo de guarda**

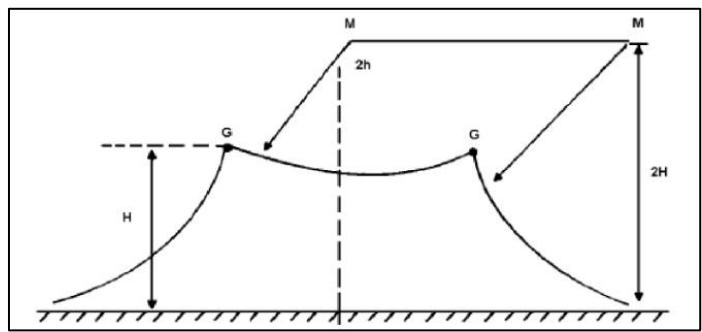


Fuente: Sector Electricidad. *Apantallamiento de líneas de transmisión*.

<https://www.sectorelectricidad.com/10974/metodo-grafico-de-langrehr-poste-de-altura-h/>.

Consulta: 12 de abril de 2021.

Figura 8. Área de protección de dos hilos de guarda



Fuente: Sector Electricidad. *Apantallamiento de líneas de transmisión*.

<https://www.sectorelectricidad.com/10974/metodo-grafico-de-langrehr-poste-de-altura-h/>.

Consulta: 12 de abril de 2021.

- Método electro geométrico

Este modelo es el más efectivo para el análisis y predicción de la protección brindada por el equipo de blindaje. Como su nombre lo sugiere, este tipo de análisis se resuelve mediante las proyecciones geométricas que se hacen por cada parte involucrada y su área de contacto. Partiendo del principio en que la distancia de impacto de un rayo es proporcional a la densidad de carga.

Este modelo asume las descargas negativas descendentes desde la nube al suelo. Dicha distancia determina el punto de encuentro, y se le conoce como distancia de cebado. Dependiendo del área de contacto en que se encuentre la distancia de cebado en su proyección, se considera si afectaría al equipo protegido, al pararrayos o si no afecta a ninguno de los anteriores mencionados.

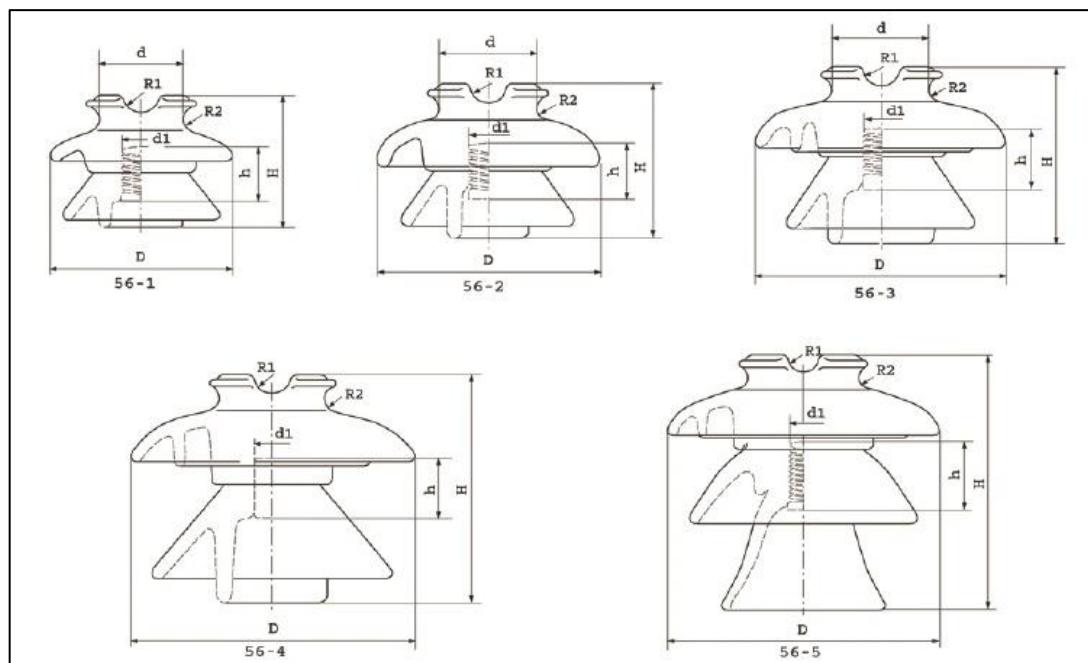
1.2.3.3. Aisladores

Como su nombre lo indica, su función es aislar el conductor de la línea que soporta. Un buen aislador tiene buenas propiedades dieléctricas, evitando así el paso de altas tensiones sin necesidad de liberar la energía en forma de calor. Su desempeño y su función varían según el material de fabricación y forma.

- Aisladores según material
 - Porcelana: fabricada a base de cuarzo, y recubierta por una capa de silicato. Luego de pasar por un tratamiento térmico, este material se vuelve impermeable y dificulta la adherencia de polvo y humedad.
 - Resina epoxi: este tipo de material se utiliza cuando los aisladores están expuestos a grandes esfuerzos mecánicos, siendo su resistencia mecánica el doble que la de porcelana.
 - Vidrio: compuesto de una base cárlico-alcalina, obtenida a través de tratamientos térmicos. Posee elevada dureza y resistencia mecánica y alto coeficiente de dilatación. Tienen una resistencia dieléctrica del orden de 140 kV pico/cm
- Aisladores según forma
 - Aislador tipo alfiler

Aislador formado por uno o más faldones que se montan rígidamente sobre un vástago roscado conocido como alfiler, que a su vez está sujeto a la cruceta de la estructura donde está montado, y con esta forma un conjunto desmontable. Como aditamento le es posible ser equipado con un soporte mecánico, fabricado de arena sílica y resina polimérica para aumentar la distancia de perforación y distancia de fuga.

Figura 9. **Aisladores tipo alfiler**



Fuente: LFSIE. *Aisladores de tipo Pin de alto voltaje ANSI standard serie 56.*
<http://www.fhpinsulator.com/es/high-voltage-pin-type-insulators-ansi-standard-56-series-p359.html>. Consulta: 12 de abril de 2021.

- Aislador tipo suspensión

Este tipo de aislador es utilizado preferiblemente en intemperie para la sujeción de líneas de alta tensión. Los aisladores están compuestos de un cuerpo de porcelana maciza que a su vez lleva pantallas para lograr una alta propiedad aisladora. Los extremos del cuerpo tienen accesorios de fundición, que transmiten las fuerzas mecánicas. Se incluyen los aisladores del tipo de porcelana y vidrio, para su conexión a los conductores, estos se colocan debajo de los aisladores de suspensión, permitiéndoles proteger parcialmente al conductor de las descargas electro atmosféricas.

1.2.3.4. Herrajes

Los herrajes son dispositivos que acompañan la estructura de soporte de las líneas de transmisión de las líneas aéreas. Tienen como objetivo la fijación, protección eléctrica y mecánica, separación y amortiguamiento de los conductores de guarda con las torres de transmisión y las líneas con sus respectivos aisladores. Evita dañar a los conductores en condiciones de servicio, brindan protección contra la corrosión y sujetan los conductores para tensarlo. Existen de dos tipos:

- Alineación: son los empleados en partes medias de la línea, donde no se aplica una resistencia a la rotura.
- Amarre: se utiliza en extremos de línea, donde existe la rigidez en la línea.

1.2.3.5. Puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra tiene como objetivo mantener la seguridad del personal, operación de los equipos y desempeño de los mismos. La puesta

a tierra del neutro del sistema contribuye a una mejor operación de sistemas de protección basados en la detección de corrientes que circulan por la misma, despejándose así el circuito bajo falla.

Dado que el equipo eléctrico en una torre de transmisión está sujeto a sufrir descargas electro atmosféricas, y conlleva consigo altos valores de voltaje para que los aisladores lo puedan soportar, una vez captadas por los hilos de guarda, la energía es redirigida a través de una resistencia de tierra hacia una red de tierras, que consiste en varillas enterradas en el suelo e instaladas según especificaciones. Por ello cuando se diseña el sistema de puesta a tierra se toma en consideración dos parámetros, estos son la resistividad del suelo donde se entierra la varilla y la resistencia del circuito del sistema de puesta de tierra.

La consideración de ambos parámetros permite el correcto análisis del acoplamiento inductivo entre circuitos de potencia y circuitos de comunicación cercanos. De la misma manera verificar la necesidad de un nuevo sistema de puesta a tierra en el caso que el sistema actual no se de abasto con los altos niveles de voltaje manejados en el área donde se encuentre la torre de transmisión y así tener una mejor protección para el personal y los circuitos de potencial.

Siendo el caso en que el suelo tenga una alta resistencia, puede ser necesario utilizar un sistema de compensación de tierra, este consiste en una terminal especial de puesta a tierra, que reduce la resistencia total de la sobretensión al flujo de corriente de la conexión a tierra y los otros conductores.

1.2.3.6. Crucetas

Las crucetas son piezas mecánicas cuya función es sujetar los aisladores y los conductores en la torre de transmisión. El material de la cruceta puede variar según el material de los postes al que están adheridos, por ejemplo: crucetas de madera para postes de madera, crucetas de acero galvanizado para postes de hormigón y crucetas laminados de acero para postes metálicos. Se le puede clasificar por la forma en que están distribuidos a través de la torre donde se encuentran, como lo son:

- Cruceta tipo bóveda
- Cruceta recta
- Cruceta tipo bandera
- Cruceta tipo triángulo
- Cruceta tipo tresbolillo

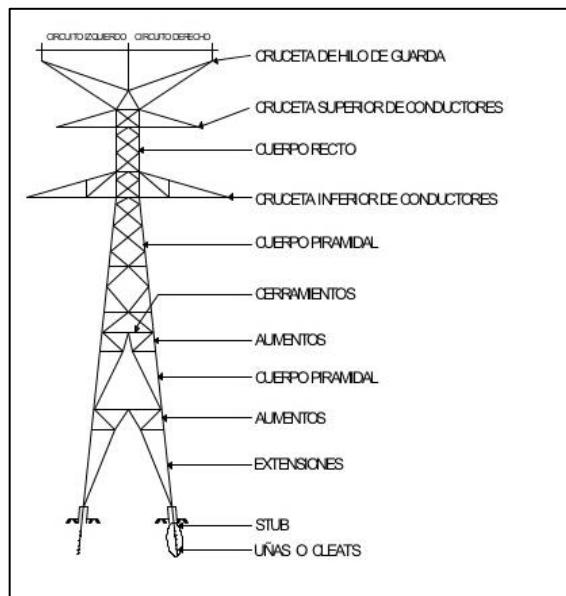
1.2.3.7. Stub

Es el ángulo de anclaje de los cimientos de concreto sobre quien se realiza la fundición para el montaje de la torre de transmisión, diseñado para que la obra resista los esfuerzos de tensión y compresión.

1.2.3.8. Amortiguadores Stockbridge

Los amortiguadores son cables sujetados a las líneas de transmisión, a dos metros de la torre, su objetivo es disminuir cualquier oscilación mecánica.

Figura 10. **Partes de una torre de transmisión**



Fuente: CUEVAS ALVAREZ, Pedro Alberto. *Subestación eléctrica de distribución telecontrola*.

<http://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2016/12/torres-de-transmision-y-transmision.html>. Consulta: 12 de abril de 2021.

1.3. **Reglamento de La Ley General de la Electricidad**

Con el objeto de normar el desarrollo de las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad, es necesario establecer normas jurídicas fundamentales para facilitar la actuación de los diferentes sectores del sistema eléctrico. La Ley General de la Electricidad funciona como el reglamento para desarrollar y asegurar el óptimo funcionamiento del sistema eléctrico de Guatemala.

1.3.1. Autorizaciones

Se necesita autorización de transporte de energía eléctrica, cuando se deba hacer uso de bienes de dominio público, las mismas serán otorgadas por acuerdo ministerial. Cualquier usuario de línea de transporte puede reservar su capacidad de contratos para inyectar, transportar o retirar energía eléctrica. En caso no se utilice en su totalidad, la podrá ocupar otro usuario. La autorización de transporte puede ser revocado en caso se niegue el uso a terceros, en caso aún se tenga capacidad disponible. La verificación de la capacidad de la línea la llevará a cabo el Ministerio de Energía y Minas y el AMM.

1.3.2. Sistema de transporte

Los Transportistas deberán informar al AMM y a la CNEE si alguna instalación, produjera un efecto adverso sobre el Sistema de Transporte de Energía Eléctrica. Según sea el caso, este tendrá derecho a requerir la realización de las medidas correctivas o preventivas necesarias para asegurar la continuidad y calidad del servicio o desenergizar a las instalaciones que ocasionen el problema hasta tanto la Comisión dictamine al respecto.

De acuerdo al artículo 47, se hará uso del asesoramiento de las Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte (NTAUCT). Esta incluirá los requisitos que debe cumplir y los estudios que debe realizar y presentar cada agente que decida realizar nuevas instalaciones o ampliar existentes que impliquen una modificación de la potencia intercambiada.

La construcción de nuevas líneas para el Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (STEE), se realizará por medio de las siguientes modalidades:

- Por licitación pública
- Por iniciativa propia
- Por acuerdo entre partes

De las últimas dos modalidades se debe informar a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica la modalidad de ampliación, identificación e información de los solicitantes, descripción de las instalaciones por incorporar, auditar las instalaciones de acuerdo a las Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (NTDOT), y a las Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte (NTAUCT).

Las instalaciones de una ampliación dedicada al STEE podrán ser propiedad de un transportista, empresa constructora, o de generadores, grandes usuarios o distribuidores que prestan el servicio de distribución final que construyen sus propias líneas.

De las mismas modalidades, los interesados construyen, operan y mantienen instalaciones destinadas a transmisión eléctrica y pueden acordar con un transportista la propiedad, el precio y las condiciones de pago de los costos de construcción, operación y mantenimiento de nuevas instalaciones. La Comisión podrá condicionar la autorización a la realización de obras complementarias que eviten efectos negativos para las instalaciones existentes del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (STEE).

La puesta en funcionamiento de estas instalaciones podrá ser condicionada a la efectiva realización de las obras complementarias requeridas. Previa conexión al Servicio de Transporte de Energía Eléctrica, la Comisión podrá contratar la asesoría o consultoría necesaria para la supervisión, verificación y aceptación de las nuevas instalaciones.

El Plan de Expansión del Sistema de Transporte deberá elaborarse cada dos años y cubrir un horizonte de estudio mínimo de diez años; debiendo considerar los proyectos de generación en construcción y aquellos que presenten evidencias que entrarán en operación dentro del horizonte de estudio indicado. Cualquier participante del Mercado Mayorista podrá solicitar la inclusión de obras de transmisión para que sean consideradas dentro de dicho Plan, debiendo presentar los estudios que demuestren los beneficios que obtendrían el Servicio de Transporte de Energía Eléctrica y el conjunto de operaciones del Mercado Mayorista por su realización.

Se considera que un equipamiento no está disponible cuando está fuera de servicio por causa propia o por la de un equipo asociado a su protección o maniobra. En caso exista una indisponibilidad, sin las órdenes de operación impartidas por el AMM o en condición de indisponibilidad programada debido a un mantenimiento, será considerado en condición de indisponibilidad forzada.

1.3.3. Sanciones

Las sanciones se emitirán por incumplimiento a los acuerdos y autorización otorgada por el AMM para el transporte de energía eléctrica. La indisponibilidad de las líneas de transmisión será penalizada con sanciones acumulativas asociadas a cada salida de servicio no programada, o no autorizada por el AMM. La sanción por indisponibilidad no se aplicará si el tiempo es menor de 10 minutos.

La indisponibilidad forzada de líneas se sancionará conforme la categoría dentro de la cual se halle comprendida cada línea. A tales efectos, las líneas se ordenarán en forma decreciente según los sobrecostos calculados por el AMM, agrupándolas de la siguiente manera:

- Categoría A: incluye el conjunto de líneas que a partir del mayor sobrecosto acumulan el setenta y cinco por ciento (75 %), de los sobrecostos atribuibles al STEE.
- Categoría B: incluye el conjunto de líneas que acumulan el siguiente veinte por ciento (20 %), de los sobrecostos atribuibles al STEE.
- Categoría C: Incluye las líneas no consideradas en las categorías A y B.

La Comisión determinará, en base a estudios que realizará el AMM, las líneas comprendidas en cada categoría, pudiendo, al incorporarse nuevas líneas que provoquen modificaciones significativas en la topología del Sistema Eléctrico, revisar la calificación asignada.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión se utilizan para transmitir energía eléctrica y señales de un punto a otro; específicamente, desde una fuente hasta una carga. Cuando las distancias son lo suficientemente grandes entre la fuente y el receptor, los efectos del retardo de tiempo son considerables, lo que resulta en la existencia de diferencias en fase inducidas por el retardo. Dicho retardo y falta de capacidad para cumplir su función como parte de un sistema de potencia se debe a cuatro parámetros como lo son: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia.

En la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan casi exclusivamente conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos alrededor de un hilo central. En transmisión de energía eléctrica los materiales utilizados son cobre, aluminio y aleación de aluminio, dependiendo de la salinidad del ambiente, costos y ligereza necesaria. Los metales utilizados en la construcción de líneas aéreas deben poseer tres características principales:

- Presentar una baja resistencia eléctrica, y bajas pérdidas Joule en consecuencia.
- Presentar elevada resistencia mecánica, de manera de ofrecer una elevada resistencia a los esfuerzos permanentes o accidentales.

- Mínimo costo posible.

Teniendo ya decididas las características necesitadas en el conductor para las líneas de transmisión, se procede a hacer la selección del tipo de conductor, estos pueden ser:

- AAC todos los conductores de aluminio puro
- AAAC todos los conductores de aleación de aluminio
- ACSR conductores de aluminio con refuerzo de acero
- ACAR conductores de aluminio con refuerzo de aleación

2.1.1. Parámetros de las líneas de transmisión

Los parámetros de las líneas de transmisión son la resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia, estas se describen a continuación.

2.1.1.1. Resistencia

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es la causa más importante de pérdida de potencia en ellas, y se transforma en pérdidas por efecto Joule, teniendo un calentamiento en los conductores. La resistencia efectiva es igual a la resistencia de cd del conductor sólo si la distribución de corriente a través del conductor es uniforme.

La resistencia de corriente directa está dada por la ecuación:

$$R_o = \frac{\rho l}{A} \Omega \text{ [Ohms]}$$

Donde:

ρ = resistividad del conductor

l = longitud

A = área de la sección transversal

Cuando la corriente es constante, se distribuye uniformemente en toda la sección transversal del conductor. Pero cuando la corriente es alterna, esta no se distribuye uniformemente a través del área transversal, y cuando se aumenta la frecuencia, la no uniformidad se hace más pronunciada. A este fenómeno se le conoce como efecto piel.

2.1.1.2. Inductancia

La inductancia de una línea de transmisión se calcula como enlaces de flujo por ampere, es necesario considerar el flujo dentro y fuera de cada conductor, se debe considerar la inductancia de una línea monofásica de dos conductores, y primero se consideran solamente los enlaces de flujo originados por la corriente en el primer conductor, luego a cierta distancia, la inductancia provocada por el segundo conductor.

$$L_1 = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D}{r_1 \varepsilon^{-1/4}}$$

Donde:

D es la distancia entre conductores de centro a centro

r_1 : es el radio del conductor 1

L : es la inductancia del circuito debida sólo a la corriente en el primer conductor en H/m

También se puede dar el caso en el que un conductor esté entre un grupo de ellos en el que la suma de las corrientes de los conductores es cero. En el rango de EAV, esto es, voltajes por arriba de 230 kV, el gradiente de alto voltaje en la superficie del conductor se reduce considerablemente si se tienen dos o más conductores por fase que estén a una distancia que, comparada con la distancia que hay entre fases, sea relativamente pequeña. En caso contrario el efecto corona y sus consecuentes pérdidas de potencia pueden ser excesivas si el circuito sólo tiene un conductor por fase. Se dice que una línea así está compuesta de conductores agrupados. La inductancia de conductores agrupados viene dada de la ecuación:

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ H/m por fase}$$

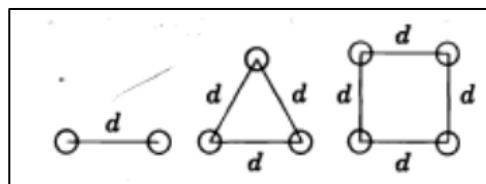
Donde:

D_{eq} es la distancia equivalente de la media geométrica

D_s es la distancia equivalente para el radio medio geométrico dado

El agrupamiento de los conductores se puede dar en diferentes formas geométricas, este consiste en dos, tres o cuatro conductores.

Figura 11. **Arreglo de agrupamientos de conductores**



Fuente: GRAINGER, John. *Análisis de sistemas de potencia*. p. 153.

Para un agrupamiento de dos conductores:

$$D_s^b = \sqrt[4]{(Ds * d)^2} = \sqrt{Ds * d}$$

Para un agrupamiento de tres conductores:

$$D_s^b = \sqrt[9]{(Ds * d * d)^3} = \sqrt[3]{Ds * d^2}$$

Para un agrupamiento de cuatro conductores:

$$D_s^b = \sqrt[16]{(Ds * d * d * \sqrt{2d})^4} = 1.09 \sqrt[4]{Ds * d^3}$$

Para la distancia equivalente, se debe sacar la raíz n acorde a la cantidad n de conductores involucrados, de la multiplicación de las distancias entre conductores, de centro a centro.

2.1.1.3. Capacitancia

La capacitancia de una línea de trasmisión es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores y origina que ellos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellas. La capacitancia entre conductores es la carga por unidad de diferencia de potencial. La capacitancia entre conductores paralelos es una constante que depende del tamaño y espaciamiento entre ellos.

Conforme las líneas recorren una mayor distancia, la capacitancia aumenta proporcionalmente. Un voltaje alterno en una línea de trasmisión tiene

como consecuencia que la carga en los conductores en un punto dado aumente o disminuya con el aumento o disminución del valor instantáneo de voltaje entre los conductores en ese punto. La capacitancia de una línea de dos conductores se define como la carga sobre los conductores por unidad de la diferencia de potencial entre ellos. Siendo así la ecuación entre dos conductores paralelos.

$$C_{ab} = \frac{q_a}{V_{ab}} = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{D^2}{r_a r_b}\right)} [F/m]$$

Donde:

D es la distancia entre conductores

ra es el radio del primer conductor

rb es el radio del segundo conductor

La conductancia toma en cuenta las corrientes de fuga en los aisladores de líneas aéreas y a través del aislamiento de los cables. Generalmente, no se considera la conductancia entre conductores de una línea aérea porque la fuga en los aisladores llega a ser despreciable.

La fuga en aisladores, que es la fuente principal de conductancia, cambia apreciablemente con las condiciones atmosféricas y con las propiedades conductoras de la contaminación que se deposita sobre los aisladores.

La descarga corona, que es resultado de la fuga entre líneas, también varía bastante con las condiciones atmosféricas. Es una fortuna que el efecto de la conductancia sea una componente despreciable de la admitancia paralelo.

2.2. Clasificación de líneas de transmisión

Según las necesidades que se desean cubrir, las líneas de transmisión se pueden clasificar por diferentes criterios, puede depender de su voltaje, la longitud del conductor, su geometría o su equilibrio eléctrico.

2.2.1. Líneas de transmisión según equilibrio eléctrico

- Balanceadas: es el conjunto de líneas donde se utilizan 2 o más conductores, cumpliendo la función de envío y de retorno, y tierra, y entre las líneas que transportan energía aparece la misma diferencia de potencial y el mismo desfase angular. Un par balanceado de alambres tiene la ventaja de que la mayor parte del ruido de interferencia (que a veces se llama voltaje de modo común), se induce por igual en ambos conductores, y produce corrientes longitudinales que se anulan en la carga.
- Desbalanceadas: es el conjunto de conductores donde la tierra, sirve también como referencia para el resto de señales, esto provoca pequeñas diferencias de potencial debido a las inductancias y capacitancias provocadas por la referencia en tierra.

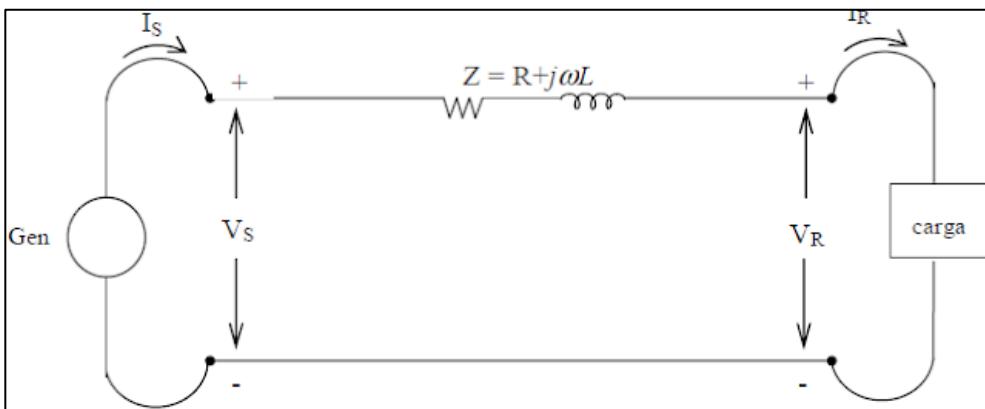
2.2.2. Líneas de transmisión según longitud

- Líneas cortas

Este tipo de línea se utiliza cuando el voltaje de línea no supera los 66 KV, siendo longitudinalmente menor a 80 kilómetros. Debido a la poca distancia que recorre la línea de transmisión, la capacitancia en derivación es lo

suficientemente pequeña como para que se pueda omitir en el análisis del circuito formado. Las líneas suelen considerarse como un circuito RL ya que la inductancia de la misma sigue actuando sobre el circuito entre el generador y la carga.

Figura 12. **Circuito equivalente de línea corta**



Fuente: MUNGUA MARÍN, Joel; MIRANDA CAÑETE, Iván; ZAMBRANO ARENAS, Federico; ZAMBRANO JIMÉNEZ, José. *Modelado de sistemas eléctricos de potencia*. <http://mdsedpotencia.blogspot.com/search?q=modelado>. Consulta: 19 de abril de 2021.

- **Línea media**

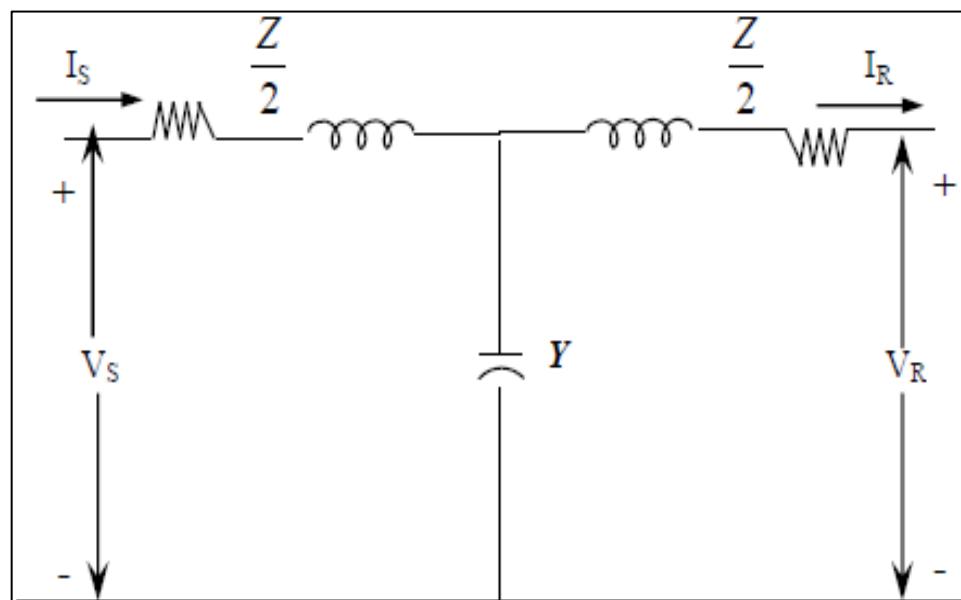
Las líneas de transmisión medias están comprendidas entre las distancias mayores de 80 kilómetros y menores de 240 kilómetros. Por la longitud recorrida, la capacitancia de la línea comienza a tener valores significativos, representada como admitancia, y debe ser colocada en paralelo al generador y la carga del circuito.

Según la colocación de la conexión de la capacitancia en el circuito para su análisis se puede sub dividir en dos categorías la línea media. Siendo el

primer tipo el circuito modelo pi, también conocido como red de dos puertos, en el cual la admitancia se divide en dos partes iguales y se coloca en los extremos del circuito nominal para su análisis.

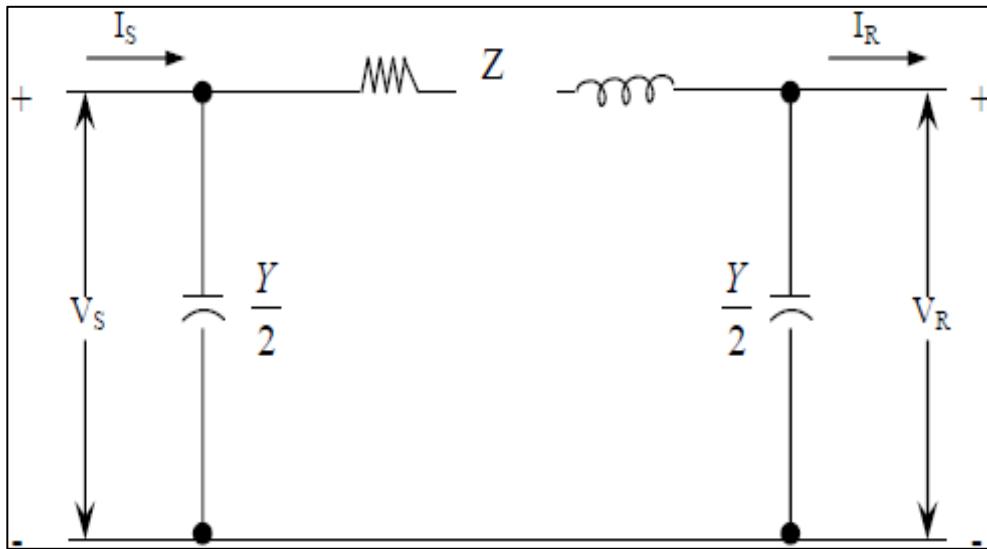
El segundo tipo de circuito es el modelo T, este consiste en dejar la capacitancia como un solo componente en el análisis y partiendo en partes iguales y colocándolas en los extremos receptores y generadores del circuito la resistencia y la inductancia respectiva.

Figura 13. **Circuito equivalente de línea media, modelo T**



Fuente: MUNGUA MARÍN, Joel; MIRANDA CAÑETE, Iván; ZAMBRANO ARENAS, Federico; ZAMBRANO JIMÉNEZ, José. *Modelado de sistemas eléctricos de potencia*. <http://mdsedpotencia.blogspot.com/search?q=modelado>. Consulta: 19 de abril de 2021.

Figura 14. Circuito equivalente de línea media, modelo pi



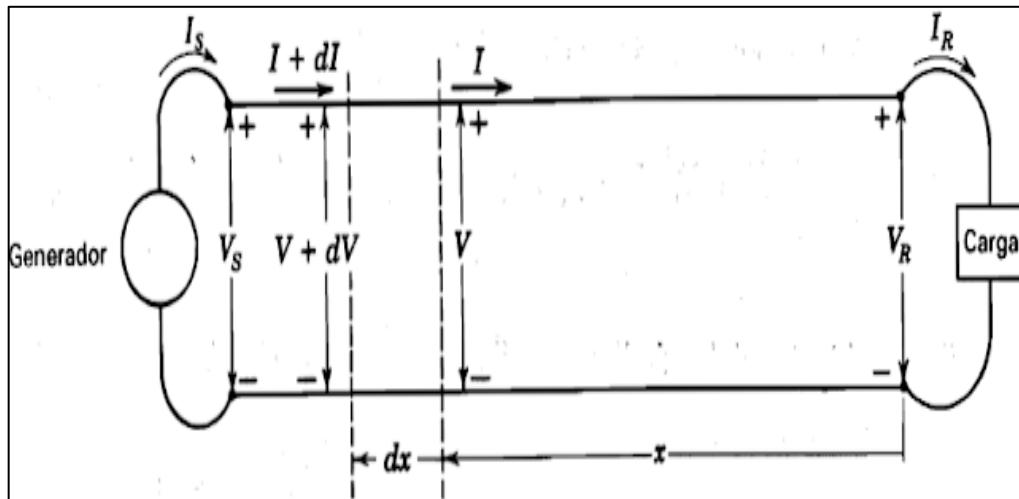
Fuente: MUNGUA MARÍN, Joel; MIRANDA CAÑETE, Iván; ZAMBRANO ARENAS, Federico; ZAMBRANO JIMÉNEZ, José. *Modelado de sistemas eléctricos de potencia*. <http://mdsedpotencia.blogspot.com/search?q=modelado>. Consulta: 19 de abril de 2021.

- Línea larga

Las líneas de transmisión largas son aquellas cuya longitud supera los 240 kilómetros, se considera que los parámetros no están agrupados, sino distribuidos uniformemente a lo largo de la línea, por ello no se muestran componentes en el circuito equivalente.

Para el análisis del mismo, se considera un diferencial de la distancia total para representar un segmento de impedancia y admitancia, dando como resultado un valor representativo para el resto de la línea.

Figura 15. Circuito equivalente de línea larga



Fuente: MUNGUA MARÍN, Joel; MIRANDA CAÑETE, Iván; ZAMBRANO ARENAS, Federico; ZAMBRANO JIMÉNEZ, José. *Modelado de sistemas eléctricos de potencia*.
<http://mdsedpotencia.blogspot.com/search?q=modelado>. Consulta: 19 de abril de 2021.

2.2.3. Líneas de transmisión según su geometría

- Línea de transmisión de alambre desnudo

Consiste simplemente de dos cables paralelos, espaciados únicamente por aire, separados por piezas no conductivas, conocidos como espaciadores. Dichas piezas separan un intervalo de 2 y 6 pulgadas de distancia entre los dos conductores. Este tipo de línea de transmisión, por su construcción sencilla, es de muy bajo costo. Dado que no hay cubiertas, las pérdidas por radiación son altas y susceptibles a emitir ruido.

- Línea de transmisión de conductores gemelos

Conocido también como cable de cinta, este tipo de línea de transmisión consta de dos cables paralelos, con un dieléctrico sólido y continuo entre ellos, además de ser forrado a su alrededor por el mismo. El dieléctrico suele ser de teflón y polietileno y permite una separación de 5/16 de pulgada entre ambos conductores.

- Línea de transmisión de par trenzado

Un cable de par trenzado consiste en dos conductores aislados y entrelazados entre sí. Estas se cubren con varios tipos de funda, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Transportando más de un par de cables al mismo tiempo en conjunto, cada par de cables se traza con diferente largo de conductores para poder reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Cada par forma un circuito que puede transmitir datos. Este tipo de línea también es conocido como cable UTP.

- Líneas de transmisión coaxiales

Este tipo de línea de transmisión consta de dos conductores concéntricos, es decir, su trayectoria sigue el mismo eje manteniendo un cable rodeado por un conductor exterior. Estos conductores están separados por materiales dieléctricos como gases o sólidos. Las líneas coaxiales son comúnmente utilizadas para transportar señales eléctricas a frecuencias altas. Dado que, a frecuencias altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección contra la interferencia externa. Sin embargo, a frecuencias de operación más bajas, el uso de la protección no es estable.

Dependiendo del material utilizado como aislante entre el conductor interno y externo, se puede subdividir en dos tipos de líneas de transmisión

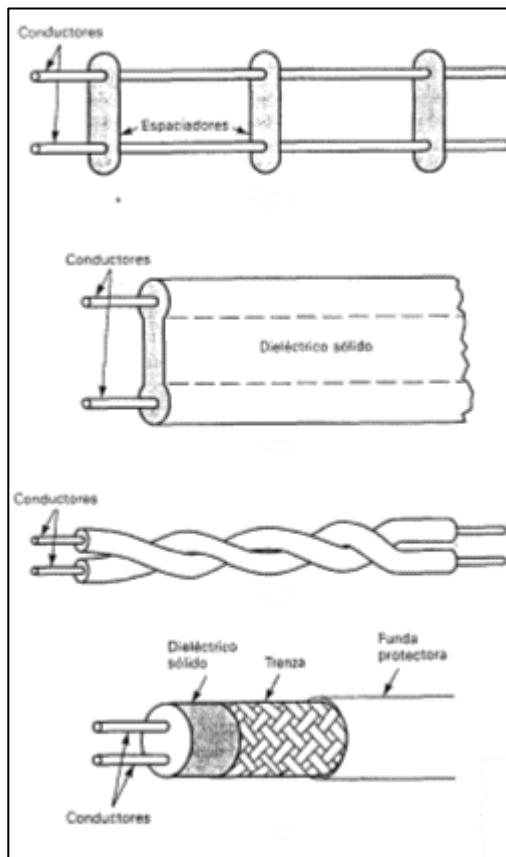
coaxiales. Siendo un tipo las líneas rígidas de aire, donde el conductor central está rodeado por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire, siendo separado del conductor central por un espaciador hecho de polietileno, que hace los costos elevados.

Por otro lado, también existen los tipos de línea sólidas flexibles, donde el conductor externo estará trenzado y es flexible, mientras que el conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco. El material aislante es un material de polietileno sólido no conductor. Esta subdivisión de línea coaxial tiene perdidas menores a diferencia de las líneas rígidas de aire.

- Línea de transmisión protegido con malla

Este tipo de línea de transmisión transporta la energía eléctrica con un par de conductores, los cuales están protegidos con una malla metálica conductora, mientras que el par de conductores están separados por un material aislante. La malla se conecta a tierra y actúa como protección, para reducir las pérdidas por radiación e interferencia, frecuentemente se encierran las líneas de transmisión. La malla también evita que las señales se difundan más allá de sus límites y evita que la interferencia electromagnética llegue a los conductores de señales.

Figura 16. **Tipos de líneas de transmisión**



Fuente: Banco Macro Siemens It Solutions and Services. *Líneas de transmisión*.
<https://es.slideshare.net/pechegaray/lneas-de-transmisin>. Consulta: 24 de abril de 2022.

2.3. Fallas

Los equipos eléctricos de las subestaciones y líneas de transmisión están sometidos a diversas contingencias o fenómenos dando como resultado diferentes perturbaciones eléctricas o sobretensiones que provocan flameos y fallas en el sistema eléctrico. Entre los fenómenos físicos causantes de una falla eléctrica, se pueden mencionar el viento, incendio de un campo, el derribamiento de una torre, maniobras o descargas atmosféricas, entre otros.

La corriente en régimen normal es una onda sinusoidal de 60 Hz y amplitud constante, al ocurrir una falla se produce una onda de igual manera, sinusoidal de 60 Hz, pero cuya magnitud se amplía abruptamente y decrece exponencialmente hasta alcanzar el régimen estacionario en el que se encontraba desde un inicio.

Las fallas pueden dañar los sistemas eléctricos, provocando que los voltajes y las corrientes aumenten en ciertos puntos del sistema y con ello, dañar el aislamiento y reducir la vida útil del equipo. Por lo tanto, en caso de la existencia de alguna falla, la sección del sistema eléctrico donde se presentó la falla se debe desconectar. Dependiendo del tiempo que les tome a las protecciones para atenuar dicha falla, se dice que es transitoriamente estable o transitoriamente inestable. El sistema de protección garantiza el aislamiento del elemento en falla y a su vez permite que parte del sistema quede en servicio. Estas protecciones requieren 4 características básicas:

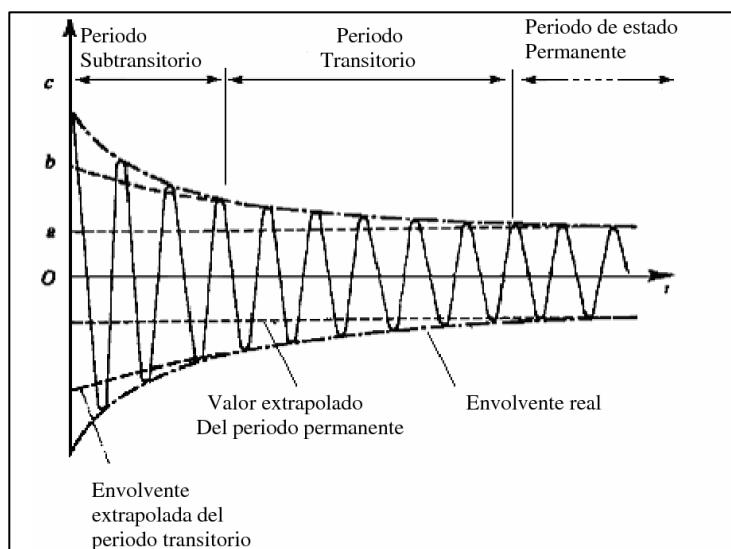
- Confiabilidad: se debe a la correcta operación de las protecciones ante la aparición de la falla y evitar malas operaciones ante las fallas.
- Velocidad: se refiere al tiempo de permanencia de la falla, es decir, entre menos tiempo se presente la falla se evitan daños en los dispositivos.
- Selectividad: aislamiento mínimo y garantizar la mayor continuidad del servicio.
- Costo: mayor protección al menor costo.

Las fallas pueden tener su origen en cortocircuitos o en fases abiertas.

2.3.1. Falla por cortocircuito

Los cortocircuitos son fenómenos eléctricos que ocurren cuando dos puntos con diferente potencial se ponen en contacto directo, se caracterizan por una corriente elevada hasta el punto de falla. Las fuentes principales de cortocircuito son los generadores en el sistema local y la generación remota de la red. Los motores síncronos y asíncronos antes de una falla se comportan como una carga, sin embargo, durante un cortocircuito se comportarán como generadores durante un corto tiempo. Las corrientes de cortocircuito producen calentamiento por efecto joule, esfuerzos electromecánicos en máquinas eléctricas o destrucción física del lugar de falla, cuando ocurren grandes arcos eléctricos.

Figura 17. Gráfica de corriente de corto circuito



Fuente: VAZQUEZ BOJORQUEZ, Víctor Javier. *Estudio comparativo de las normas IEC y ANSI para cálculo de corto circuito*. <https://www.semanticscholar.org/paper/ESTUDIO-COMPARATIVO-DE-LAS-NORMAS-IEC-Y-ANSI-PARA-Bojorquez-Javier/074daeb7dd6596dd15ffc25cda4e3bf894397b63>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

Las fallas de corto circuito, a su vez se pueden diferenciar entre dos tipos según sea el comportamiento de la onda durante la falla, ya sea si los valores pico son simétricos o no, los tipos de falla de corto circuito pueden ser de falla simétrica o de falla asimétrica.

2.3.1.1. Fallas simétricas

La falla interfiere con el flujo normal de corriente. La alta tensión entre un conductor y la torre aterrizada que lo sostiene origina la ionización que provee de una trayectoria a tierra, luego la baja impedancia a tierra permite el flujo de corriente desde el conductor a tierra, y de la tierra al neutro de un transformador o generador y así se completa el corto circuito.

Las fallas líneas – línea son menos comunes. La apertura de un interruptor permite la desionización, necesita al menos 20 ciclos para desionizarse. Cuando se permite la reconexión, se trata de una falla permanente, son causadas por líneas que caen a tierra, por rotura de aisladores, daños a las torres y falla de pararrayos. Aproximadamente el 5 % de las fallas afectan las tres fases, a estas se les conoce como fallas simétricas. Se realizan los análisis de falla para determinar los valores de los relevadores, y tomar en cuenta los valores de arco cuando se cierra, y valores mientras está abierto. Las fallas simétricas son también conocidas por ser las más dañinas para el sistema eléctrico.

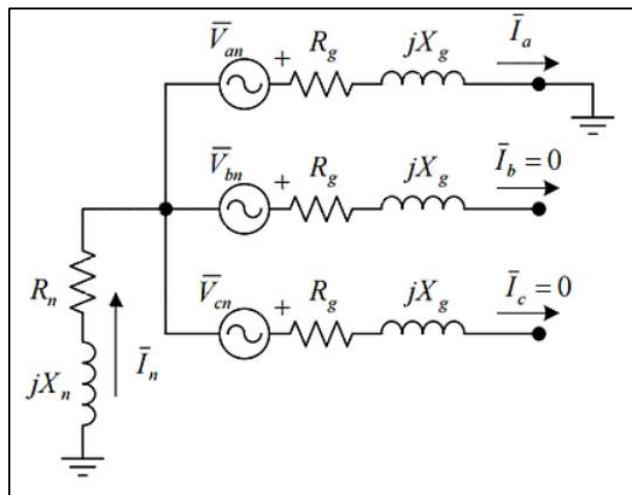
2.3.1.2. Fallas asimétricas

Las fallas asimétricas involucran una o dos fases, lo que provoca que las 3 fases se desequilibren. Este tipo de falla puede ocurrir entre la relación de línea

tierra o entre líneas, además de ser conocidas por ser más frecuentes que las fallas simétricas.

- Fallas monofásicas: este tipo de falla se define como la interacción directa entre una línea y la referencia de tierra y es el tipo más común entre las fallas asimétricas. Las fallas monofásicas provocan que por ella circule la corriente de cortocircuito monofásica, mientras que, en las otras fases, se preserva la condición de vacío, es decir, su valor es igual a cero. Por otra parte, si la falla se considera por contacto directo, es decir sin la existencia de impedancia de arco, la tensión de la fase a, esta al mismo valor de tierra; mientras que las otras fases adquirirán valores diferentes, desequilibrando así el sistema completo.

Figura 18. **Circuito equivalente de una falla bifásica**

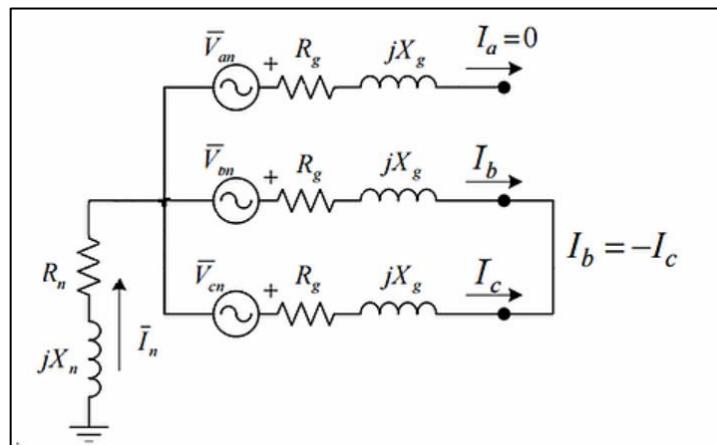


Fuente: ARIZA GONZÁLEZ. Laura Viviana. *Sistema de potencia*.

<https://electricaing.wixsite.com/sistemas-de-potencia/blank-ltfnq>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

- Fallas bifásicas: las fallas bifásicas involucran dos líneas de la misma secuencia que son unidas directamente o por medio de una impedancia. Este tipo de falla provoca que por las fases circule la corriente de cortocircuito bifásica, mientras que en la fase que no se ve involucrada en el cortocircuito, la corriente es nula. Por otra parte, si la falla carece de impedancia de arco, la tensión de la fase b, esta al mismo valor de tierra que la fase c, pero de valor opuesto.

Figura 19. **Círcuito equivalente de una falla monofásica**



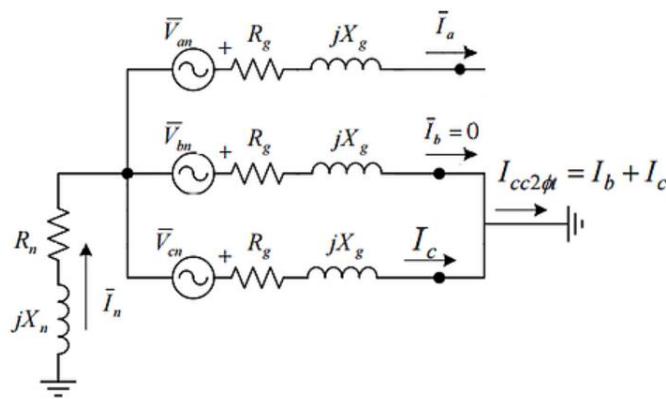
Fuente: ARIZA GONZÁLEZ. Laura Viviana. *Sistema de potencia*.

<https://electricaing.wixsite.com/sistemas-de-potencia/blank-Itfnq>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

- Fallas bifásicas – tierra: este tipo de falla es el resultado de cuando dos fases tienen en común una impedancia que descarga en tierra, esto provoca que por las fases afectadas circule la corriente de cortocircuito bifásica a tierra, mientras que, en la otra fase, se preserva la condición de vacío. Por otra parte, si la falla se considera por contacto directo, la

tensión de las fases involucradas en el cortocircuito tiene el mismo valor de voltaje que la tierra donde se descarga la falla, es decir cero.

Figura 20. **Circuito equivalente de una falla bifásica – tierra**



Fuente: ARIZA GONZÁLEZ. Laura Viviana. *Sistema de potencia*.

<https://electricaing.wixsite.com/sistemas-de-potencia/blank-Itfnq>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

2.3.2. Falla por fase abierta

Las fallas por fase abierta son el producto de tener una o más fases o circuitos abiertos, originados por la interrupción del paso de energía eléctrica sin tener contacto simultáneo con otras fases o tierra. Al no haber una conducción de energía, en los conductores no se generan corrientes elevadas, pero sí un fuerte calentamiento que puede ser perjudicial para los equipos.

Los efectos provocados por la falla de fase abierta no se toman en cuenta cuando existe la desconexión de las tres fases, dado que se asume una interrupción completa, por lo tanto, no existe alguna fase que reciba el impacto

de la ausencia del resto. Este tipo de falla implica una asimetría en las impedancias del sistema.

Para el análisis de resolución de este problema, se aplican mallas de secuencia, independientes y sin impedancias mutuas. El fenómeno que sigue a la aparición de la falla es transitorio, donde las corrientes máximas se producen en el instante inicial.

El mismo efecto ocurre cuando se produce la conexión de una impedancia anormal en alguna de las fases, dejando a dicha fase en desequilibrio a comparación del resto de las fases del sistema. Se puede tener el caso en que el mismo cortocircuito provoca que se realice una desconexión, originado por la acción de los interruptores que protegen el tramo de línea de transmisión. De modo que dichas fallas pueden ser distintas las causas y sus efectos en las líneas de transmisión, estas se pueden clasificar según la cantidad de fases abiertas en la desconexión.

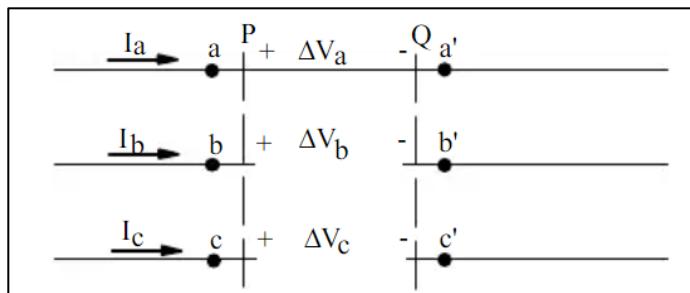
- Una fase abierta

Como su nombre lo indica, este tipo de falla se da cuando se tiene solo una de las tres fases en desconexión. Esta falla es conocida por ser originada comúnmente por elementos de apertura que controlan individualmente cada fase, ya sea interruptores o fusibles. Puede producirse también al cortarse un conductor y quedar suspendido de forma que no entre en contacto con alguna otra fase o la tierra que lo referencia.

- Dos fases abiertas

En el caso de la falla de dos fases abiertas, se encuentran dos conductores en desconexión a comparación del resto del sistema. Este tipo de falla es menos común que la falla de una fase abierta.

Figura 21. **Representación esquemática de una falla de dos fases abiertas**



Fuente: MARTÍNEZ, Edwin. *Estudio y análisis de fallas*.

https://www.academia.edu/4948348/7_CALCULO_DE_FALLAS. Consulta: 02 de marzo de 2021.

- Componentes simétricas

Las componentes simétricas son una herramienta para tratar con circuitos polifásicos desbalanceados. Esto prueba que un sistema desbalanceado de n fasores relacionados, se puede resolver con n sistemas de fasores desbalanceados llamados componentes simétricas. Los conjuntos balanceados son:

- Secuencia Positiva: 3 fasores desplazados 120 grados uno del otro y la misma secuencia de fase que los fasores originales.

- Secuencia Negativa: 3 fasores desplazados 120 grados uno del otro, pero con secuencia de fase opuesta de los fasores originales.
- Secuencia Cero: 3 fasores desplazados 0 grados entre ellos.

De modo que se pueda demostrar que:

$$Vb_1 = a^2Va_1 ; Vb_2 = aVa_2$$

$$Vc_1 = a^2Va_1 ; Vc_2 = aVa_2$$

Por ende:

$$Va_0 = \frac{1}{3} (Va + Vb + Vc)$$

$$Va_1 = \frac{1}{3} (Va + aVb + a^2Vc)$$

$$Va_2 = \frac{1}{3} (Va + a^2Vb + aVc)$$

Donde:

Las literales a, b y c representan las diferentes fases en una línea trifásica
 Los subíndices 0, 1 y 2 representan las diferentes secuencias positivas, negativas y cero.

2.4. Mantenimiento de líneas de transmisión

El mantenimiento es la actividad desempeñada para confirmar o restaurar la integridad y funcionamiento correcto del equipo activo. Para el caso del sistema de transporte de energía eléctrica hace referencia a las líneas de transmisión, torres de transmisión y la capacidad de transportar con calidad y seguridad la energía eléctrica.

El mantenimiento efectuado correctamente permite prolongar la vida útil de los equipos en cuestión y permite también obtener un mejor rendimiento durante más tiempo y reducir el número de fallas. Uno de los objetivos del mantenimiento es la realización del mismo con técnicas que permitan reducir el tiempo en que se ejecuta el mantenimiento, dado que para efectuar alguno de ellos, es necesario desenergizar y desconectar la línea de transmisión, y así obtener la menor indisponibilidad del servicio posible. Existen diferentes tipos de mantenimiento, para saber conocer cuál de ellos se debe tener en cuenta para las necesidades que desean cubrirse o según sea la acción que se busca restaurar o prevenir.

2.4.1. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento, como su nombre lo indica, busca predecir la falla antes de que esta suceda. Basándose en técnicas y herramientas para un monitoreo y control periódico de los parámetros físicos que pueden ser medidos, permitiendo así el período máximo de utilización del equipo antes de ser intercambiado. Entre las técnicas aplicadas para realizar un mantenimiento predictivo se encuentran:

2.4.1.1. Inspección visual

A pesar de ser un método bastante sencillo, la técnica de inspección visual puede indicar muchas características si se toma a consideración los múltiples requisitos que debe de tener cada torre de transmisión.

La inspección visual se ha adaptado según las circunstancias y la capacidad humana, dado que dichas inspecciones se han realizado de manera

pedestre cuando se puede visualizar correctamente los parámetros a medir y son permisibles al ojo humano o con ayuda de algún equipo que permita la mejora o modificación del mismo, de caso contrario, se utilizan drones o helicópteros para tener un mayor alcance longitudinal y una mejor visualización de los parámetros desde un punto de referencia diferente, realizando así una inspección visual de manera aérea. La técnica de inspección visual se basa en objetivos a calificar mientras se observa el equipo en cuestión, entre los más representativos en torres de transmisión se puede mencionar:

- Verificar el estado físico del conductor con relación a hilos rotos y altas corrosiones, especialmente en zonas de empalmes o uniones y la comprobación de la distancia desde el conductor al suelo y a edificios.
- Verificar el estado físico del hilo de guarda con relación a deformaciones del trenzado o rotura de hilos en zonas de empalmes o uniones y colocación correcta del hilo de guarda en caso se encuentre fuera de lugar o se encuentre con el ángulo incorrecto, mayor a 25 grados.
- Comprobar la existencia, estado físico, corrosión, oxidación y flojedad de la varilla aterrizada a tierra, así como la profundidad a la que se encuentra la misma. De ser posible es recomendable también realizar la medición de la resistencia, tomando como referencia un valor menor de 10 ohmios para que esta funcione correctamente.
- Comprobar el posible acceso a la estructura que sea carente de malezas u objetos que entorpezcan o presenten algún peligro para el personal o al equipo mismo. Buscar en el cuerpo de la estructura presencia de oxidación, pérdida de galvanizado, dobladuras, ausencia de desplomes

de un ángulo mayor a 20 grados con respecto a la vertical, o cualquier otro elemento que pueda reducir sus propiedades mecánicas.

- Evidenciar el grado de contaminación de los aisladores, analizando su comportamiento en condiciones de humedad o que presente flameos. De igual manera se debe verificar el estado físico del mismo, teniendo como referencia la ausencia de dobleces, roturas o corrosión.
- Evidenciar el grado de corrosión, oxidación, pérdida de galvanizado, flojedad o dobladura en los herrajes de las torres de transmisión.

2.4.1.2. Termografía

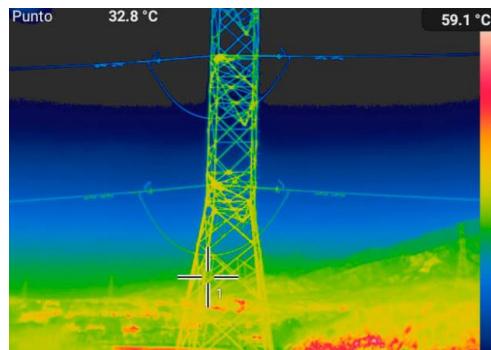
Las inspecciones termográficas son realizadas por un equipo de termografías, este permite conocer la temperatura a la que se encuentra algún dispositivo sin necesidad de algún tipo de contacto con el mismo. Los aparatos especializados en termografías utilizan como método el análisis del nivel de radiación dentro del espectro infrarrojo, este puede variar según el área geográfica en donde se encuentre instalado el equipo a analizar, y se recomienda realizar la inspección con la consideración del aumento de temperatura relativo al ambiente.

Dichos análisis se realizan para predecir la presencia de las fallas electromecánicas, dado que este tipo de fallas comúnmente se manifiesta previamente como una elevación de temperatura y por tanto un aumento de su resistencia óhmica.

Las causas más comunes para el alza relativa de la temperatura, son las conexiones flojas, conexiones afectadas por corrosión y degradación de los

materiales aislantes, entre otros. Siendo así los puntos más críticos para el incremento de temperatura los conductores de fase, los empalmes y aisladores.

Figura 22. Análisis por termografía a una torre de transmisión



Fuente: MADRILES, Luis. *Termografía realizada con drone a una torre de alta tensión*.
<http://www.sectorelectricidad.com/25916/termografia-realizada-con-drone-a-una-torre-de-alta-tension/>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

2.4.2. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento basa sus acciones en métodos estadísticos para determinar una calendarización o límite de trabajo al que un equipo debe estar sometido, realizando inspecciones, revisiones y sustitución de piezas periódicamente. Este proceso se rige en decisiones teóricas, sin saber el estado en el que se encuentra el equipo designado. Dando como resultado numerosos paros de operación, con el beneficio de evitar o anticipar un posible fallo.

Para realizar el procedimiento de un mantenimiento preventivo en estructuras de torres de transmisión, es necesario solicitar y verificar la desenergización de la línea a trabajar, la misma es efectuada por el centro de mando. Se procede a realizar una puesta a tierra por la seguridad del personal

y asegurarse de contar con el equipo necesario para proteger al mismo, para luego proceder a realizar el trabajo deseado. Luego de haber completado el mantenimiento planeado, se retira la puesta a tierra y se puede volver a energizar la línea.

Parte del mantenimiento preventivo en torres de transmisión también implica la tala de árboles y maleza debajo del área del conductor que pueda afectar a las mismas estructuras, o las ramas de los mismos árboles y maleza que puedan estar en contacto con alguna de las fases de las líneas de transmisión, estas presentan quemaduras o diferente coloración dependiendo de qué tanto contacto han tenido con algún conductor. Tomando como consideración así el llevar un control en el manejo de la vegetación de forma constante.

2.4.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo corrige, repara o sustituye un equipo que demuestra la necesidad de reemplazo o una baja en su rendimiento en comparación a su función inicial. El realizar este tipo de mantenimiento, a la espera de la presencia de una falla, suele implicar indisponibilidad forzada en el equipo o bajo rendimiento de los resultados esperados.

El mantenimiento correctivo se puede realizar de dos maneras, como mantenimiento de arreglo o mantenimiento definitivo. El primero permite tener una reparación temporal, aunque no quede completamente en estado óptimo de funcionamiento con la finalidad de restablecer el servicio o trabajo en el menor tiempo posible, a pesar de no cumplir con los objetivos trazados. Mientras que el mantenimiento definitivo, como su nombre lo indica, realiza su trabajo de forma final, sin importar el tiempo que este conlleve.

2.4.3.1. Reparación de conductor de fase

Dependiendo del estado del conductor dañado, se puede recurrir a dos acciones diferentes como lo son la reparación del conductor ya sea si se utiliza blindaje y la utilización de varillas para corregir una falla no severa y que permita reforzar la condición del conductor o la sustitución del mismo. La falla puede distinguirse dependiendo de la cercanía que haya tenido a una estructura. Siendo este el caso en un daño severo al conductor, en el que se utiliza una camisa de compresión, cuya función es brindar soporte de sobretensiones y esfuerzos mecánicos a un conductor o fase que se encuentre lejos de la torre de transmisión que lo transporte.

Diferente es el caso en que la falla severa del conductor se presenta en las cercanías de la torre de transmisión, siendo poco el espacio que no permite la maniobra o instalación de camisas de compresión, por lo que es necesario el cambio del tramo completo, este se realiza en la estructura de remate, debiendo hacer la debida desconexión del conductor junto a sus aisladores y herrajes.

2.4.3.2. Sustitución de torres de transmisión

El cambio de torres de transmisión implica que se ha dañado la estructura significativamente y no puede ser arreglada en el lugar donde se realizó el montaje de la misma, para tal operación, existen dos métodos de sustitución. Uno de ellos consiste en descender en su totalidad los conductores de fase, que se lleva a cabo en estructuras de remate, y cuando estas son capaces de soportar los esfuerzos mecánicos. Este procedimiento debe de iniciarse con la fase central de la estructura, y realizarse de la misma manera con las dos fases restantes. Al realizar este procedimiento con el hilo de guarda, es probable que

este conductor no alcance el nivel del suelo, y deberá realizarse el resto del mantenimiento con el conductor de guarda suspendido.

En caso contrario, el segundo método sugiere que los conductores de fase quedan suspendidos y en situaciones cuando las estructuras a cambiar no son capaces de soportar los esfuerzos mecánicos. La suspensión de las fases se realiza con la ayuda de micas y tensores, colocados en cada unión de la fase con la estructura y que, a su vez, se unen por medio de los ganchos de las propias micas.

2.5. Distancia mínima

Con la finalidad de resguardar la seguridad del personal y los ambientes que rodean las estructuras de alto voltaje, se han definido las distancias mínimas en que un operador debe realizar su trabajo y las distancias a las que otras estructuras deben permanecer alejados de las torres de transmisión, para evitar arcos eléctricos.

Cuando un trabajador está accediendo a la fase energizada, entre la ubicación de los trabajadores, y cualquier parte del equipo a tierra, debe ser mayor o igual a la distancia eléctrica mínima de aproximación. Si la estructura no tiene las distancias mínimas totales requeridas, la línea debe ser trabajada desenergizada. Las escaleras aisladas deben estar aseguradas y posicionadas para proporcionar la distancia mínima de fase a tierra especificada, más una distancia adicional que dé seguridad y comodidad al liniero.

Tabla I. **Distancia mínima de trabajo**

Tensión nominal del sistema (fase - fase)	Límite de aproximación seguro (m)		Incluye movimientos involuntarios	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
51 V - 300 V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V - 750 V	3,00	1,10	0,30	0,025
751 V - 15 kV	3,00	1,50	0,66	0,18
15,1 kV - 36 kV	3,00	1,80	0,78	0,25
36,1 kV - 46 kV	3,00	2,44	0,84	0,43
46,1 kV - 72,5 kV	3,00	2,44	0,96	0,63
72,6 kV - 121 kV	3,25	2,44	1,00	0,81
138 kV - 145 kV	3,35	3,00	1,09	0,94
161 kV - 169 kV	3,56	3,56	1,22	1,07
230 kV - 242 kV	3,96	3,96	1,60	1,45
345 kV - 362 kV	4,70	4,70	2,60	2,44
500 kV - 550 kV	5,80	5,80	3,43	3,28

Fuente: PRE COM. *Procedimiento trabajo con electricidad*. <https://docplayer.es/14250450-Procedimiento-trabajo-con-electricidad.html>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

Tabla II. **Distancias a líneas eléctricas**

Descripción	Tensión nominal entre fases (KV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular.	5000	11.5
	230/2220	8.5
	115/110	6.1
	66/57.5	5.8
	44/34.5/33	5.6
	13.8/11.4/7.6	5.6
	<1	5
Cruce de líneas aéreas en grandes avenidas	<1	5.6

Continuación de la tabla II.

Distancia mínima al suelo desde líneas que recorren avenidas, carreteras y calles.	500	11.5
	230/220	8
	115/110	6.1
	66/57.5	5.8
	44/34.5/33	5.6
	13.8/13.2/11.4/7.6	5.6
	<1	5
	500	8.6
Distancia mínima al suelo en bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc.	230/220	6.8
	115/110	6.1
	66/57.5	5.8
	44/34.5/33	5.6
	13.8/13.2/11.4/7.6	5.6
	<1	5
	500	11.1
	230/220	9.3
Distancia mínima al suelo en cruces con ferrocarriles sin electrificar.	66/57.5	8.3
	44/34.5/33	8.1
	13.8/13.2/11.4/7.6	8.1
	<1	7.5
	500	4.8
	230/220	3
Distancia vertical en cruce con ferrocarriles electrificados, teleféricos y tranvías.	115/110	2.3
	66/57.5	2
	44/34.5/33	1.8
	13.8/13.2/11.4/7.6	1.8
	230/220	11.3
	115/110	10.6
	66/57.5	10.4
	44/34.5/33	10.2
	13.8/13.2/11.4/7.6	10.2

Fuente: MESTRE, Joseph. *Distancias a líneas eléctricas*. p. 16.

3. UTILIZACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA

3.1. Torres de transmisión de emergencia

Las torres de transmisión de emergencia son un tipo de torre de transmisión, ya sea de remate o de suspensión, fabricados principalmente de aluminio. Estas tienen la capacidad de ser levantadas de forma provisoria o permanente en un tiempo corto, además de necesitar poco personal en comparación al montaje y levantamiento de una torre de transmisión convencional. Siéndole posible adaptarse a diversas situaciones, así como conexiones, tiene como objetivo realizar la sustitución o apoyo de otra línea de transmisión fija.

Entre sus principales funciones se puede mencionar reducir el impacto económico debido a mantenimiento o fallas que intervengan en la continuidad del servicio, así también como incrementar el alcance de la energía eléctrica en lugares donde se tiene poco acceso debido a inclemencias geográficas.

El tipo de construcción de dichas torres se basa en un sistema modular, que permite el uso de diferentes componentes para el diseño o planteamiento de diferentes soluciones que se adecúen a la necesidad. Tomando a consideración su uso en líneas de 69 KV hasta 1 200 KV, siendo así que pueda alcanzar una altura de hasta 125 metros, y ser capaz de soportar de 1 a 6 conductores por fase.

Figura 23. **Torre de transmisión de emergencia**



Fuente: RTHO. *Torres auxiliares para emergencias*. <https://www.rtho.com/linea-de-productos/2-lltt/08-equipos-de-tendido-y-accesorios/2-equipos-y-estructuras-de-aleacion-de-aluminio/torres-auxiliares-para-emergencias/>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

Como se ha mencionado uno de los criterios que se toman a consideración para la instalación en la reducción de costos que puedan surgir en el mantenimiento correctivo o preventivo de una torre de transmisión, y se debe realizar un análisis sobre el impacto económico, esto se logra con la herramienta del valor presente neto.

Este es un método financiero para evaluar proyectos de inversión y determinar si cumple con el objetivo financiero, permitiendo así la toma de decisiones económicas en función del tiempo, se evalúa con la ecuación:

$$VPN = \sum_{n=0}^{n=x} \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

n: Número de períodos

r: Tasa de descuento

C: Flujo efectivo neto durante un solo período

3.1.1. Sustitución de una torre de transmisión de emergencia

Partiendo de una falla, donde se ha dañado la estructura que sostiene a las líneas de transmisión, se pretende corregir la falla en el menor tiempo posible. Tales fallas son producto de inclemencias de la naturaleza o provocadas por el ser humano, por tanto, procede la realización de un mantenimiento.

Este tipo de soluciones son útiles en cuanto se necesita reducir costos para la construcción de una nueva torre de transmisión y tiempo para el estudio de suelos del lugar donde se precisa la nueva instalación. Es imperativo garantizar la continuidad de servicio para evitar las penalizaciones por la indisponibilidad no programada.

Las torres de transmisión de emergencia son útiles cuando es necesario realizar el mantenimiento correctivo a una línea, permitiendo el intercambio de partes como aisladores y herrajes, siendo posible realizar el montaje de este tipo de torres provisionales a los lados, con el fin de mover cables energizados, acortando los tiempos considerablemente, según sea el caso de realizar el mantenimiento con las fases tendidas en el aire.

3.1.2. Apoyo de una torre de transmisión de emergencia

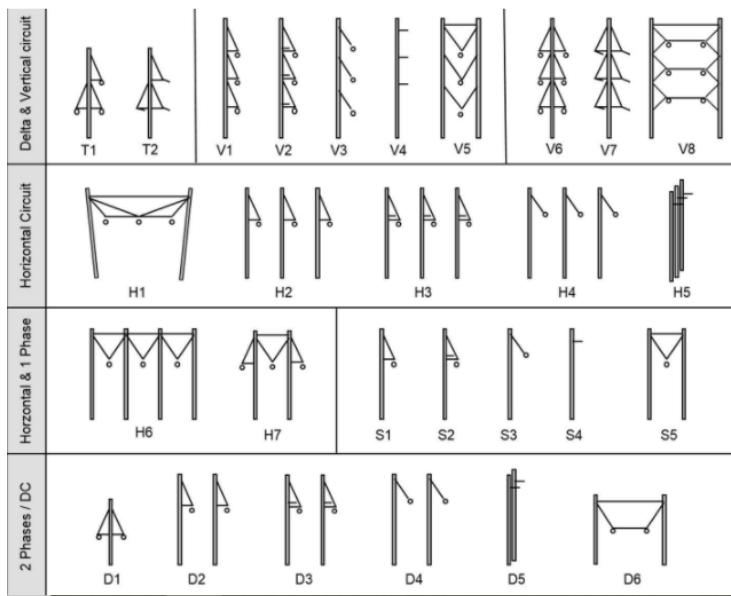
Las funciones de una torre de transmisión de emergencia también pueden partir de la ayuda que brinda al sistema eléctrico original, siendo posible mantener la continuidad de servicio mediante la construcción rápida de una línea de *bypass*.

El sistema *bypass* es un circuito que actúa como una ruta alternativa en sistemas eléctricos de alta disponibilidad o donde se debe evitar cualquier tipo de interrupción de servicio.

Este sistema permite tener una desconexión segura y un respaldo de energía en caso exista un fallo recurrente en algún tramo de una línea de transmisión, dejando como resultado un flujo de corriente permanente. Por otra parte, el sistema *bypass* es útil en situaciones donde es imperativo la realización de un mantenimiento, ya sea correctivo o preventivo, en el que se deba dejar la línea desenergizada o fuera de servicio.

Dado que este tipo de torres tienen la capacidad de ser instaladas en un plano inclinado de hasta 30 grados, en un suelo no tan firme o en una instalación en un cruce de río, este tipo de torres habilita la instalación y montajes de torres de transmisión a un punto con dificultades geográficas de manera permanente o temporal, en caso se necesite tiempo para construir una línea definitiva o en caso no se tenga acceso a un área restringida.

Figura 24. **Tipos de torres de transmisión**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/general-information-and-applications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.2. **Partes de una torre de transmisión de emergencia**

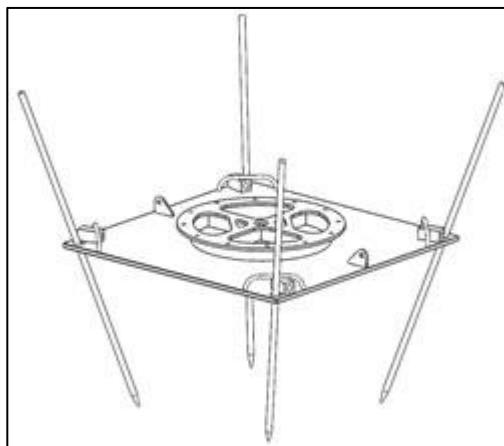
Dado que las torres de transmisión de emergencia emplean una función semejante a una torre de transmisión permanente, ya sea de remate o de suspensión, estas deben contar con las mismas partes para poder operar de la misma manera, cumpliendo así con los requerimientos mínimos como lo son los aisladores, herrajes e hilos de guarda entre otros.

Desde un punto de vista estructural lo que diferencia a las torres de emergencia son los componentes por los que las construyen, las mismas que permiten realizar un montaje e instalación veloz. Las torres de aluminio tienen cuatro componentes principales que son:

3.2.1. Base

Es la parte que sostiene a toda la estructura, encargado de distribuir el peso completo uniformemente al suelo. A este tipo de cimiento no hay necesidad de hacerle fundiciones, utiliza un sistema de fijación por medio de varillas ancladas a los extremos, lo cual permite realizar un montaje más rápido. A pesar de que se pueda hacer el montaje de la base casi en cualquier superficie, se requiere que la placa donde se erige la torre sea plana, y es necesario realizar un proceso que alise o aplane el suelo y evaluar si el mismo cuenta con la humedad mínima para una correcta cimentación.

Figura 25. **Base o placa de cimientos**



Fuente: Tower Solutions. *Componentes de la torre*. <http://towersolutions.ca/tower-components/>.

Consulta: 02 de marzo de 2021.

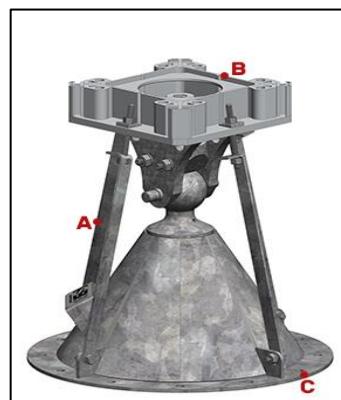
3.2.2. Articulación

Es el componente que consta de una placa la cual realiza la unión de un cono de acero y una bola de acero. Esta unión permite realizar un pivote en la

bola de acero con ello se consigue darle a la torre una inclinación de hasta 30° y así moverse en cualquier dirección según se necesite. Ambas partes necesitan tener una baja fricción para lograr un buen movimiento, además de ser fabricadas a partir de un acero galvanizado para evitar la corrosión.

La función de la articulación consiste en brindar una orientación completamente vertical a la torre cuando se tiene una superficie inclinada o imperfecciones en el terreno donde se va a realizar el montaje.

Figura 26. **Articulación**



Fuente: Tower Solutions. *Componentes de la torre*. <http://towersolutions.ca/tower-components/>.

Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.2.3. **Tramos**

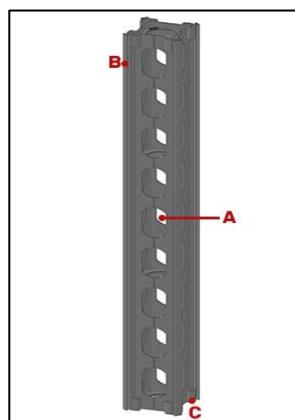
Esta parte es el cuerpo de las torres, y es construida a partir de una aleación de aluminio. Los tramos son el cuerpo de la torre, y existen desde una longitud de 2 hasta 3 metros, siendo la diferencia con el apoyo de extensiones de tramos, que son utilizados para dar una altura variable en las torres de

transmisión para poder adaptarse a cualquier función que fuesen a desempeñar.

Cada sección de la torre se fabrica como una sección transversal rectangular extruida, con aberturas espaciadas uniformemente en los cuatro lados, los cuales se unen por medio de pernos, y se unen por secciones. Los tramos tienen como función el acceso a pernos y otros componentes que puedan apoyar al funcionamiento de la torre.

Además de contar en cada esquina con un riel que se extiende a lo largo de toda la torre, este tiene como función el permitir un desplazamiento de extremo a extremo a las herramientas que se consideren necesarias para realizar las conexiones eléctricas en la torre.

Figura 27. **Tramos**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.2.4. Toma de vientos universal

Esta parte funciona como tensor de los vientos de acero, y tienen como función evitar que se desorienten las antenas y se pierda la señal debido a movimientos por fuertes rachas de viento, asimismo brinda un espacio para colocar los aisladores y cables de sujeción. Dicha parte proporciona libertad de movimiento para los aisladores. Esto iguala las cargas desequilibradas de los conductores longitudinales de los tramos adyacentes y permite la inclinación vertical del aislador del poste, el movimiento del conductor se amortigua y las fuerzas causadas por el movimiento del conductor no se transmiten a la torre.

3.2.5. Accesorios

Cada componente principal se subdivide en otras partes que conforman la estructura de la torre. Aparte de ellas, las torres de transmisión de emergencia cuentan con múltiples accesorios que permiten mejorar sus funciones o brindar mayor seguridad al personal.

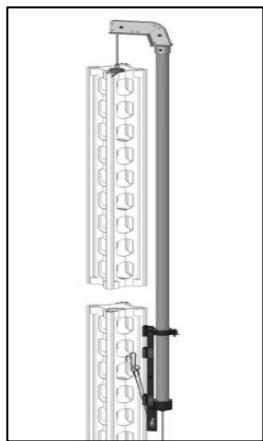
Entre ellos se encuentran:

3.2.5.1. Poste de montada

Este accesorio consta de un poste fabricado de una aleación de aluminio, que usa una polea en su extremo superior para levantar cargas, con ello se puede subir o bajar tramos de la torre, aisladores o herramientas necesarias según se necesiten. Se utiliza con el fin de no depender de una grúa u otro equipo de elevación mientras se realiza la instalación de la torre de transmisión de emergencia.

Este poste se conecta a cualquiera de los rieles que se encuentran en las 4 esquinas de los tramos de la torre.

Figura 28. **Poste de montada**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.2.5.2. **Plataformas de trabajo**

Comúnmente para escalar la torre de transmisión de emergencia, se utilizan los agujeros que se encuentran en los lados de los tramos. Las plataformas de trabajo son fabricadas de aluminio, se utilizan cuando se necesita llegar más lejos de la torre, se necesite hacer un trabajo en las alturas o ayuda en cuanto se trepa la torre.

Esto permite facilitar la instalación de los conductores, dándole soporte y seguridad a un operador. La hay de dos longitudes, las plataformas que tienen un largo de 2,5 metros o más, y los conocidos como escalón liniero, el cual solo

mide medio metro, dado que su principal utilidad es permitir que el operador tenga la capacidad de llevar uno en su cinturón.

Figura 29. **Plataforma de trabajo**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.2.5.3. **Palanca pivotante**

La palanca pivotante es un dispositivo, que como su nombre lo indica, aplica el principio de momento o palanca para elevar la columna de la torre de transmisión desde una posición horizontal a la vertical.

Este accesorio se conecta en el componente principal de la articulación como punto de apoyo para su funcionamiento. Utilizado comúnmente para torres de poca altura, ya que para los casos en que la torre es muy alta, es preferible utilizar el método de montaje por un helicóptero.

Una vez la torre se encuentra en posición vertical, la torre se estabiliza con un cable de sujeción conectado a los anclajes.

Figura 30. **Palanca pivotante**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

3.3. Instalación de torres de transmisión de emergencia

De igual manera, como se realizaría cualquier mantenimiento, es necesario realizar un análisis e identificar el causante del fallo anterior para no cometer la misma falla nuevamente, aparte de limpiar el área de maleza o restos de la antigua torre de transmisión, para tener suficiente espacio de trabajo.

De igual manera se debe hacer un estudio del suelo sobre el lugar donde se planea realizar la instalación de la nueva torre y asegurarse que la base permanezca sobre una superficie plana y con una inclinación no mayor a 30 grados. Además de tener lugar suficiente donde se pueda enterrar el anclaje que sujetla la torre.

Para la instalación de las torres de transmisión de emergencia existen diversos métodos, se emplea cada uno dependiendo de los recursos económicos, de tiempo y personal con los que se cuenta para la operación.

3.3.1. Método de poste de montada y palanca pivotante

Para emplear este método se requiere tener previamente la base anclada a la superficie donde se va a llevar a cabo la instalación de la torre de transmisión de emergencia y ensamblado el primer tramo junto con la articulación y la base. La unión de estas piezas se realiza de manera horizontal para luego ser apoyado por la palanca pivotante y erguir la torre. Se procede a instalar el poste de montada a la parte más elevada del primer tramo de la torre, donde dicho poste se encarga de elevar, desde el suelo, un nuevo tramo para conectarlo con el original por medio de pernos.

Para que luego el poste de montada pueda volver a ser colocado en la parte superior del nuevo tramo colocado en la torre. Dicho procedimiento se repite hasta alcanzar la altura deseada. Este método necesita de un motor que controle la polea que se encargara de soportar el peso de los tramos y elevarlos al punto necesario. Este método permite tener una gran precisión y seguridad para el personal.

3.3.2. Método por grúa

Este método es utilizado cuando se necesita realizar el montaje en poco tiempo, dado que la utilización de la grúa simplifica el trabajo del ensamblaje. Para la realización de este, es necesario tener instalada previamente la base con su respectiva articulación. Las grúas son las encargadas de realizar las conexiones pertinentes, necesitando así 2 grúas tanto para alzar la torre como

para realizar la conexión de los tramos. Una de las desventajas de este método es la necesidad de un equipo ajeno a la instalación de torres de transmisión de emergencia, y que las grúas necesitan demasiado espacio para tener acceso al área de trabajo, así como espacio para realizar las maniobras pertinentes.

3.3.3. Método por helicóptero

Este método es utilizado para áreas inaccesibles para otro tipo de transporte, con la salvedad que también se tenga disponibilidad de movilizarse sin ningún obstáculo aéreo. Además de ser encargado de llevar el material al sitio, el helicóptero también es responsable de realizar la instalación de las piezas o ya sea que se tenga la estructura previamente armada con la altura previamente diseñada para que luego el helicóptero transporte la torre para ser incorporada y montada con la base y la articulación ya instalada.

Para realizar dicha operación se necesita de gran precisión, y se requiere una herramienta de centrado de helicópteros. Esta herramienta se sujet a la parte superior de la torre para tener un mejor control de la columna de aluminio.

Figura 31. **Helicóptero transportando una torre de transmisión de emergencia**



Fuente: SBB. *Emergency towers manufacturer*. <https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

4. PROPUESTA DEL PROTOCOLO PARA LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA

4.1. Herramientas para trabajos en líneas energizadas

Cuando se plantea la incorporación de sistemas de transmisión eléctrica dentro de un proyecto, es de suma importancia identificar y conocer las herramientas necesarias para realizar las labores y maniobras, trabajando en caliente, con líneas energizadas: de forma que se cubran las expectativas funcionales y en materia de seguridad para alcanzar las metas propuestas.

En este sentido, a nivel mundial existe una normalización sobre las características de cada una de las herramientas utilizadas en las maniobras cuando se trabaja en líneas energizadas de mediana y alta tensión eléctrica. Según National Electrical Code de 2020, durante la realización de un trabajo en sistemas eléctricos energizados deben considerarse los siguientes elementos básicos que permiten realizar de forma apropiada las acciones, reduciendo los riesgos inherentes y proporcionando la satisfacción intrínseca de los actos.

- Cubiertas para conductores
- Cubiertas para cortacircuitos
- Cubiertas para crucetas
- Cubiertas para remates
- Cruceta auxiliar dual
- Cubiertas flexibles para conductores con borde extendido
- Brazo de extensión para cruceta
- Cubiertas flexibles para conductores

- Guantes aislantes para linieros
- Manga recta
- Manga acampanada
- Manga con contorno
- Mangas aislantes para linieros
- Plataformas aisladas
- Cubiertas para aisladores
- Cubiertas para postes
- Cubiertas en espiral para conductores
- Montacargas de banda de nylon
- Sogas y poleas para sogas
- Cruceta auxiliar para instalarse con guantes aislantes
- Mantas de caucho y broches
- Tubos de almacenamiento
- Soportes temporales para conductores

Figura 32. Herramientas para maniobras en líneas energizadas



Fuente: CHANCE. *Herramientas especiales para linieros*.

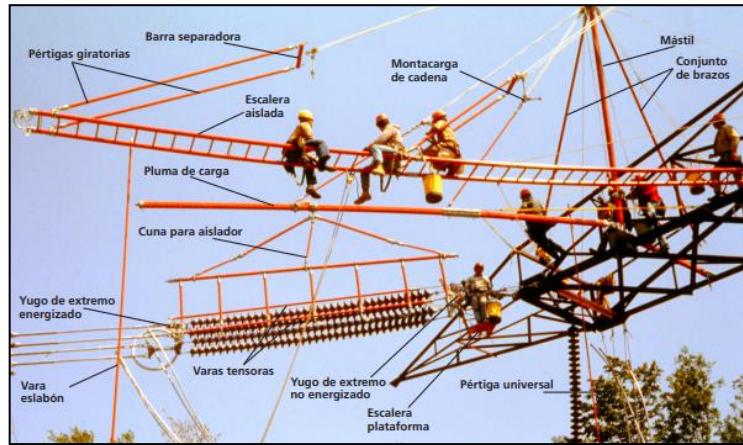
<http://www.tradinter.net/ToolsLineCardChance.pdf>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

De forma generalizada, a continuación, se mencionan las diferentes herramientas y equipos empleados durante las maniobras en líneas eléctricas energizadas.

- Varas tensoras ajustables
- Indicador de voltaje auto rango (ARVI)
- Pértigas soporte de pluma
- Montacargas tipo malacate y de cadena con trinquete
- Plumas de carga
- Trajes y botas conductivos
- Probadores de aisladores energizados
- Escaleras

- Varas tensoras
- Guardamanos
- Montaje de gancho ajustable
- Cunas para aisladores
- Juegos monitor de escaleras
- Monitores de corriente de fuga
- Amperímetro para líneas y buses
- Conjunto mástil y brazos
- Probadores de fases
- Escaleras plataforma
- Sogas y poleas para sogas
- Barra separadora
- Juego de tierra para estática
- Varas eslabón de tensión, eslabón espiral y de rodillo
- Yugos para estructuras
- Herramienta levantadora de aisladores de suspensión
- Pértigas de eslabón de suspensión
- Yugos de suspensión
- Plumas giratorias
- Pértigas giratorias
- Remolques para herramientas
- Mástil para torre
- Pértiga de trole
- Gatos tensores/muñones
- Soportes de tensión de dos varas
- Pértigas universales y más de 50 accesorios de acople universal
- Probador de pértigas en seco y húmedo
- Pértigas soporte de conductor

Figura 33. **Herramientas y equipos para maniobras en líneas energizadas**



Fuente: CHANCE. *Herramientas especiales para linieros*.

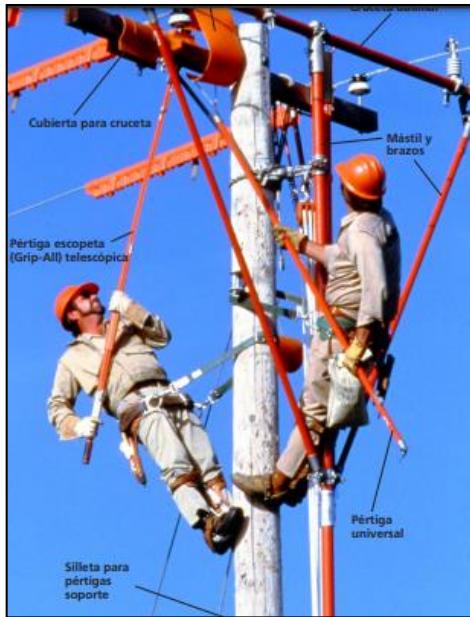
<http://www.tradinter.net/ToolsLineCardChance.pdf>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

Por otro lado, cuando se trabaja utilizando pértigas, se considera necesario implementar las siguientes herramientas y equipos al trabajar en líneas eléctricas energizadas.

- Llave dentada multi-ángulo
- Indicador de voltaje auto-rango (ARVI)
- Cruceta auxiliar, mástil y brazos
- Puentes de desvío
- Cortadoras de cables, conductores y alambre
- Montacargas tipo malacate y de banda de nylon
- Cubiertas rígidas / Cubiertas flexibles para conductores
- Pértigas desconectadores
- Herramientas extractoras de conectores tipo codo
- Probadores de aisladores energizados

- Pértigas escopeta (Grip-All)
- Grapas, cables y puentes aislados
- Amperímetro para líneas y buses
- Herramienta para captación de cargas
- Probadores de fases
- Sogas y poleas para sogas
- Escudo para pértigas
- Pértigas telescópicas
- Herramientas de corte temporal
- Herramientas seccionadoras de carga temporal
- Pértiga tensora con seccionamiento
- Pértigas para amarres
- Remolques para herramientas
- Mástiles para transformadores
- Podadores de árboles
- Accesorios para camión
- Pértigas universales y más de 50 accesorios de acople universal
- Probador de pértigas en seco y húmedo
- Pértigas para sujetar conductores
- Pértigas soporte de conductor, horquillas y sillet

Figura 34. **Herramientas y equipos para maniobras con pértigas en líneas energizadas**



Fuente: CHANCE. *Herramientas especiales para lineros*.

<http://www.tradinter.net/ToolsLineCardChance.pdf>. Consulta: 02 de marzo de 2021.

4.2. **Equipo de prueba**

En el caso de este apartado, cuando se realizan maniobras en líneas energizadas se debe contar con equipos específicos que permitan monitorear los niveles fluctuantes de energía eléctrica que circulan a través del circuito correspondiente. En este sentido, los equipos de prueba vienen a constituir instrumento de medición de los niveles de alta tensión y puesta a tierra para garantizar la seguridad al realizar la labor. Entre los equipos necesarios para ejecutar labores de maniobras en líneas energizadas se encuentran:

- Amperímetros, para alta tensión (por lo general los niveles de corriente en alta tensión oscilan entre los 3 a 5 Amperios).
- Voltímetros, para alta tensión (para medir valores permisibles en kilovoltios).
- Mega ohmímetros, para medir el nivel de aislamiento eléctrico de los componentes en millones de Ohmios.

4.3. Equipo de protección personal

El empleo de la energía eléctrica se ha convertido en algo cotidiano a lo largo del tiempo; dado que infiere ventajas representativas dentro del espacio donde se desenvuelven acciones que buscan satisfacer una necesidad específica tanto en la vida doméstica como en la comercial y en la industrial. En este sentido, para canalizar de manera efectiva la electricidad se debe considerar la reducción de los riesgos inherentes a su manipulación.

Es por esta razón que a nivel general se establecen normativas que vienen a garantizar la protección y seguridad integral de aquellas personas que bajo estricto conocimiento técnico se disponen a realizar labores en contacto directo o indirecto con dispositivos que utilizan la energía eléctrica. En vista de todo esto, a continuación, se perfilan cuáles son los elementos de protección personal que deben utilizarse al momento de manipular redes eléctricas energizadas, para así minimizar los efectos nocivos y destructivos de un accidente que dicha energía puede causar en el cuerpo del trabajador.

Ahora bien, según lo valorado por la Fundación Iberoamericana de Seguridad Y Salud Ocupacional (FISO), los riesgos potenciales que involucra la

utilización de la electricidad de forma controlada imponen la necesidad tácita de involucrar acciones preventivas directas con la finalidad de minimizar los efectos, que, por causa de accidentes no deseados, afectan significativamente la salud integral del trabajador. Para alcanzar dicha meta, es importante mantener las siguientes medidas de prevención básicas:

- Personal

El personal electricista (técnico o especialista), requiere mantener una condición física y psíco-mental aprobadas según las normativas estandarizadas en materia de ejecución en caliente (energizado), así mismo deben canalizar aptitudes intrínsecas por medio de la capacitación constante y consecuente dentro de su labor específica y en el ámbito de la prevención de riesgos potenciales.

- Normalización

Es necesario que exista una legislación propia dentro de cada entidad federal o estado que regularice las directrices para garantizar que el diseño y proyección de la instalación eléctrica cumplan con las normas internacionales en materia de infraestructura específica para el sector eléctrico. Se debe mantener procedimientos certificados para capacitar al personal que labora dentro del sector eléctrico, en función de velar por su seguridad integral y la consecución de una labor bien realizada.

- Instalaciones y equipos

Es necesario que se cuente con un adecuado suministro de herramientas, materiales o elementos apropiados para cada una de las tareas en específico

que se pudiesen llevar a término dentro de las instalaciones. Es fundamental que se mantengan los equipos (instrumentos de medición y dispositivos especiales), para poder realizar de manera segura las labores cuando se realizan acciones que involucra estar en contacto directo con redes eléctricas energizadas.

- Mantenimiento

Es indispensable desarrollar y hacer cumplir las labores de mantenimiento de las instalaciones y equipos eléctricos para garantizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad dentro del espectro operativo de los mismos. Por esta razón, es fundamental establecer un patrón de inspección periódica de dichos sistemas mediante un programa coordinado y así poder subsanar las posibles dificultades que se presentan durante los lapsos operativos sin prescindir del servicio.

- Autorización y supervisión

Toda labor, dentro del espectro eléctrico, debe disponer de su documentación correspondiente donde se detalle de forma específica las acciones a desarrollar, el tiempo necesario para ejecutar el trabajo, la identificación del personal involucrado y demás temas conexos. Asimismo, debe disponerse de personal supervisor capaz de cumplir cabalmente con las normativas o procedimientos técnicos y de seguridad.

- Bloqueo y señalización

Deben estar tipificados dentro de los lineamientos específicos en materia de seguridad y protección integra el uso consecuente de procedimiento de

bloqueo dentro de las inmediaciones adyacentes al área donde se realiza el trabajo, con la finalidad de establecer un cerco práctico y seguro para el personal directo e indirecto. Asimismo, es fundamental que se utilicen las señalizaciones visuales y auditivas correspondientes con la envergadura de las labores.

- Procedimiento de emergencia

Debe estar establecido un plan de contingencia o emergencia concentrado en permitir el despliegue de acciones preventivas que minimicen los riesgos potencialmente inherentes dentro del área de trabajo; para que, en caso fortuito de producirse un eventual problema, se pueda canalizar de la forma más rápida y efectiva sin involucrar el bienestar de los trabajadores y de terceros. Por consiguiente, debe de capacitarse al personal de forma periódica, para que actúe de forma correcta ante el surgimiento de un evento no deseado.

- Elementos de protección personal y colectiva

Antes de llevar a cabo una labor, los trabajadores directamente relacionados deberán mantener a su disposición todos los elementos de protección personal (EPP), y colectivos (EPC), específicos que sean necesarios para poder desarrollar las acciones requeridas de forma segura y confiable. En este sentido, a continuación, se detallan las características fundamentales de cada uno de estos:

- Equipo de Protección Personal (EPP)

Los Equipos de Protección Personal (EPP), corresponden a los elementos específicamente concebidos para garantizar la protección efectiva de una zona

particular del individuo que realiza una determinada acción donde su seguridad integral se ve comprometida por agentes de riesgos latentes dentro de su área de labor. Esto quiere decir que los EPP necesarios para la operación de maniobras en instalaciones eléctricas deben estar puntualmente identificados considerando que cuentan son la envergadura de la actividad a realizar. Por consiguiente, los EPP deben ser seleccionados teniendo en consideración el nivel de tensión eléctrica al cual se verá expuesto el trabajador y las condiciones específicas del lugar donde será realizada la labor. A continuación, se presentan los EPP según la zona a proteger:

- Protección de manos y brazos

En este caso, se refiere a guantes de poliuretano o materiales con propiedades dieléctricas específicas que suministrarán una protección suficiente. Por lo general, son de colores llamativos (naranja, rojos o amarillos), poseen un recubrimiento de caucho que puede tolerar tensiones en el rango de los kilovoltamperios dado que son empleados en maniobras donde existe alta tensión.

- Protección ocular y facial

En este caso, se refiere de manera específica a los lentes de seguridad y protectores faciales que por lo general son de material dieléctrico, y su función primaria es la de proteger la cara y vista del trabajador. Igualmente proveen protección ante golpes menores ocasionados por objetos que puedan salir disparados por un arco eléctrico. En algunos casos, se utilizan lentes oscuros para reducir la incidencia de luz solar cuando se labora durante períodos diurnos.

- Protección de cabeza (casco)

Corresponde en este caso a los cascos, por lo general son de material dieléctrico, de alta resistencia a golpes y con un grado específico para soportar el arqueo eléctrico de alta tensión.

- Protección para los pies (zapatos de seguridad)

Corresponde en este caso a los zapatos o botas de seguridad, dichos elementos mantienen un diseño estándar a los del calzado común, solo con la particularidad de que son reforzados con materiales dieléctricos para impedir la conducción de un arco eléctrico por los miembros inferiores del cuerpo humano. Suele utilizarse baquelita a base de sílice. Toleran tensiones en el orden de los kilovoltios y su suela suele ser de una base de caucho de alta resistencia.

- Protección cuerpo entero (ropa)

Cuando amerita el caso, el trabajador debe contar con un traje de protección de cuerpo entero fabricado con materiales dieléctricos que permitan su aislamiento completo. Suele ser de una sola pieza incluyendo la máscara superior, con una abertura única que también provee aislamiento reforzado para garantizar su seguridad. Por lo general, se utilizan cuando las condiciones atmosféricas puedan proporcionar continuidad de arcos eléctricos.

- Equipo de Protección Colectiva (EPC)

Los Equipos de Protección Colectiva (EPC), corresponden a todos aquellos elementos y dispositivos que se consideran de uso colectivo por el grupo de trabajadores que realiza la maniobra en líneas energizadas, su

objetivo está tipificado a la protección integral del grupo de trabajo colectivo ante los riesgos inherentes y altamente potenciales que se pudiesen presentar durante un momento determinado. Su misión, consiste en neutralizar la fuente causa del riesgo dentro del área confinada en que se manifiesta.

- Son ejemplos: barreras, envolturas, rejas articuladas, banderas, cintas, carteles de señalización y conos. Se emplean para identificar las áreas de trabajo o de peligro, establecen la señalización y mantienen alertas sobre riesgos potenciales existentes. De igual forma impiden que los trabajadores no relacionados entren en contacto con las partes energizadas de las instalaciones eléctricas que protegen.

4.4. Maniobra y procedimientos en líneas energizadas

Cuando se realizan trabajos en una instalación eléctrica o en su proximidad donde potencialmente conlleve a un riesgo eléctrico, se debería actuar sin tensión, en frío o des energizado, pero desafortunadamente se presentan situaciones donde no es posible desincorporar los circuitos eléctricos, y es necesario realizar las maniobras en caliente o energizado.

Este es el caso, cuando se requieren realizar maniobras en líneas aéreas energizadas. El trabajo bajo tensión continua infiere porque el trabajador entra en contacto directo con elementos en tensión o sencillamente es uno más de los componentes dentro de la zona de peligro. Aquí puede verse involucrado su cuerpo de forma parcial o completa, dado que se involucran las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que él mismo manipula.

La denominada zona de peligro o zona de trabajos en tensión viene a corresponder al área que circunda a todos los dispositivos y elementos en tensión que están directamente a disposición de contacto con el operario o trabajador si está desprotegido supone un riesgo latente de magnitud grave e inminente de ocasionar un arco eléctrico o un contacto directo con el elemento en tensión, dado que en dicho acto el individuo puede realizar algún movimiento inadecuado al desplazarse.

En vista de lo anterior, el personal debe estar previamente calificado y certificado para realizar maniobra bajo tensión constante, siguiendo directrices normalizadas por los expertos en electricidad. De igual forma debe existir supervisión constante a fin de garantizar que las operaciones se realicen de forma oportuna y con la mínima incursión de riesgos. En este sentido, el método o procedimiento de trabajo empleado, los equipos y materiales utilizados tienen que garantizar la protección del trabajador frente al riesgo eléctrico, estableciendo que el trabajador no cometa acciones que puedan desencadenar un contacto accidentalmente con cualquier otro elemento a potencial distinto al suyo. Entre los equipos y materiales se encuentran:

- Accesorios aislantes (pantallas, cubiertas, vainas, entre otros), para recubrir partes activas.
- Útiles aislantes o aislados (herramientas, pinzas, puntas de prueba, entre otros).
- Pértigas aislantes.
- Dispositivos aislantes o aislados (banquetas, alfombras, plataformas de trabajo, entre otros).

- Equipos de protección individual frente a riesgos eléctricos (guantes, gafas, cascos, entre otros).

Existen tres métodos seguros de trabajo en tensión:

- Método de trabajo bajo potencial eléctrico

Este método es usado generalmente dentro de las instalaciones y líneas de transporte de alta tensión. Para su consecución se requiere que el trabajador entre en contacto o manipule los conductores o elementos en tensión de forma directa, en dicho caso se debe ubicar dentro del rango del mismo potencial del circuito eléctrico involucrado; asimismo deberá garantizarse su conexión franca con respecto al aislamiento a tierra y a las demás fases dentro de la red eléctrica, utilizando elementos adecuados para tal fin.

- Método de trabajo a distancia

Este método se emplea generalmente dentro de las instalaciones de alta tensión en la gama media de tensiones. Para este caso, el trabajador mantiene un potencial a tierra, puede ubicarse directamente en el suelo, en los elementos de apoyo de una fase aérea o bien en cualquier otra estructura. Para la realización de las maniobras, las herramientas deben estar acopladas a un extremo de las pétigas aislantes.

- Método de trabajo en contacto con protección aislante en las manos

Este método se utiliza principalmente en circuitos de baja tensión, pero también puede aplicarse en la gama baja de alta tensión. Para poder ser implementado, las herramientas manuales deben estar cubiertas con una

protección aíslate adecuada al nivel de tensión según las normas técnicas validadas. Ahora bien, todos los equipos y materiales deben cumplir con las normativas de ley vigentes dentro de cada región, para ello los fabricantes garantizan su disponibilidad dentro del mercado.

Finalmente, debe existir un lugar adecuado donde el trabajador pueda maniobrar de manera segura y confiable en función de mantener la practicidad de sus manos, y se debe disponer de la iluminación adecuada. También, es importante que los trabajadores no mantengan ningún elemento conductor.

Es importante señalizar y delimitar el área de trabajo de forma adecuada; asimismo, las actividades a cielo abierto deben realizarse bajo estricta supervisión garantizando que las condiciones atmosféricas sean las más favorables y solo cuando sea obligante se laborará bajo lluvia o viento fuerte porque las condiciones del sitio así se presentan.

4.4.1. Seguridad para maniobra en líneas energizadas

Cuando se trabaja maniobrando en líneas energizadas la seguridad se manifiesta como una conducta imperante durante toda la operación. En consecuencia, se debe efectuar estrictamente bajo la coordinación y vigilancia de un supervisor jefe de labor, fungiendo como el personal calificado que asume en su totalidad la responsabilidad directa de sus actos. Estos deben estar autorizados mediante documentación válida según el tipo de labor, una vez validada su capacidad de acuerdo al procedimiento establecido y así anexarse al equipo de trabajo. Dentro de la secuencia de operaciones se tiene:

- Conocer las medidas de seguridad a implementar

- Conocer los equipos de protección personal y colectivo, saber cómo se utilizan y las condiciones de buen estado.
- Identificar las razones válidas para suspensión de las labores.
- Mantener las credenciales de operación validadas y vigentes según los reglamentos lo demanden.
- En caso de algún incumplimiento por parte del trabajador, se le retirará de manera inmediata su credencial y cesará su relación laboral.

4.4.2. Trabajos en proximidad a instalaciones en tensión

Cuando el trabajador labore dentro de un área específica, se puede presentar proximidad a las instalaciones en tensión; en este caso, entra o puede entrar en la zona de proximidad sin estar en la zona de peligro dado que parte del cuerpo o bien las herramientas o material conexo se vean involucrados en dicho sector del área comprometida.

Dicha zona hace referencia al espacio delimitado alrededor del área de peligro potencial, dado que el mismo sin percatarse puede invadirlo de forma involuntaria. Por lo tanto, se debe valorar el permanecer fuera de la zona de peligro y lo más alejado de ella que el trabajo permita cuando se está cerca de elemento o dispositivos energizados.

4.4.3. Preparación del trabajo

Antes de iniciar el trabajo en proximidad de elementos en tensión, un trabajador autorizado (trabajos en baja tensión), o un trabajador cualificado (trabajos en alta tensión), determinará la viabilidad del trabajo.

De ser el trabajo viable, deberán adoptarse las medidas de seguridad necesarias para reducir al mínimo posible el número de elementos en tensión.

Las zonas de peligro de los elementos que permanezcan en tensión, mediante la colocación de pantallas, barreras, envolventes o protectores aislantes.

Si, a pesar de las medidas adoptadas, siguen existiendo elementos en tensión cuyas zonas de peligro son accesibles, se deberá:

- Delimitar la zona de trabajo respecto a las zonas de peligro

Informar a los trabajadores implicados de los riesgos de la situación de los elementos en tensión, los límites de la zona de trabajo y demás medidas de seguridad para no invadir la zona de peligro, comunicándoles la necesidad de que ellos informen sobre cualquier circunstancia que muestre la insuficiencia de las medidas adoptadas.

Las empresas cuyas actividades habituales conlleven la realización de trabajos en proximidad de elementos en tensión, particularmente si tienen lugar fuera del centro de trabajo, deberán asegurarse de que los trabajadores poseen conocimientos que les permiten identificar las instalaciones eléctricas, detectar los posibles riesgos y obrar en consecuencia.

- Electricidad estática

Una condición importante a considerar en todo lugar, es la acumulación espontánea de cargas electroestáticas que pueden desencadenar riesgos de chispas y bajo acciones fortuitas incendios o explosiones. Se deben tomar medidas preventivas para limitar la propagación de dichas cargas peligrosas. No obstante, se debe presta mucha atención cuando dentro del proceso de trabajo se produce fricción continua de elementos aislantes, así como vaporización, almacenamiento o transporte de materiales en forma de polvo que puedan ser filmables.

En vista de todo lo anterior, debe tomarse alguna de las siguientes medidas:

- Reducir los procesos de fricción
- Evitar los procesos que produzcan pulverización, aspersión o caída libre
- Utilizar materiales antiestáticos (poleas, moquetas, calzado, entre otros), o aumento de su conductividad (por incremento de la humedad relativa, uso de aditivos o cualquier otro medio).
- Garantizar la conexión a tierra o entre sí de los materiales susceptibles de adquirir carga, en especial, de los conductores o elementos metálicos aislados.

4.5. Plan de contingencia

En este ámbito, se destaca la participación de los planes de contingencia o emergencia que consisten en la proyección, planificación y consecuente organización de un equipo humano selecto altamente capacitado para difundir de manera satisfactoria una serie de directrices técnicas con el firme objetivo de minimizar las consecuencias o daños potencialmente incidentes en personas y elementos materiales derivados de una situación no deseada. Es por esta razón, que dicho procedimiento está fundamentado por un conjunto de estrategias consecuentemente orientadas a la reducción de daños a los individuos involucrados dentro de un recinto específico y a la infraestructura involucrada en caso de que ocurra una condición no deseada.

Para llevar a buen término el plan de contingencia durante las maniobras en líneas electrificadas es conveniente haber dotado previamente con elementos que faciliten la evacuación efectiva dentro de la infraestructura, medios materiales o técnicos según las características de la instalación, y de la identificación específica de la actividad que se lleva a cabo en ella.

Ahora bien, dentro de los objetivos específicos del plan de contingencia se enmarca la necesidad de que cada uno de los trabajadores involucrados con la labor esté consciente de cuál es su participación principal en caso de que se manifieste una condición insegura (incendios, explosiones, arcos eléctricos, condiciones atmosféricas adversas, entre otras). Por consiguiente, dichas directrices infieren una obligación a ser implantadas cuando existan circunstancias intrínsecas de riesgo latente, para lo cual el personal debe estar capacitado de forma que actúe de manera rápida y segura ante estas situaciones. Para este caso, donde la contingencia puede manifestarse naturalmente en el exterior; es necesario direccionar lineamientos que involucre

el confinamiento con el fin de evitar daños a las personas y elementos materiales.

4.5.1. Plan de contingencia: identificación de los riesgos

La categorización del plan de contingencia varía en función de los riesgos potencialmente detectados, la peligrosidad, las dimensiones del área de trabajo y de los medios disponibles para su ejecución. Por lo tanto, los objetivos estarán centrado en la identificación de estos riesgos latentes cuando se realizan maniobras en líneas energizadas, y es prudente establecer una clasificación y adopción de medidas preventivas.

Por lo general, dichos riesgo son de connotación física y suelen estar directamente asociados a daños potenciales de la salud e integridad del trabajador. Dado que se involucra de manera intrínseca el riesgo por contacto eléctrico, cuyos efectos pueden tipificarse desde leves quemaduras cutáneas hasta provocar la muerte instantánea del individuo.

En consecuencia, se pueden puntualizar una variedad de contingencias como emergencias médicas, explosiones, accidentes laborales, entre otras.

Todo plan de contingencia necesita cumplir una serie de características fundamentales para ofrecer una respuesta satisfactoria ante una potencial situación de riesgo latente.

- Básico

Debe oportunamente ofrecer la manera más sencilla de respuesta inmediata ante una situación de contingencia.

- Flexible

Debe ser adaptativo para cualquier contingencia que involucre una actividad específica, en este caso dentro de la maniobra en líneas energizadas debe establecerse un plan base que liderase todas las acciones.

- Conocido

Debe existir una divulgación continua. Todo trabajador que se involucre dentro de dicha actividad laboral está en la obligación de conocer el plan de contingencia asociado.

- Ejercitado

Es fundamental que se programen simulacros controlados para medir el grado de proactividad de los trabajadores ante la ocurrencia de un hecho fortuito que menoscabe su integridad u salud.

- Vivo

El plan de contingencia no debe ser un documento ambiguo, por lo contrario, debe actualizarse periódicamente para de esta forma identificar los posibles vacíos que puedan causar alguna inconformidad que atente en contra de la salud integral del trabajador y elementos conexos.

El grado de gravedad ante estas situaciones dependerá de la capacidad para controlar la contingencia presentada y de la valoración de sus posibles consecuencias. En base a esto, el plan a desarrollar durante una maniobra en

líneas energizadas, luego de establecidas todas las medidas de seguridad, contempla lo siguiente:

- Ubicar un área para asistencia médica primaria (primeros auxilios), y que cuente con una unidad para traslado.
- Conocer la ruta específica hasta el centro de salud más cercano.
- Dejar espacio suficiente para maniobrar los equipos de izamiento en caso de una contingencia.
- Capacitar constantemente al personal, realizando simulacros programados.
- Involucrar a todo el personal dentro de las responsabilidades propias y colectivas.

5. APPLICACIÓN DE NORMAS PARA LA EJECUCIÓN CORRECTA DE LA INSTALACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN DE EMERGENCIA

Los basamentos legales y normativas que conciernen de manera específica sobre estrategias que vienen a cumplir un servicio o solución particular, son muy importantes, y he aquí que su interpretación debe ser puntual para alcanzar la satisfacción de todas aquellas inquietudes generales donde cada participante mantenga un rol estratégico; todo eso, con la firme intención de alcanzar las metas propuestas.

Ahora bien, dentro del campo de la investigación presente, es absolutamente cónsono comprender las directrices que en materia técnica se requieren para la correcta instalación de torres de transmisión de emergencia. Por consiguiente, a continuación, se desglosan cada una de estas para, de manera clara, poder vislumbrar los dichos requerimientos.

5.1. Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOI)

La Norma Técnica de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución identificada con el acrónimo NTDOI, viene a representar un conjunto de lineamientos específicos con rango de fuerza bajo la Resolución CNEE No. 47-99 Con vigencia desde el 27 de octubre de 1999 y cuyo ente requirente es La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Ahora bien, dentro de sus disposiciones generales se establecen dentro de Títulos, Capítulos y Artículos que detallan lo siguiente:

Figura 35. **Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOI)**

TÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Objetivo: La presente norma cumple con el objeto de establecer los criterios, disposiciones, y requerimientos necesarios para asegurar que las actualizaciones en las instalaciones de transporte de energía eléctrica, se garantice un adecuado diseño y operación correcta, de manera que exista seguridad para las personas, los bienes materiales inherentes y la calidad del servicio.

Alcance y aplicación: La norma será de aplicación obligatoria dentro de la República de Guatemala, para todo ente individual o jurídico, donde se vea involucrado el diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de las instalaciones de servicio de transporte de energía eléctrica, incluyendo sus actualizaciones.

Excepciones. En el caso de instalaciones de emergencia el transportista, bajo su total responsabilidad, podrá autorizar la omisión de alguno de los requisitos exigidos en estas Normas, siempre que se garantice la debida seguridad de las personas y bienes por otros medios y/o procedimientos. Concluida la emergencia la instalación deberá ser acondicionada para cumplir con todos los requisitos de las presentes Normas.

Otras disposiciones involucran a los materiales y equipos: el sistema de medida; las servidumbres; la calidad de la energía eléctrica y el impacto ambiental: Todos estos deben cumplir con las legislaciones vigentes específicas según sea el caso.

CAPÍTULO II. DEFINICIONES

Corresponde a un conjunto de términos específicos que se involucran dentro de la norma para darle el suficiente asertividad técnica.

Continuación de la figura 35.

TITULO II. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO Y SEGURIDAD

CAPÍTULO I. LÍNEAS AÉREAS

Objetivo: Este apartado viene a detallar los requerimientos básicos que se deben cumplir durante el diseño y la construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica y sus equipos asociados, con la finalidad de obtener la máxima seguridad y protección a las personas y bienes. Asimismo se especifican condiciones en relación a la Ruta, Relación, Accesibilidad, Equipos conectados, Aislamiento, Puesta a tierra, Conductores, Distancias de seguridad, Cargas mecánicas y Tipos de conductores dispuestos en las líneas de transporte de energía eléctrica.

CAPÍTULO II. SUBESTACIONES

Objetivo: Disponer todas las consideraciones particulares y/o específicas sobre el diseño, construcción, mantenimiento, seguridad, equipos, puesta a tierra de las subestaciones eléctricas.

CAPÍTULO III. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

Objetivo: Disponer todas las consideraciones particulares y/o específicas sobre el diseño, construcción, mantenimiento, seguridad, equipos, puesta a tierra de las líneas eléctricas subterráneas.

CAPÍTULO IV. PUESTA A TIERRA

Objetivo: Disponer todas las consideraciones particulares y/o específicas sobre el diseño, construcción, mantenimiento, seguridad, equipos de puesta a tierra de las eléctricas, en función de garantizar la seguridad integral de personas y bienes materiales.

Continuación de la figura 35.

<p style="text-align: center;">TITULO III. CRITERIOS OPERACIONALES</p> <p style="text-align: center;">CAPITULO I. OPERACIÓN DEL SISTEMA</p> <p>Objetivo: Garantizar la protección de daños, al personal de las empresas propietarias de las instalaciones, así como al público en general, durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones del servicio de distribución del sistema eléctrico, se deberá cumplir con como mínimo con las siguientes reglas básicas de seguridad, en lo que corresponda.</p> <p style="text-align: center;">CAPITULO II. OPERACIÓN DE LINEAS Y SUBESTACIONES</p> <p>Objetivo: Garantizar la protección de daños, al personal de las empresas propietarias de las instalaciones, así como al público en general, durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones del servicio de distribución, se deberá cumplir como mínimo con las siguientes reglas básicas de seguridad, en lo que corresponda.</p>
--

Fuente: CNEE. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución – NTDOID*. <https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/1999/47-99.pdf>. Consulta: 16 de mayo de 2021.

5.2. Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte (NTDOST)

La Norma Técnica de Diseño y Operación de las Instalaciones de Transporte identificada con el acrónimo NTDOST, viene a representar un conjunto de lineamientos específicos con rango de fuerza bajo la Resolución CNEE No. 49-99. Con vigencia desde el 18 de noviembre de 1999 y cuyo ente requirente es La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Dentro de sus disposiciones generales se establecen dentro de Títulos, Capítulos y Artículos que detallan lo siguiente:

Figura 36. Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte (NTDOST)

TÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Objetivo: La presente norma cumple con el objeto de establecer los criterios, disposiciones, y requerimientos necesarios para asegurar que las actualizaciones en las instalaciones de transporte de energía eléctrica, se garantice un adecuado diseño y operación correcta, de manera que exista seguridad para las personas, los bienes materiales inherentes y la calidad del servicio.

Alcance y aplicación: La norma será de aplicación obligatoria dentro de la República de Guatemala, para todo ente individual o jurídico, donde se vea involucrado el diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de las instalaciones de servicio de transporte de energía eléctrica, incluyendo sus actualizaciones.

Excepciones. En el caso de instalaciones de emergencia el transportista, bajo su total responsabilidad, podrá autorizar la omisión de alguno de los requisitos exigidos en estas Normas, siempre que se garantice la debida seguridad de las personas y bienes por otros medios y/o procedimientos. Concluida la emergencia la instalación deberá ser acondicionada para cumplir con todos los requisitos de las presentes Normas.

Otras disposiciones involucran a los materiales y equipos: el sistema de medida; las servidumbres; la calidad de la energía eléctrica y el impacto ambiental: Todos estos deben cumplir con las legislaciones vigentes específicas según sea el caso.

CAPÍTULO II. DEFINICIONES

Corresponde a un conjunto de términos específicos que se involucran dentro de la norma para darle la suficiente asertividad técnica.

Continuación de la figura 36.

TÍTULO II CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

CAPÍTULO I. DISEÑO DE LÍNEAS AÉREAS

Objetivo: Identificar los requisitos mínimos suficientes para dar el correcto cumplimiento dentro del diseño y construcción de instalaciones para el servicio de transporte de energía eléctrica, donde se garantice la seguridad y protección a las personas y bienes. Diseño Eléctrico: Se establecen todas las consideraciones técnicas necesarias para alcanzar metas específicas, entre estas se destacan: flujos de potencia, estabilidad del sistema, mantener un nivel de tensión, control de la potencia transportada por las líneas de transmisión en operación normal y en caso de fallas, suplir las demandas energéticas, garantizar la seguridad integral, entre otras.

CAPITULO II. DISEÑO DE SUBESTACIONES

Objetivo: Identificar todos los criterios correspondientes que permitan diversificar esfuerzos dentro del diseño de subestaciones, con la premisa de evitar la ocurrencia de daños potenciales al personal y bienes materiales por contacto de líneas eléctricas energizadas con personas, equipos, instalaciones o superficies.

CAPITULO III. REGULACIONES DE SEGURIDAD

Objetivo: Mantiene las directrices correspondientes dentro del ámbito de la seguridad integral, a efectos de limitar la posibilidad de contacto de personas con los circuitos o impedir que las instalaciones de un transportista entren en contacto con las instalaciones de otro o con la propiedad pública o privada.

Continuación de la figura 36.

<p style="text-align: center;">TITULO III. CRITERIOS OPERACIONALES</p> <p style="text-align: center;">CAPÍTULO I. OPERACIÓN DEL SISTEMA</p> <p>Objetivo: Para la operación del sistema, líneas aéreas y subterráneas, se realizará de acuerdo a lo estipulado en las Normas de Coordinación emitidas por el AMM y otras que al respecto emita la Comisión.</p> <p style="text-align: center;">CAPÍTULO II. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO</p> <p>Objetivo: Inspeccionar, garantizar la integridad y conveniente operación de las líneas o los equipos de una empresa de transporte, o de participantes que sean propietarios de líneas y equipos de transporte es de ellas mismas estará bajo la disposición de la empresa transportista, quien asume todas las responsabilidades y deberá cumplir con todas las consideraciones técnica que satisfagan las necesidades.</p>

Fuente: CNEE. *Normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte de energía eléctrica (NTDOST)*. https://t3st.cnee.gob.gt/pdf2/normas/NTDOST_PUBLICADA.pdf. Consulta: 16 de mayo de 2021.

5.3. Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS)

La Norma Técnica de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones identificada con el acrónimo NTCSTS, viene a representar un conjunto de lineamientos específicos con rango de fuerza bajo la Resolución CNEE No. 50-99. Con vigencia desde el 18 de noviembre de 1999 y cuyo ente requirente es La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Ahora bien, dentro de sus disposiciones generales se establecen dentro de Títulos, Capítulos y Artículos que detallan lo siguiente:

Figura 37. Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS)

TÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO I. DEFINICIONES

Corresponde a un conjunto de términos específicos que se involucran dentro de la norma para darle la suficiente asertividad técnica.

CAPÍTULO II. OBJETIVO Y ALCANCE

Objetivo: Establecer los índices de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica en el sistema de transporte en el punto de entrega, las tolerancias permisibles, los métodos de control, las indemnizaciones y las sanciones respecto de los siguientes parámetros: a) Calidad del Producto por parte del Transportista; b) Incidencia de los Participantes en la Calidad del Producto; y c) Calidad del Servicio Técnico:

Alcance: Esta Norma es de aplicación obligatoria para toda empresa que preste el servicio de Transporte de Energía Eléctrica y todos los Participantes que hacen uso de los Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica.

CAPÍTULO III. ETAPAS DE APLICACIÓN

Objetivo: Esta norma establece cuatro etapas consecutivas, con niveles crecientes de sanciones. El régimen de sanciones, para las instalaciones nuevas al entrar en operación comercial o al ser energizadas, corresponderá al especificado para la Cuarta Etapa; y para Ampliaciones a las instalaciones existentes, tales como:

una línea de transmisión, una subestación transformadora, equipos de compensación de potencia reactiva y otros elementos similares, se evaluará de

Continuación de la figura 37.

acuerdo a lo especificado para la Cuarta Etapa cuando se incremente en mas del cincuenta por ciento la instalación actual correspondiente.

TITULO II. SISTEMAS DE CONTROL

CAPÍTULO I. SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO

Objetivo: Garantizar que todo Transportista disponga de un sistema auditable que permita, como mínimo: a) El análisis y tratamiento de las mediciones realizadas, para la verificación de la Calidad del Producto, b) Establecer la relación entre los registros y las tolerancias previstas en estas Normas respecto de los parámetros que intervienen en el cálculo de los indicadores de calidad, c) Mantener un registro histórico de los valores medidos en cada parámetro, para cada Participante conectado a su Sistema de Transporte, correspondiente a, por lo menos, los cinco últimos años, d) El cálculo de las indemnizaciones y sanciones, e) La formulación y desarrollo de los procedimientos y/o mecanismos utilizados para la recopilación de la información, f) La implantación y utilización de mecanismos de transferencia de información requeridos por la Comisión, y g) La realización de las pruebas pertinentes que permitan realizar una auditoría del funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO II. SISTEMA DE CONTROL E IDENTIFICACIÓN DE LOS PARTICIPANTES CONECTADOS AL SISTEMA DE TRANSPORTE

Objetivo: Garantizar que el transportista disponga de un sistema auditable que permita, como mínimo: a) La plena identificación de los Participantes conectados a su sistema de transporte, b) El conocimiento del tipo de servicio conectado a su sistema de transporte, c) La discriminación clara de los componentes del sistema de transporte asociados a cada Participante, d) La realización de procedimientos y/o mecanismos necesarios para la recopilación de la información, e) La implantación y utilización de mecanismos de transferencia de información

Continuación de la figura 37.

requeridos por la Comisión, y f) Las pruebas pertinentes que permitan realizar una auditoría del funcionamiento del sistema.

TITULO III. OBLIGACIONES

CAPÍTULO I. OBLIGACIONES DEL TRANSPORTISTA

Objetivo: El Transportista está obligado a cumplir lo siguiente: a) Prestar, a los Participantes conectados a su sistema de transporte, un servicio que cumpla con los índices de calidad exigidos en estas Normas, b) Cumplir con todo lo consignado en estas Normas, c) Responder, de conformidad con estas Normas, ante la Comisión y los Participantes, por las transgresiones a las tolerancias de los índices de calidad establecidos para cada uno de los parámetros en estas Normas, d) Controlar a los participantes para establecer las transgresiones a las tolerancias establecidas en estas Normas en los parámetros que les correspondan, a efecto de limitar su incidencia en la calidad del servicio, e) La adquisición, la instalación, el registro, la calibración y el mantenimiento de los equipos necesarios para la medición de los parámetros eléctricos y la implementación del Sistema de Medición y Control de la Calidad del Producto, e) Suministrar, a la Comisión y al AMM, un informe técnicamente documentado, dentro de los cinco días hábiles del mes siguiente de cada período de control, relacionado con el Sistema de Medición y Control de la Calidad del Producto, que contenga como mínimo: - El cálculo de los índices de calidad, de todos los puntos de control, - Los registros de las mediciones y su comparación respecto de las tolerancias admisibles de los parámetros establecidos en estas formas, así como el cálculo de las sanciones e indemnizaciones correspondientes, f) Actualizar, cada seis meses, e informar a la Comisión, el listado de los Participantes conectados a su sistema de transporte, indicando su localización y características operativas más importantes, g) Pagar el importe de las sanciones y/o multas que la Comisión le imponga, dentro de los primeros siete días del mes siguiente a la notificación respectiva, h) Pagar a los

Continuación de la figura 37.

Participantes las indemnizaciones, según estas Normas, durante el mes siguiente del Período de Control correspondiente.

CAPÍTULO II OBLIGACIONES DEL ADMINISTRADOR DEL MERCADO MAYORISTA

Objetivo: Garantizar la responsabilidad del Administrador del Mercado Mayorista. El Administrador del Mercado Mayorista, en lo que le corresponda, velará por la aplicación de esta Norma; por lo mismo, será responsable de realizar los estudios pertinentes para: establecer los límites de producción o consumo de potencia reactiva por parte de los transportistas, generadores y usuarios, que permitan que el sistema eléctrico opere en condiciones normales.

CAPÍTULO III. OBLIGACIONES DE LOS PARTICIPANTES CONECTADOS A UN SISTEMA DE TRANSPORTE

Objetivo: Las obligaciones de los Participantes serán las siguientes: a) Cumplir, en lo que les corresponda, con todas las Normas que hayan sido emitidas por la Comisión, b) Responder, de conformidad con estas Normas, ante la Comisión y el Transportista, por las transgresiones a las tolerancias de los indicadores de calidad establecidos para cada uno de los parámetros en estas Normas, ocasionados por ellos, c) Realizar todas las reparaciones o modificaciones de sus instalaciones, que sean necesarias, para evitar afectar la calidad del servicio del Transportista, d) Pagar el importe de las sanciones y/o multas que la Comisión le imponga, dentro de los primeros siete días del mes siguiente de su notificación,

CAPÍTULO IV. OBLIGACIÓN DEL COMERCIALIZADOR

Objetivo: Deberá estar obligado a suscribir contratos con los Participantes, según corresponda, para garantizar lo estipulado en esta Norma.

Continuación de la figura 37.

TÍTULO IV. CALIDAD DEL PRODUCTO TÉCNICO.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

Objetivo: Cumplir con lo siguiente: a) Evaluación de la Calidad del Producto por parte del Transportista, b) Incidencia de los Participantes en la Calidad del Producto, c) Valorar el Período de Control, d) Período de Medición según el lapso establecido.

CAPÍTULO II. REGULACION DE TENSION

Objetivo: Para alcanzar este apartado se debe: a) Identificar el índice de calidad, b) Determinar las tolerancias, c) Determinar el control para la regulación de tensión, d) Valorar las sanciones, e) Identificar el índice y tolerancias para la distorsión armónica de la tensión, f) Establecer el control para la distorsión armónica de la tensión, g) Establecer la indemnización por distorsión armónica de la tensión.

CAPITULO IV FLICKER EN LA TENSIÓN

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Identificar el índice y tolerancia para el flicker en la tensión, b) Establecer el control para el flicker en la tensión, c) Establecer la indemnización por flicker en la tensión.

TÍTULO V. INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR LOS PARTICIPANTES

CAPÍTULO I. DESBALANCE DE CORRIENTE

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Determinar la calidad del desbalance de corriente, b) Valorar las tolerancias para el desbalance de corriente, c) Determinar el control para el desbalance de corriente,

Continuación de la figura 37.

- d) Establecer la. Indemnización por desbalance de corriente por parte de los participantes.

CAPÍTULO II. DISTORSIÓN ARMÓNICA DE LA CORRIENTE DE CARGA DE LOS PARTICIPANTES

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Determinar el índice de calidad y tolerancias de la distorsión armónica de la corriente de carga, b) Establecer el control de la distorsión armónica de la corriente de carga, c) Impulsar la indemnización por distorsión armónica de la corriente de carga.

CAPÍTULO III. FLICKER DE LOS PARTICIPANTES

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Determinar el flicker y tolerancias de los participantes, b) Establecer el control del flicker.

TITULO VI. CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Evaluar la calidad del servicio técnico, b) Identificar el período de control, c) Conocer los tipos de indisponibilidad.

CAPÍTULO II. INDISPONIBILIDAD FORZADA DE LINEAS DE TRANSMISION

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: Determinar los índices de calidad de indisponibilidad forzada.

Continuación de la figura 37.

**CAPÍTULO III. SANCIONES POR INDISPONIBILIDAD FORZADA,
DESCONEXIONES AUTOMÁTICAS, REDUCCIÓN DE CARGA,
INDISPONIBILIDAD PROGRAMADA**

Objetivo: Para cumplir este apartado es consistente realizar lo siguiente: a) Penalizar por déficit de reactivo, b) Determinar la tolerancia de la tasa de indisponibilidad forzada, c) Determinar la tolerancia de la duración total de indisponibilidad forzada, d) Sancionar por indisponibilidad forzada, e) Sancionar por desconexiones automáticas, f) Sancionar por reducciones de la capacidad de transporte, g) Sancionar por Indisponibilidades del Equipo de Compensación, h) Sancionar por indisponibilidad programada, i) Sancionar por falta de información de la indisponibilidad.

Fuente: CNEE. *Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS)*. <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Técnicas/07%20NTCSTS.pdf>. Consulta:

18 de mayo de 2021.

5.4. Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT)

La Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión identificada con el acrónimo NTT, viene a representar un conjunto de lineamientos específicos con rango de fuerza bajo la Resolución CNEE No. 28-2009. Con vigencia desde el 4 de febrero de 2009 y cuyo ente requirente es La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Ahora bien, dentro de sus disposiciones generales se establecen dentro de Títulos, Capítulos y Artículos que detallan lo siguiente:

Figura 38. **Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT)**

TÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO I. DEFINICIONES

Corresponde a un conjunto de términos específicos que se involucran dentro de la norma para darle la suficiente asertividad técnica.

CAPÍTULO II. GENERALIDADES

Objetivo: La presente norma cumple con el objeto de establecer los criterios, disposiciones, y requerimientos necesarios para asegurar que las actualizaciones en las instalaciones de transporte de energía eléctrica, se garantice un adecuado diseño y operación correcta, de manera que exista seguridad para las personas, los bienes materiales inherentes y la calidad del servicio.

Alcance y aplicación: La norma serán de aplicación obligatoria dentro de la República de Guatemala, para todo ente individual ó jurídico, donde se vea involucrado el diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de las instalaciones de servicio de transporte de energía eléctrica, incluyendo sus actualizaciones.

TÍTULO II. PLAN DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

Objetivo: Establecer los lineamientos generales, el envío de información y los plazos para alcanzar la expansión del sistema de transporte de energía eléctrica.

CAPÍTULO II. CRITERIOS, PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA A CONSIDERAR PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Objetivo: Establecer los procedimientos puntuales para concebir las obras que formarán parte del sistema principal de transporte de energía eléctrica.

Continuación de la figura 38.

**TITULO III. PROCESO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS CONSIDERADAS EN
EL PLAN DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DETERMINADAS
COMO PARTE DEL SISTEMA PRINCIPAL**

CAPÍTULO I. LICITACIÓN ABIERTA

Objetivo: Disponer del procedimiento, bases de licitación, contrato de autorización de ejecución de obra y remuneración para llevar a cabo la expansión del sistema de transporte de energía eléctrica.

**CAPÍTULO II SUPERVISIÓN DE LAS OBRAS, ESTUDIOS AMBIENTALES,
SERVIDUMBRES Y OBLIGACIÓN DE AMPLIAR**

Objetivo: Desarrollar la supervisión de las obras, el estudio de impacto ambiental, las servidumbres y obligación de ampliar dentro de la expansión del sistema de transporte de energía eléctrica.

Fuente: CNEE. *Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT)*.

<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/09%20NTT.pdf>. Consulta: 18 de mayo de 2021.

5.5. Norma Técnica de Conexión

La Norma Técnica de Conexión identificada con el acrónimo NTC, viene a representar un conjunto de lineamientos específicos con rango de fuerza bajo la Resolución CNEE No. 256-2014. Con vigencia desde el 17 de octubre de 2014 y cuyo ente requirente es La Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Ahora bien, dentro de sus disposiciones generales se establecen dentro de Títulos, Capítulos y Artículos que detallan lo siguiente:

Figura 39. **Norma Técnica de Conexión**

TÍTULO I. CONDICIONES GENERALES

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

DEFINICIONES: Corresponde a un conjunto de términos específicos que se involucran dentro de la norma para darle la suficiente asertividad técnica.

OBJETIVOS: 1) Establecer las disposiciones, principios, procedimientos y lineamientos que se deben cumplir para permitir la conexión y el uso de las instalaciones pertenecientes al Sistema de Transmisión, dedicadas al Servicio de Transporte de Energía Eléctrica. 2) Garantizar que cualquier Interesado que solicite la conexión y el uso de las instalaciones del Sistema de Transmisión tenga los mismos derechos y obligaciones. 3) Garantizar que el titular de instalaciones del Sistema de Transmisión, cuando un Interesado solicite la conexión y el uso de sus instalaciones, cumpla con sus obligaciones y goce de sus derechos, conforme lo establecido en la Ley General de Electricidad, su reglamento o la Autorización Definitiva otorgada por el Ministerio de Energía y Minas para prestar el Servicio de Transporte de Energía Eléctrica. 4) Establecer los requisitos que se deben cumplir; los estudios técnicos que se deben realizar y el proceso que debe seguir cualquier Interesado que solicite conectarse y usar las instalaciones del Sistema de Transmisión dedicadas al Servicio de Transporte de Energía Eléctrica.

ALCANCE: Esta Norma se aplicará al Sistema de Transmisión definido en la Ley General de Electricidad como el conjunto de subestaciones de transformación y líneas de transmisión, entre el punto de entrega del Generador y el punto de recepción del Distribuidor o de los Grandes Usuarios y comprende un sistema principal y sistemas secundarios.

CAPÍTULO II. DERECHOS Y OBLIGACIONES DEL TRANSPORTISTA Y EL INTERESADO

Objetivo: Indicar los derechos y obligaciones del transportista; los derechos y obligaciones del interesado.

Continuación de la figura 39.

**CAPÍTULO III. GARANTÍA DEL LIBRE ACCESO A LAS INSTALACIONES
Y USO DE LA INFORMACIÓN**

Objetivo: Garantizar el libre acceso y la confidencialidad.

**TITULO II. PROCESO DE CONEXIÓN Y USO EN EL SISTEMA DE
TRANSMISIÓN**

**CAPITULO I. PROCESO Y PROPUESTA DE CONEXIÓN Y USO EN
INSTALACIONES DE TRANSMISIÓN**

Objetivo: Describir el proceso de conexión, los tipos de conexión, las opciones de conexión y uso, la solicitud de propuesta de conexión y uso, la elaboración y presentación de la propuesta de conexión y uso, la obligación de presentar la propuesta de conexión y uso.

CAPÍTULO II. AMPLIACIÓN POR ACUERDO ENTRE LAS PARTES

Objetivo: Establecer el acuerdo entre el interesado y el transportista p., además de valorar las condiciones de conexión y uso.

**CAPÍTULO III. AMPLIACIÓN POR INICIATIVA PROPIA O POR LICITACIÓN
PÚBLICA**

Objetivo: Establecer la conexión del interesado a instalaciones de transmisión del transportista propietario, conexión del Interesado a instalaciones de transmisión de otros agentes o grandes usuarios del mercado mayorista y alcanzar la ampliación por Licitación Pública

Continuación de la figura 39.

**TITULO III. EL CONTRATO DE CONEXIÓN Y LAS DISPOSICIONES
ESPECÍFICAS**

CAPÍTULO I CONTRATO DE CONEXIÓN

Objetivo: Desarrollar el contenido del contrato de conexión e indicar las garantías de cumplimiento mutuas.

CAPÍTULO II FRONTERAS

Objetivo: Conocer las fronteras en la conexión, el seccionamiento de una línea de transmisión para la conexión, las instalaciones de uso común y las disposiciones sobre el sitio de conexión.

**CAPÍTULO III DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO
Y PUESTA EN SERVICIO DEL PUNTO DE INTERCONEXIÓN**

Objetivo: Comentar sobre la elaboración del diseño, la construcción y montaje, la operación de la Conexión, el mantenimiento de la Conexión y el proceso para la puesta en servicio de la conexión

**CAPÍTULO IV. PROCESO DE ACCESO O AMPLIACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE TRANSPORTE**

Objetivo: Conocer los procesos de conexión y el acceso o ampliación a la capacidad de transporte, además de determinar el acceso o ampliación a la capacidad de transporte de la conexión

**CAPÍTULO V. VERIFICACIÓN, SUPERVISIÓN Y ACEPTACIÓN DE LA
CONEXIÓN**

Objetivo: Identificar los tipos de verificación y supervisión, realizar la aceptación de la Conexión

Fuente: CNEE. *Norma Técnica de Conexión.*

<https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2014/CNEE%20256%202014.pdf>. Consulta: 18 de mayo de 2021.

5.6. Norma ISO 22301:2012. Continuidad de servicio

La norma ISO 22301:2012 se posiciona como la primera norma internacional que involucra la gestión de la continuidad para los negocios. Se ha concebido con el objeto de permitir a las empresas la reducción de los riesgos inherentes a los tipos de interrupciones. Dentro de sus lineamientos se destacan los requisitos mínimos para planificar, establecer, implementar, operar, monitorear, revisar, mantener y mejorar de forma continua todo sistema de gestión, de forma que responda y se recupere con prontitud ante las interrupciones. Los mismos son adaptativos según las necesidades de cada organización productiva.

El proceso de estandarización pretende concebir una evolución con la implementación de la norma ISO 22301:2012. En este sentido, busca:

- El incremento en el establecimiento de los objetivos, indicadores y consecuente desempeño.
- Crear expectativas certeras de las directrices de la organización.
- Valorar los recursos necesarios para alcanzar el aseguramiento de la continuidad del negocio.

La norma ISO 22301:2012 es de rango amplio, categorizando, así como estructura que permite la diversificación de cualquier organización sin importar tamaño o potencial social: por consiguiente, esta debe: establecer, implementar, mantener y mejorar todo sistema de gestión de continuidad dentro del negocio. Asimismo, mantiene el compromiso de:

- Garantizar la conformidad con la política establecida de la continuidad de negocio de la organización: demostrar la conformidad a los interesados.
- Certificar su Sistema de gestión de continuidad de negocio involucrados externos con certificación.
- Realizar autoevaluaciones de conformidad con las necesidades.

La norma ISO 22301:2012, mantiene un conjunto de cláusulas claves donde se destacan:

- Cláusula 4. Contexto de la organización, conlleva el establecimiento de temas internos y externos, categorizados como altamente relevantes para el objetivo perseguido por la organización productiva, y que pueden inferir dentro de la posibilidad de alcanzar las metas esperadas en el sistema de gestión de continuidad de negocio.
- Cláusula 5. Liderazgo, es fundamental que los directivos de la organización demuestren estar comprometidos con alcanzar metas y el mejoramiento continuo como compromiso con el sistema de gestión de continuidad de negocio. Esto se demuestra cuando se concibe un adecuado ambiente laboral donde los trabajadores y el SGCN funcionen coordinadamente por alcanzar los objetivos de la empresa.
- Cláusula 6. Planificación, en esta etapa se puntualiza cuales vienen a ser los objetivos estratégicos y principios para encaminar el sistema de gestión de continuidad de negocio. Estos buscan posicionarse como el centro neurálgico de la organización, impulsan la minimización de riesgos potenciales y categorizan las necesidades propias.

- Cláusula 7. Soporte, se presenta como la utilización de todos aquellos recursos válidos para cumplir cada etapa dentro del conjunto de actividades. Esto involucra directamente al personal, dado que consecuentemente requerirá capacitación y adiestramiento especial.
- Cláusula 8. Operación, propone la estructura del sistema de Gestión de la continuidad de negocio; por lo tanto, la organización debe implementar acciones que busquen:
 - La medición de impacto del negocio
 - Valoración de riesgos
 - Escalabilidad de las estrategias
 - Impulsar procedimientos de continuidad del negocio, entre otros
- Cláusula 9. Evaluación del desempeño, es necesario monitorear de forma continua las acciones realizando un seguimiento planificado dentro de una matriz estructurada según los indicadores propuestos.
- Cláusula 10. Mejora, debe ser continua donde se puntualicen las acciones a desarrollar y así alcanzar el potencial crecimiento. Todo esto basado en valorar la eficacia y eficiencia de los controles y procesos inherentes en la organización. En consecuencia, se impulsará el crecimiento dado que es la directriz principal de la norma.

5.7. Norma IEC 60652 Pruebas de carga en estructuras de líneas aéreas

La norma IEC 60652, está concebida como una directriz que busca estandarizar las pruebas necesarias relativas a las cargas que se someten en

las estructuras de líneas aéreas. De esta manera, las disposiciones técnicas especifican los procedimientos para el cálculo de los esfuerzos mecánicos directo e indirectos donde se involucran el peso de los componentes funcionales y los factores externos como lo son la incidencia del viento y la temperatura.

El documento provee los procedimientos para cálculos verticales y horizontales a los que se someten las estructuras metálicas que sopasan las líneas aéreas que viene a transportar las corrientes eléctricas; además, puntualiza sobre la incidencia de las cargas atmosféricas, presión dinámica y estática; cargas transversales, longitudinales y verticales.

5.8. Norma IEEE 1070 - 2006 Guía para el diseño y prueba de componentes de estructura de restauración modular de transmisión

La norma IEEE 1070, permite establecer el diseño y las consecuentes pruebas de los diferentes componentes que vienen a constituir la estructura funcional de las torres de transmisión de energía eléctrica. La misma se fundamenta como un estándar internacional donde se puede analizar de manera modular cada elemento y así discernir sobre las conjeturas correspondientes que logren vislumbrar una solución satisfactoria. Esta guía proporciona a las organizaciones industriales una especificación genérica, donde se involucra el diseño y las pruebas adecuadas para componentes de la estructura de restauración modular de transmisión de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

1. La utilización de torres de transmisión de emergencia permite realizar mantenimiento correctivo en torres de transmisión dañadas en un lapso corto de tiempo, o realizar conexiones nuevas en sitios poco convencionales para una torre de transmisión.
2. La implementación de protocolos para actividades críticas permite la mejora de este, dado que se contempla cada punto desde la planificación hasta la operación, pudiendo ser evaluado en desempeño en cuanto se sustenta con un estándar certificado.
3. La determinación del alcance operativo permite prever los recursos necesarios para la correcta instalación y adición de elementos a la red del Sistema Nacional Interconectado.

RECOMENDACIONES

1. Prever el sitio donde se realizará la instalación de una torre de transmisión de emergencia, para reconocer el punto óptimo de la conexión.
2. Planificar un plan de contingencia, para tomar las precauciones necesarias en caso de realizar algún mantenimiento correctivo de las torres de transmisión.
3. Usar normativos para preservar el estándar de una correcta instalación eléctrica y cumplir los procesos referentes a seguridad del personal y legal.
4. Mantener y conservar el Equipo de Protección Personal para asegurar un buen estado y uso de estos en cuanto sean necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARIZA GONZÁLEZ. Laura Viviana. *Sistema de potencia*. [en línea]. <<https://electricaing.wixsite.com/sistemas-de-potencia/blank-ltfnq>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
2. Banco Macro Siemens It Solutions and Services. *Líneas de transmisión*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/pechegaray/lneas-de-transmisiin>>. [Consulta: 24 de abril de 2022].
3. Begemot_30. *Torre de una tangente principal de alto voltaje eléctrico*. [en línea]. <https://es.123rf.com/photo_12081917_torre-de-una-tangente-principal-de-alto-voltaje-el%C3%A9ctrico.html>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
4. CHANCE. *Herramientas especiales para linieros*. [en línea]. <<http://www.tradinter.net/ToolsLineCardChance.pdf>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
5. CITE energía. *Transposición en líneas de transmisión*. [en línea]. <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/08/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed.pdf>. [Consulta: 12 de abril de 2021].

6. CNEE. *Atlas del S.N.I.* [en línea]. <<https://cn76tyiiurq7cr7.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b5ee4c44827e4276b34cfa52597547dd>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
7. _____. *Marco Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos.* Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013. 114 p.
8. _____. *Norma Técnica de Conexión.* [en línea]. <<https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2014/CNEE%20256%202014.pdf>>. [Consulta: 18 de mayo de 2021].
9. _____. *Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (NTT).* [en línea]. <<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/09%20NTT.pdf>>. [Consulta: 18 de mayo de 2021].
10. _____. *Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS).* [en línea]. <<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/07%20NTCSTS.pdf>>. [Consulta: 18 de mayo de 2021].
11. _____. *Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID).* [en línea]. <<https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/1999/47-99.pdf>>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].

12. _____. *Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (NTDOST)*. [en línea]. <https://t3st.cnee.gob.gt/pdf2/normas/NTDOST_PUBLICADA.pdf>. [Consulta: 16 de mayo de 2021].
13. CUEVAS ALVAREZ, Pedro Alberto. *Subestación eléctrica de distribución telecontrola*. [en línea]. <<http://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2016/12/torres-de-transmision-y-transmision.html>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
14. GRAINGER, John. *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill, 1996. 574 p.
15. IEG Consulting. *Charla informativa diseño de líneas de transmisión de 138 kV hasta 500kV*. [en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=fmVQ8HBqYpQ>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
16. LFSIE. *Aisladores de tipo Pin de alto voltaje ANSI standard serie 56*. [en línea]. <<http://www.fhpinsulator.com/es/high-voltage-pin-type-insulators-ansi-standard-56-series-p359.html>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
17. MADRILES, Luis. *Termografía realizada con drone a una torre de alta tensión*. [en línea]. <<http://www.sectorelectricidad.com/25916/termografia-realizada-con-drone-a-una-torre-de-alta-tension/>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].

18. MARTÍNEZ, Edwin. *Estudio y análisis de fallas*. [en línea]. <https://www.academia.edu/4948348/7_CALCULO_DE_FALLAS>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
19. MESTRE, Joseph. *Distancias a líneas eléctricas*. 4a ed. Chile: Sierra Blanca, 1990. 16 p.
20. MUNGUA MARÍN, Joel; MIRANDA CAÑETE, Iván; ZAMBRANO ARENAS, Federico; ZAMBRANO JIMÉNEZ, José. *Modelado de sistemas eléctricos de potencia*. [en línea]. <<http://mdsedpotencia.blogspot.com/search?q=modelado>>. [Consulta: 19 de abril de 2021].
21. PRE COM. *Procedimiento trabajo con electricidad*. [en línea]. <<https://docplayer.es/14250450-Procedimiento-trabajo-con-electricidad.html>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
22. RTHO. *Torres auxiliares para emergencias*. [en línea]. <<https://www.rtho.com/linea-de-productos/2-llt/08-equipos-de-tendido-y-accesorios/2-equipos-y-estructuras-de-aleacion-de-aluminio/torres-auxiliares-para-emergencias/>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
23. SBB. *Emergency towers manufacturer*. [en línea]. <<https://www.sbb.ca/emergency-towers/tower-components-and-technical-specifications>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].

24. Sector Electricidad. *Apantallamiento de líneas de transmisión*. [en línea]. <<https://www.sectorelectricidad.com/10974/metodo-grafico-de-langrehr-poste-de-altura-h/>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
25. SEMBLANTES VÉLEZ, Marcelo Leonardo. *Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosostentada para una línea de 69 kV*. [en línea]. <<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2587>>. [Consulta: 12 de abril de 2021].
26. Tower Solutions. *Componentes de la torre*. [en línea]. <<http://towersolutions.ca/tower-components/>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].
27. VAZQUEZ BOJORQUEZ, Víctor Javier. *Estudio comparativo de las normas IEC y ANSI para cálculo de corto circuito*. [en línea]. <<https://www.semanticscholar.org/paper/ESTUDIO-COMPARATIVO-DE-LAS-NORMAS-IEC-Y-ANSI-PARA-BojorquezJavier/074daeb7dd6596dd15ffc25cda4e3bf894397b63>>. [Consulta: 02 de marzo de 2021].

