



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

**DESARROLLO DE UNA LINEA DE TRANSMISION DE 400 KV AEREA EN
MAJOMA ZACATECAS**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO ELECTROMECHANICO

PRESENTA:
C. JOEL JASSER MENDEZ HERNANDEZ

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL
DR. GERARDO LLANILLO NAVALES

HUATUSCO, VER.

OCTUBRE, 2024.

Dedicatorias y agradecimientos

A mis papás y hermano

Quienes siempre me han apoyado y han estado conmigo en las buenas y en las malas, preocupándose por mi bienestar y crecimiento personal.

A mi esposa: Arcelia García y su familia

Por darme su apoyo incondicional, brindarme un abrigo y ser mi soporte siempre que lo necesite.

Gracias a todos por apoyarme y verme hacer realidad mi sueño dentro de la ingeniería.

Resumen

Este proyecto describe el desarrollo de la construcción de una línea de transmisión de 400 KV por la empresa ARROSAM S.A. de C.V. en la carretera Majoma, Zacatecas, como parte de un proyecto energético. Por lo que desarrolló de la siguiente manera:

1. Estudios y Preparación del Terreno:

- a) Estudios del Subsuelo: Para marcar la ubicación de cada torre.
- b) Topografía: Se utilizaron topógrafos para marcar los puntos de perforación y definir las áreas de trabajo.

2. Construcción de la Línea de Transmisión:

- a) Uso de Grúas: Se emplearon grúas para mover y ensamblar las estructuras de las torres.
- b) Condiciones del Terreno: Se tuvieron en cuenta las condiciones climáticas, como las lluvias, que afectaron la ejecución de las maniobras.

3. Instalación y Supervisión:

- a) Maniobras de Izaje: Supervisión continua de cada centro de trabajo para garantizar la seguridad.
- b) Colocación de Accesorios: Instalación de accesorios en las torres y tendido del conductor.

4. Tendido del Conductor:

- a) Supervisión: Personal especializado, conocidos como linieros de primera, monitorearon el proceso para evitar daños en el cable.
- b) Maquinaria: Se utilizaron máquinas específicas como la traccionadora y la devanadora para controlar el tendido del cable.

5. Fijación y Pruebas:

- a) Fijación del Cable: Colocación de grapas y cadenas para asegurar el cable.
- b) Pruebas de Comunicación: Se realizaron pruebas de comunicación y configuración entre subestaciones.
- c) Prueba de Arranque: Finalización del proyecto con la prueba de arranque del sistema.

Abstract

This project describes the development of the construction of a 400 KV transmission line by the company ARROSAM S.A. de C.V. on the Majoma road, Zacatecas, as part of an energy project. It was carried out as follows:

1. Soil Studies and Site Preparation:
 - a) Soil Studies: To mark the location of each tower.
 - b) Topography: Surveyors were used to mark the drilling points and define the work areas.
2. Construction of the Transmission Line:
 - a) Use of Cranes: Cranes were employed to move and assemble the tower structures.
 - b) Site Conditions: Weather conditions, such as rain, were considered, as they affected the execution of the maneuvers.
3. Installation and Supervision:
 - a) Lifting Maneuvers: Continuous supervision of each work center to ensure safety.
 - b) Installation of Accessories: Installation of accessories on the towers and conductor stringing.
4. Conductor Stringing:
 - a) Supervision: Specialized personnel, known as first-class linemen, monitored the process to avoid damage to the cable.
 - b) Machinery: Specific machines, such as the puller and the tensioner, were used to control the stringing of the cable.
5. Securing and Testing:

Cable Securing: Placement of clamps and chains to secure the cable.

- a) Communication Tests: Communication and configuration tests between substations were conducted.
- b) Startup Test: The project was completed with the system's startup test.

Índice

Dedicatorias y agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract.....	5
Capítulo 1.- Planteamiento del problema	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Justificación	18
Capítulo 2.- Introducción a las líneas de transmisión aéreas de alta tensión.....	19
2.1 Línea de transmisión.....	21
2.1.1 Tipos de líneas de transmisión.....	22
2.3 Torres.....	25
2.3.1 Clasificación de las torres	25
2.4 Componentes de una torre	28
Stub.....	28
Perforación de referencia.....	28
Plantilla	29
Base	29
Cuadro de la base.....	29
Estructura central.....	30

Crucetas	30
2.5 Cable conductor	31
2.6 Cable de guarda	32
2.7 Aisladores	34
2.8 Herrajes.....	36
2.8.1 Tipos de Herrajes.....	36
2.9 Maquinaria de construcción.....	41
2.9.1 piloteadora	41
2.9.2 Retroexcavadora	41
2.9.3 Pipas de agua	41
2.9.4 Grúas.....	42
2.9.5 Traccionadora	42
2.9.6 Devanadora.....	42
2.9.7 Camión revolver	42
Capítulo 3.- Construcción de una línea de transmisión de 400 KV área.....	43
3.1 Instalación de la línea	44
3.2 Verificación de apoyos, marcado del terreno, limpieza y acondicionamiento de la subestación.....	46
3.3 Excavación, cimentación y colocación de los Stubs	34
3.3.1 Excavación.....	47
3.3.2 Cimentación.....	49
3.3.3 Colocación de los Stubs.....	51
3.4 Procedimiento para el armado de las Torres	56
3.5 Instalación de Aisladores.....	69

3.6 Tendido de Fibra Óptica y Cable de Guarda	72
3.7 Tendido de conductores.....	73
Capítulo 4.- Resultados.....	87
4.1 Fusión de Fibra Óptica y colocación de gabinete.....	87
4.2 Conexión de las torres a tierra	90
4.3 Conexión y Medición de la puesta a tierra	91
4.4 Energización del transformador.....	35
4.5 Resultados Obtenidos	35
Capítulo 5.- Conclusiones y rgecomendaciones	93
5.1 Conclusiones.....	93
5.2 Recomendaciones	93
Referencias.	95
Anexos.....	101

Índice de Figuras

Figura 1.- Ubicación del proyecto carretera saltillo zacatecas km 54 municipio de Mazapil estado de Zacatecas México.	18
Figura 2.- Distribución de le energía eléctrica.	19
Figura 3.- Subestación Elevadora Tuli-Helios.	20
Figura 4.- Ejemplo de una subestación de maniobras.	20
Figura 5.- Ejemplo de una línea de transmisión.	21
Figura 6.- Alambre Abierto.	22

Figura 7.- Coaxial.	23
Figura 8.- Fibra Óptica	23
Figura 9.- Microstrip.....	24
Figura 10.- Torres de suspensión.....	26
Figura 11.- Torre de remate.	26
Figura 12.- Marcos de remate.....	27
Figura 13.- Troncocónico de Acero ATD.	27
Figura 14.- Componentes de una torre.	28
Figura 15.- Esquema de perforación. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile.	29
Figura 16.- Disposición de conductores.	31
Figura 17.- Localización del cable de guarda.	32
Figura 18.- Ejemplo de cadenas de aisladores. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile.	35
Figura 19.- Grampa tipo de suspensión con accesorios Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile	37
Figura 20.- Grapa tipo de anclaje con accesorios. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile	37
Figura 21.- Amortiguador Stock bridge	38
Figura 22.- Poleas.	39
Figura 23.- Preformados.	39
Figura 24.- Boyas	40
Figura 25.- Línea de transmisión.....	43
Figura 26.- Plano de distribución de las patas de una torre.	44
Figura 27.- Estación total.....	45

Figura 28.- Topógrafo realizando mediciones.....	45
Figura 29.- Delimitación del terreno.	46
Figura 30.- Piloteadora.	47
Figura 31.- Excavaciones delimitadas.	48
Figura 32.- Colocación de los churros.....	49
Figura 33. Asentamiento.....	50
Figura 34.- Aseguramiento final.....	50
Figura 35.- Primeras alineaciones del stub.	51
Figura 36.- Colocación de stub.....	52
Figura 37.- Stub en terreno estable.	52
Figura 38.- Soportes del stub.....	53
Figura 39.- Colocación de la media.....	53
Figura 40.- Armado de un molde.....	54
Figura 41.- Vaciado de hormigón terminado.....	54
Figura 42.- Reparación de defectos en superficie.....	55
Figura 43.- Anemómetro con medida excedente.....	56
Figura 44.- Anemómetro con ráfaga óptima.	57
Figura 45.- Equipo de Protección Personal.	58
Figura 46.- Partes del Arnés y línea de vida (absorbedor de energía).....	59
Figura 47.- Armado y ensamblado del botón panel.....	59
Figura 48.- Colocación de piezas con apoyo de grúa.	60
Figura 49.- Boton panel armado y montado	60
Figura 50.- Izaje de piezas	61
Figura 51.- Montaje del cuerpo piramidal.	62

Figura 52.- Izaje del vestido de la armadura.	62
Figura 53.- Levantamiento del cuerpo recto.....	63
Figura 54.- Linieros arriba de botón panel esperando el cuerpo recto..	63
Figura 55.- Ajuste del cuerpo recto.	64
Figura 56.- Cuernos en el vestido de la torre.....	64
Figura 57.- Cuernos en el cuerpo recto.....	65
Figura 58.- Ultimo Izaje en torre.	65
Figura 59.- Cuernos de la torre pintados de rojo.	66
Figura 60.- Cuernos de torre pintados de amarillo.	66
Figura 61.- Colocación en cimentación.	67
Figura 62.- Primera parte del troncocónico.	67
Figura 63.- Izaje de parte del troncocónico.	68
Figura 64.- Armado de la cadena de aisladores.....	69
Figura 65.- Izaje de Aisladores.....	70
Figura 66.- Ejemplos de Cáncamos de izaje.....	70
Figura 67.- Fijación de cadena de aisladores.....	71
Figura 68.- Instalación de aisladores.	71
Figura 69.- Violin en cruce de media tensión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	74
Figura 70.- Violín en cruce de carretera. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	74
Figura 71.- Ejemplo grafico de protecciones a carreteras proporcionados por CFE.....	75
Figura 72.- Cruce carretero de 1° de Mayo.	76
Figura 73.- Linieros subiendo el material. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	77

Figura 74.- Ejemplo de daños en poleas. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	78
Figura 75.- Izaje de la máquina. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.....	79
Figura 76.- Descanso del carrete.	80
Figura 77.- Traslado del carrete.....	81
Figura 78.- Colocación de herraje para tendido de cable conductor y OPGW. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.....	82
Figura 79.- Recuperación de cable guía. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	82
Figura 80.- Velocidad de la devanadora.	83
Figura 81.- Cable guía colocado en la máquina.	83
Figura 82.- Colocación del conductor en la máquina y vista grafica del carrete.	84
Figura 83.- Ingeniero civil midiendo la catenaria.....	84
Figura 84.- Herraje para torre de suspensión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	86
Figura 85.- Bajada del cable OPGW para su fusión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	88
Figura 86.- Ejemplo de Fusión de fibra óptica. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.	88
Figura 87.- Ejemplo de Prueba OTDR. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II	89
Figura 88.- Unión de tierras.....	90
Figura 89.- Conexión del transformador (Imagen de referencia).	92
Figura 90.- Daños a una torre	99

Figura 91.- Perforación para Stub.....	99
Figura 92.- Patas de la torre.....	100
Figura 93.- Baño móvil con un boton panel al fondo.	100
Figura 94.- Plano de cuernos de la torre.	100
Figura 95.- Traccionadora TEMA X4054-14_2.....	101
Figura 96.- Diagrama de traccionadora.	103
Figura 97.- Colocacion de la maquina.	101
Figura 98.- Devanadora X3904-14.	102
Figura 99.- Posición de transporte.	102
Figura 100.- Emplazamiento de la máquina.	103

Índice de tablas

Tabla 1.- Par de apriete de Tornillos A-394.....	58
Tabla 2.- Especificaciones de distancias proporcionadas por CFE, en metros.	75

Capítulo 1.- Planteamiento del problema

1.1 Introducción

El transporte de energía representa un factor vital para el desarrollo de comunidades, empresas y familias, ya que la energía eléctrica desempeña un papel fundamental en el avance de la vida. Las líneas de transmisión pueden variar en su configuración, pudiendo ser de circuitos simples o dobles y con diferentes niveles de voltaje, todo ello en función de las especificaciones de las subestaciones, las cuales desempeñan un papel crucial al inicio o final de estas líneas al elevar o disminuir la carga eléctrica.

Dentro de este proyecto se plantea la necesidad de establecer una nueva línea de transmisión con el propósito de transportar la energía generada por un parque solar. Para llevar a cabo esta tarea, se unieron las empresas pertinentes y se procedió con la ejecución del proyecto. Este proceso implica la construcción de 11 torres y un troncocónico, la implementación de un sistema de puesta a tierra y la conexión del transformador necesario.

La ejecución de este proyecto exige conocimientos sólidos en el ámbito de la electromecánica. La construcción de las torres demanda la capacidad de interpretar planos tanto en papel como en software como AUTOCAD, apoyando en el montaje y ajuste de las piezas en colaboración con ingenieros y aplicando el torque necesario. Además, se requiere capacitación en el montaje de piezas mediante grúas, así como un entendimiento profundo del tendido de cables para garantizar las tolerancias adecuadas al realizar la tracción. También es esencial comprender la mecánica de los materiales utilizados en el tendido, lo que implica el análisis de las cargas axiales.

En la etapa final de este proyecto, se elaborarán definiciones y teorías necesarias antes de emprender la construcción de una línea de transmisión. Asimismo, se describirán los requisitos que la empresa ARROSAM SA DE CV debió cumplir para llevar a cabo la obra con éxito, haciendo uso de su sistema de calidad y sus departamentos de Medio Ambiente,

Salud y Seguridad (EHS), los cuales colaboraron de manera conjunta para cumplir con todos los requisitos establecidos.

1.2 Planteamiento del problema

En Majoma Zacatecas se llevó a cabo la construcción de un Parque fotovoltaico compuesto por dos estructuras de terrenos, los cuales contienen diferentes cantidades de paneles. Tuli el cual contiene 500 000 paneles y Helios por otro lado con 1 000 000 de paneles, es por ello que el nombre del Parque es Tuli-Helios. Para que se pudiese aprovechar la energía generada se tenía que conectar dicho parque a una subestación de distribución, en este caso ubicada en Majoma Zacatecas, para lograr transportar la energía generada del parque a la subestación, CFE dictamino que era necesaria la construcción de una línea de transmisión, por lo que el cliente se comunicó con ARROSAM S.A. DE C.V. y se firmó el contrato para la elaboración de la línea de transmisión, bajo la supervisión de varias empresas, las cuales fueron:

- Grupo Constructor ALDESA
- CFE
- PATER INC.
- General Electric (GE)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Construcción una línea de transmisión de 400 KV aérea en el km 54 de Majoma Zacatecas

1.3.2 Objetivos específicos

- Delimitación del área y realización del acordonamiento de esta
- Cimentación y colocación de Stubs
- Armado de torres
- Colocación de aisladores
- Tendido de conductores y cable de guarda
- Colocación de herrajes y sus protecciones

1.4 Justificación

Actualmente se encuentra en función un nuevo Parque Fotovoltaico llamado Tuli-Helios, el cual está localizado en el Estado de Zacatecas, en la comunidad de Majoma Municipio de Mazapil cuya ubicación geográfica la podemos observar en la figura 1.



Figura 1.- Ubicación del proyecto carretera saltillo zacatecas km 54 municipio de Mazapil estado de Zacatecas México.

Este parque se encuentra constituido por 1 500 000 paneles, el cual genera 375 MW de potencia, en este, se cuenta con CBOX que contienen 45 paneles cada una que concentran la energía para posteriormente enviarla a los CT's o Inversores, cada inversor concentra 17 cajas, esta energía llega a la subestación de elevación Tuli & Helios cuya salida es de 400 KV, la cual debe ser enviada posteriormente a una subestación de maniobras llamada 1° de Mayo (Propiedad de Comisión Federal de Energía), debido a que el parque es nuevo no existe un medio por el cual se pueda transportar esa energía de una subestación a otra, para su posterior aprovechamiento, esta necesidad se ve resuelta con la propuesta emitida por CFE al contratista, la cual consistió en la construcción de una línea de transmisión aérea.

El hecho de que la línea sea aérea y no subterránea fue decisión propia de CFE, como se sabe el sistema eléctrico nacional que incluye las líneas de transmisión y distribución pertenecen a esta empresa Mexicana, por lo que ellos son los encargados de dictaminar y dar la decisión final acerca de una nueva construcción y el tipo, incluyendo el cableado, el tipo de torre, estipulaciones, normativa, herramienta, herrajes, maquinaria y horarios designados para el personal.

Capítulo 2.- Introducción a las líneas de transmisión aéreas de alta tensión

Antes de presentar la teoría necesaria para comprender este proyecto se decidió explicar lo siguiente: En México la red de distribución de la energía eléctrica se basa en el siguiente esquema (Figura 2)

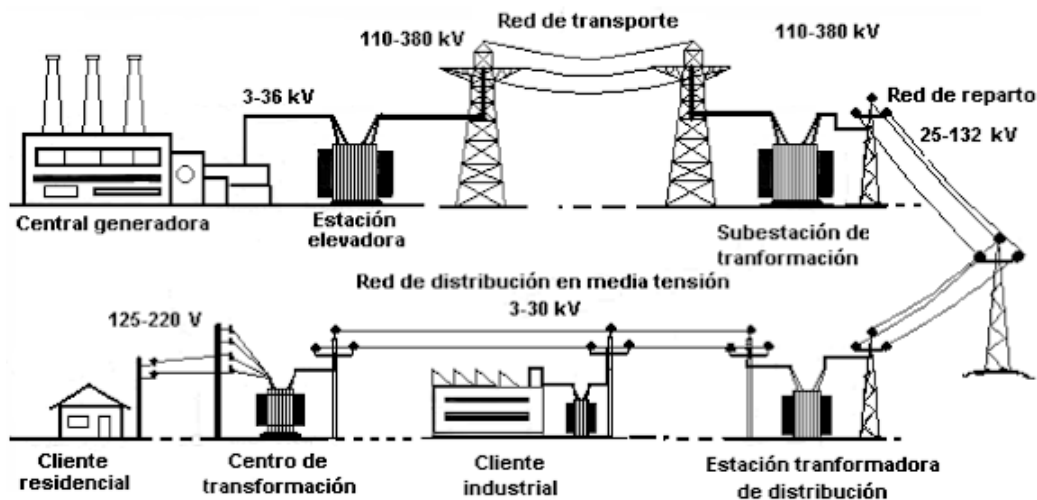


Figura 2.- Distribución de la energía eléctrica.

Para el caso que compete al PV TULI-HELIOS, la central generadora está compuesta por un conjunto de paneles solares (1 500 000 en total). Estos generan energía a partir de la incidencia de rayos solares sobre las placas de silicio, estas liberan energía que se convierte en electricidad de tipo continua. Es por ello que en estas plantas de energía renovable se necesitan de inversores que permitan realizar la conversión de CD a CA para posteriormente mandar esta corriente a la estación elevadora.

La estación elevadora será la encargada de elevar la corriente producida por los paneles, justo después de pasar por los sistemas de inversores, enviándola a través de la línea de transmisión para su posterior llegada a la subestación de maniobras.



Figura 3.- Subestación Elevadora Tuli-Helios.

Recapitulando lo anterior, es muy importante comprender que los paneles solares son generadores de energía, esta es de tipo Directa, mientras que la comercial es tipo Alterna, motivo por el cual se recurre a los inversores de corriente y a las estaciones elevadoras y de transformación para su distribución por el sistema eléctrico nacional.

La parte que compete a este proyecto es la red de transporte, que permitirá enviar la energía elevada a la subestación de maniobras para su posterior distribución.



Figura 4.- Ejemplo de una subestación de maniobras.

2.1 Línea de transmisión

La línea de transmisión es definida por Francisco Gonzales como: “elemento del sistema de potencia que se encarga de transportar la energía eléctrica desde el sitio en donde se genera hasta el sitio donde se consume o se distribuye”. Las líneas de transmisión también son aquellas complejas estructuras que transportan grandes bloques de energía eléctrica dentro de los diferentes puntos de la red que constituye el sistema eléctrico de potencia, son físicamente los elementos más simples pero los más extensos. La clasificación de los sistemas de transmisión puede ser realizada desde muy variados puntos de vista, según el medio: en aéreas y subterráneas.



Figura 5.- Ejemplo de una línea de transmisión.

En las líneas aéreas, los conductores están suspendidos de la torre y aislados de ella y de los demás conductores a través de los aisladores, cuyo número está determinado por el voltaje de la línea. Cada cadena tiene 22 aisladores. Los dos brazos cortos por encima de los conductores de fase sostienen conductores que generalmente son de acero. Estos conductores, mucho más pequeños en diámetro que los conductores de fase, están eléctricamente conectados a la torre y, por tanto, están al potencial de tierra. Estos conductores se les conoce como de blindaje o hilos de guarda y su función es la de proporcionar protección a los conductores de fase contra las descargas atmosféricas. (John J. Grainger, 1996)

2.1.1 Tipos de líneas de transmisión

Los tipos de línea de transmisión se pueden clasificar de acuerdo a su geometría, y son los siguientes:

1. Alambre abierto. También llamada de cable paralelo, la cual consiste en un par de cables de conductores paralelos, los cuales se encuentran separados por una gran distancia. Estas líneas de transmisión de dos cables son sumamente simples, de costos bajos y fáciles de mantener en distancias cortas. Estas líneas se utilizan para hasta 100 MHz.

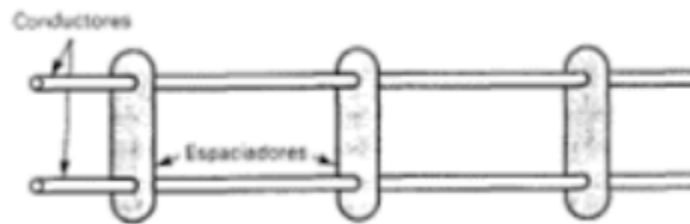


Figura 6.- Alambre Abierto.

2. Coaxial. En esta los conductores se colocan coaxialmente y se llenan de materiales dieléctricos, como pueden ser, aire, gas o sólido. La frecuencia se ve aumentada con el aumento de las pérdidas en el dieléctrico. El dieléctrico comúnmente utilizado es el polietileno. Los cables coaxiales se utilizan hasta en 1 GHz. Se caracteriza por ser el tipo de cable que transporta señales de alta frecuencia que presenta pérdidas muy bajas. Estos se utilizan en sistemas de CCTV, audios digitales, conexiones de red de computadoras, conexiones de internet o en cables de televisión.



Figura 7.- Coaxial.

3. Fibra óptica. La primera fibra óptica inventada por Narender Singh en 1952. Está compuesta de óxido de silicio o sílice, que se utiliza para enviar señales a larga distancia con poca pérdida de señal y a la velocidad de la luz. Los cables de fibra óptica utilizados como guías de luz, herramientas de imágenes, láseres para cirugías, utilizados para la transmisión de datos y también en una amplia variedad de industrias y aplicaciones. (Electromundo, 2021)

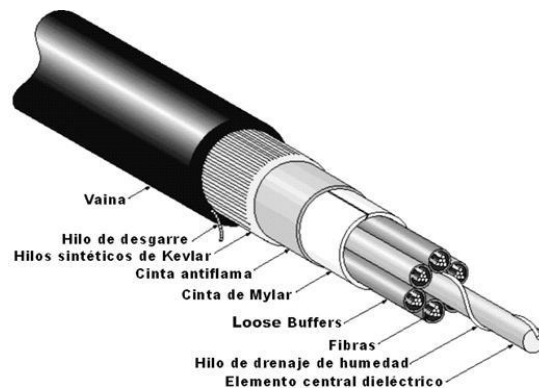


Figura 8.- Fibra Óptica

4. Microstrip. La línea de transmisión de microstrip es una línea de transmisión electromagnética transversal (TEM) inventada por Robert Barrett en 1950.

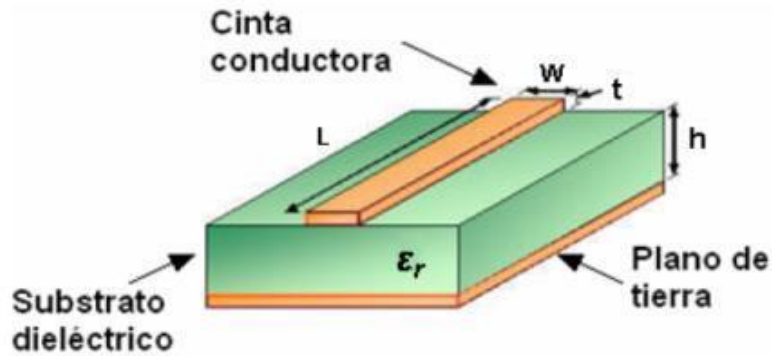


Figura 9.- Microstrip.

5. Guías de ondas. Las guías de onda se utilizan para transmitir energía electromagnética de un lugar a otro y generalmente funcionan en modo dominante. Los diversos componentes pasivos como filtro, acoplador, divisor, bocina, antenas, unión en T, etc.

Las guías de onda se utilizan en instrumentos científicos para medir propiedades ópticas, acústicas y elásticas de materiales y objetos. Hay dos tipos de guías de onda: guías de onda de metal y guías de onda dieléctricas. Las guías de onda se utilizan en la comunicación de fibra óptica, hornos de microondas, naves espaciales, etc. (Electromundo, 2021)

2.3 Torres

Una vez producida la energía eléctrica por los paneles, esta debe transportarse. En el caso de largas distancias es necesario incrementar la tensión para reducir la intensidad y así abaratar los costes de distribución. Aprovechando las propiedades dieléctricas del aire, la energía eléctrica se transporta por medio de cables sujetos por estructuras conocidas como apoyos o torres.

2.3.1 Clasificación de las torres

Entre los tipos de torres se destacan

- Torres de suspensión
- Torres de remate
- Torres de deflexión

Para el desarrollo de este proyecto solo se ocuparon 2 tipos de torres de transmisión, suspensión y remate, por lo que, por efectos prácticos se procederá a describir solo los tipos utilizados en el proyecto.

Las torres de suspensión son aquellas que soportan el peso de los cables, cadenas de aisladores y herrajes, además del viento transversal, siendo las tensiones longitudinales iguales a cero, siempre se localizaran tangentes.



Figura 10.- Torres de suspensión

Las torres de remate Se colocan al inicio y al final de la línea de transmisión, además en tangentes largas mayores a 5.0 Km. Como rompeteramos de acuerdo a la especificación de C.F.E.



Figura 11.- Torre de remate.

Otra estructura de remate son los conocidos **marcos de remate** ubicados en las llegadas de la subestación por lo que la tensión por un lado, en la longitudinal es reducida o simplemente nula. Debido a esto es que en algunos casos se debe estudiar la instalación de tirantes en el lado de menor tensión para compensar los sobreesfuerzos a los que está sometida la estructura.



Figura 12.- Marcos de remate

Troncocónicos. Son postes metálicos utilizados en líneas de transmisión de máximo 400 kV. Estos pueden ser de tipo: suspensión, deflexión o transición desde 1 hasta múltiples circuitos. Acero ATD cuenta también con la Constancia de Calificación de Proveedor ante Comisión Federal de Electricidad, ejemplo de sus postes se muestra en la figura 13.



Figura 13.- Troncocónico de Acero ATD.

2.4 Componentes de una torre

Las torres se componen de:

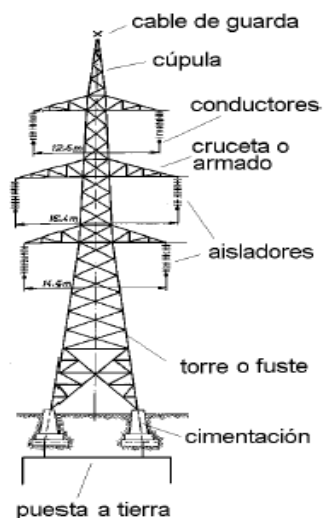


Figura 14.- Componentes de una torre.

Cada parte que compone una torre se describirá en los siguientes títulos.

Stub

También llamado cantonera o perfil tipo L de acero galvanizado, de dimensiones que varían de acuerdo al proyecto a tratar, que queda inserta en la base de hormigón (fundación) y que permite transmitir los esfuerzos a que es sometida la estructura a su base y suelo adyacente. Sus longitudes y espesores pueden variar de acuerdo al cálculo de cada proyecto. Por lo que el stub forma parte de la cimentación de la torre.

Perforación de referencia

Esta se refiere a la perforación en la cual se enlaza el tirante del marco rígido el cual conforma el primer cuerpo de la estructura, dicha perforación se utiliza para controlar la cuadratura y cota final de la fundación.

Plantilla

Se le conoce como plantilla a la estructura de amarre rígida que soporta los stub y posee dispositivos de fijación y revisión de nivelación, estas plantillas están conformadas por perfiles tipo L, que se perforaran con las medidas dadas de cada proyecto que se indican en los planos, es importante destacar que estas piezas son de carácter provisorio al igual que las cadenas y otros elementos que se utilizan para afianzar los stub para el proceso de hormigonado.

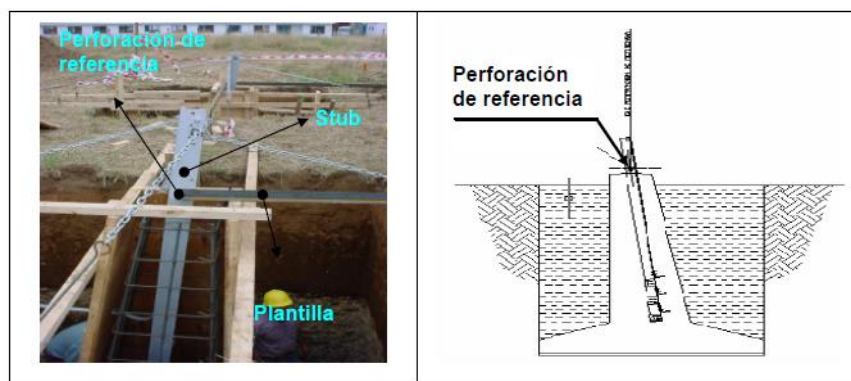


Figura 15.- Esquema de perforación. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile.

Base

Es el nombre asignado a las cuatro estructuras llamadas también patas, las cuales son unidas por medio de otros elementos formando los soportes sustentables de cada torre. Pueden existir diferentes tipos de acuerdo a la topografía de terreno, la ubicación, tipos y combinaciones cambiando las dimensiones dadas, como altura, de las cuales el más común es -3 -2 -1 0 1 2 3 (en metros) o una combinación de estas medidas. En casos especiales también se diseñan combinaciones de patas, por lo que a este tipo se le conoce como patas en ladera.

Cuadro de la base

Esto corresponde a los elementos que unen la parte superior de la base (piezas metálicas galvanizadas). Aquí es donde se realiza la primera revisión de la correcta instalación e inclinación de los stub, también conocido como cinturón.

Estructura central

Se constituye por diferentes cuerpos que permiten ganar en la estructura, por lo que estos cuerpos están conformados en base a enrejados de perfiles tipo L de acero galvanizado caliente con dimensiones que varían de acuerdo al proyecto y sus variables de ingeniería. Esta estructura se montara sobre el cuadro base para dar forma a la torre requerida.

Crucetas

Esta parte es necesaria para alejar a los conductores de la estructura (torre), con esto se evitan arcos eléctricos y fallas en el funcionamiento del sistema de transmisión. La longitud de la cruceta dependerá de la potencia eléctrica a transmitir. Además cabe mencionar que en caso de ser necesarios pueden ser usados cuernos extras montados en la cruceta con el fin de dar el ángulo de blindaje proporcionado por el cable de guarda a la torre.

2.5 Cable conductor

Consiste de un cuerpo o un medio adecuado, utilizado como portador de corriente eléctrica. El material que forma un conductor eléctrico es cualquier sustancia que puede conducir una corriente eléctrica cuando este conductor se ve sujeto a una diferencia de potencial entre sus extremos. Esta propiedad se llama conductividad, y las sustancias con mayor conductividad son los metales. Los materiales comúnmente utilizados para conducir corriente eléctrica son en orden de importancia: cobre, aluminio, aleaciones de cobre, hierro, acero. (Longatt, 2007).

La selección de un material conductor determinado es, esencialmente, un problema económico, el cual no solo considera las propiedades eléctricas del conductor, sino también otras como: propiedades mecánicas, facilidad de hacer conexiones, su mantenimiento, la cantidad de soportes necesarios, las limitaciones de espacio, resistencia a la corrosión del material y otros.

Los conductores no llevan revestimientos y están compuestos por cuerdas de hilos de cobre o de aluminio reforzados por acero. Se disponen de tal manera que sus secciones formen los vértices de un triángulo equilátero, evitando así que la caída de tensión inductiva sea distinta para cada conductor como se observa en la figura 13. También es frecuente la disposición en un mismo plano y la disposición de conductor en haz, en la que los apoyos cuentan con dos circuitos o más, estando cada fase constituida por más de un conductor. Para proteger a los conductores de rayos, se utilizan los llamados cables de guarda.

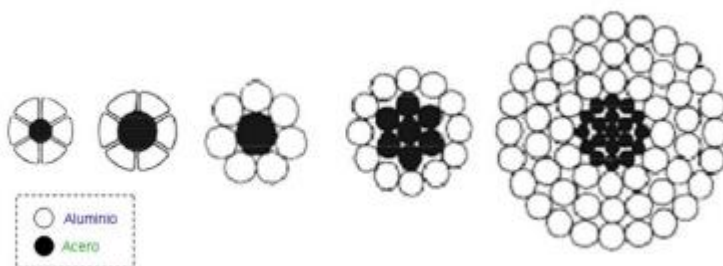


Figura 16.- Disposición de conductores.

2.6 Cable de guarda

Se conoce como cable de guarda al cable utilizado para proteger la línea contra descargas atmosféricas, este puede estar compuesto de acero puro de alta resistencia o compuesto en su interior por fibra óptica (OPGW), el uso de cable de guardia con fibra óptica será necesario cuando se requiera transmitir información entre una subestación y otra.

La protección es debida a las recurrentes descargas eléctricas directas, que también son conocidas como rayos, además, si por el contrario, la disposición de los cables es vertical, solo se requiere de un cable de guarda. Este cable está compuesto normalmente por hilos de acero galvanizado o también como de costumbre se utiliza el mismo calibre del conductor usado en las fases.

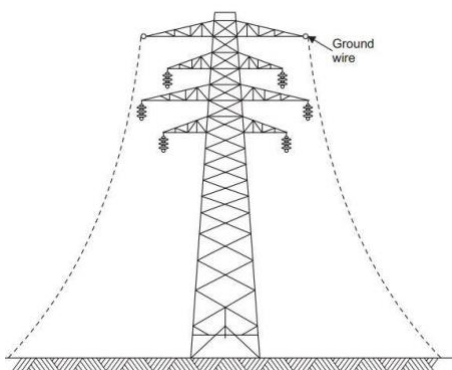


Figura 17.- Localización del cable de guarda.

Además se puede decir que, los cables de guarda son conductores tendidos en paralelo sobre los conductores de fase en líneas de transmisión eléctrica. Su objetivo principal es proteger los conductores de fase de las descargas eléctricas directas, como los rayos. Estos cables se ubican en la parte superior de las estructuras de la línea y pueden estar compuestos de acero galvanizado o tener el mismo calibre que los conductores de fase.

Cuando se utilizan dos cables de guarda en una disposición de doble circuito, ofrecen una protección eficaz contra descargas eléctricas. El ángulo de protección del cable de guarda se define como el ángulo entre la línea vertical que pasa por el cable y la línea que une el cable

de guarda y el conductor de fase más alejado de la estructura. La zona de protección se asemeja a un cono con el vértice en el cable de guarda y la base en el conductor de fase más alejado.

El diseño de una línea de transmisión para protegerla contra rayos se basa en tres requisitos fundamentales: cable de guarda mecánicamente fuerte, bien ubicado, sin espacio suficiente entre conductores o entre conductores y la estructura de la torre para una tensión de servicio específica, y una baja resistencia a tierra de la torre.

En terrenos llanos, el ángulo de protección debe ser de aproximadamente 30° , mientras que en zonas montañosas disminuye en función de la pendiente. La resistencia a tierra aceptable varía según la tensión de la línea.

En general, el cable de guarda es un componente crucial para garantizar la protección efectiva de las líneas de transmisión eléctrica contra descargas eléctricas directas, y su diseño adecuado es fundamental para un rendimiento seguro y confiable del sistema eléctrico.

2.7 Aisladores

Estos elementos sirven para aislar el conductor de los apoyos de su soporte, su característica principal es la de ser un buen dieléctrico, pues su función consiste en evitar el paso de la corriente del conductor al apoyo. Normalmente estos elementos se colocan en cadena.

Las cadenas de aisladores son entonces varios discos de aislantes, que pueden ser de vidrio, loza, porcelana, plástico, caucho, etc. Todos estos materiales tienen la característica de ser buenos aislantes eléctricos. Con esto no se debe dar por sentado que se evite completamente el paso de la corriente, la realidad es que logra que la corriente de fuga sea tan pequeña, podría decirse despreciable, en todos los puntos de apoyo de la línea. Por otro lado la cantidad de disco a conformar la cadena dependerá de la potencia eléctrica transmitida.

En las líneas de transmisión aéreas de alta tensión se llegan a utilizar cadenas de aisladores del tipo acoplable y articulado, esto con el fin de poder unir los discos de acuerdo a las necesidades del proyecto, las cadenas de aisladores tanto para estructuras de anclaje y de suspensión son iguales en lo que refiere a materiales y forma, solo se podrán diferenciar por la cantidad de discos aislantes. Esto significa que la cadena de aisladores para estructuras con anclaje contara con mayor número de discos debido a los esfuerzos adicionales que deberá soportar.

Además con respecto a la posición, las cadenas de aisladores de suspensión deberán quedar en posición vertical, la cual era supervisada por el topógrafo, en cambio las cadenas de anclaje quedaran en la línea de curva del conductor.

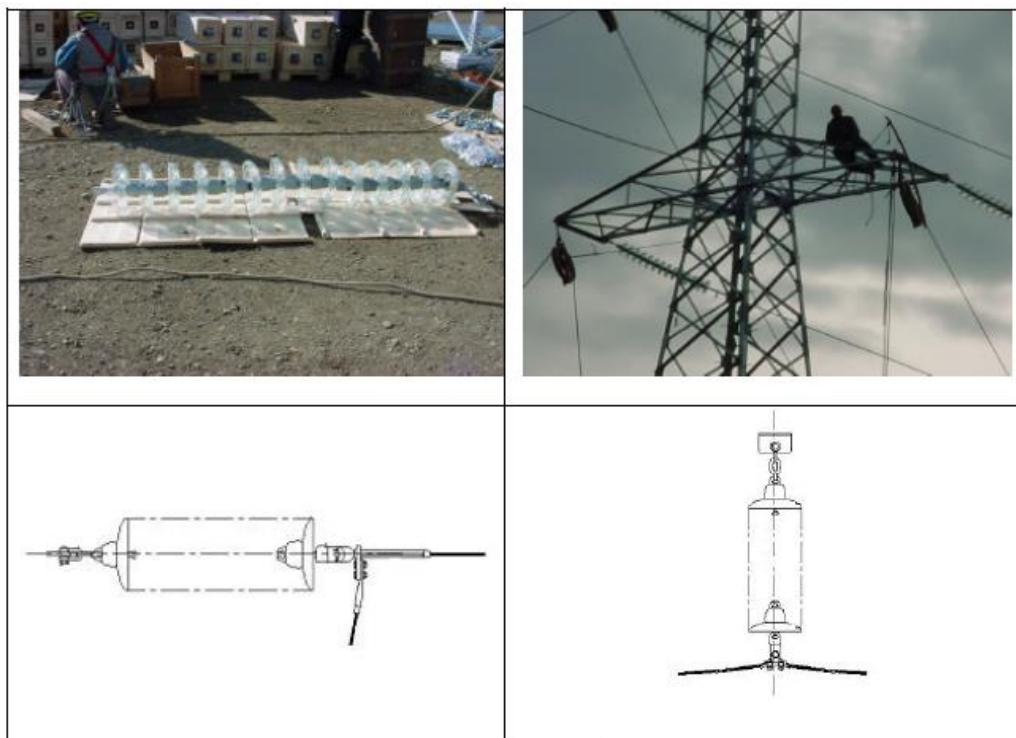


Figura 18.- Ejemplo de cadenas de aisladores. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile.

2.8 Herrajes

Los herrajes se utilizan como puntos de amarre, uniendo el aislador al conductor y al apoyo, y como elementos auxiliares situados a lo largo de los conductores. Además, pueden desempeñar funciones eléctricas. Adicionalmente a la protección que brinda el cable de guarda y el sistema de puesta a tierra, en las líneas de alta tensión, particularmente en los sistemas de tensión superior a 230 KV, se debe proteger a los aisladores de los arcos eléctricos originados por sobretensiones, por medio de un conjunto de dispositivos de protección, entre los cuales son de uso frecuente: los cuernos de descarga o antenas superiores e inferiores y anillos de protección. (Longatt, 2007).

2.8.1 Tipos de Herrajes

Grapas o grampas

Estos elementos se utilizan para mantener unidos los conductores a la cadena de aisladores, su fabricación se basa en aluminio de alta resistencia y anticorrosivo, los accesorios de unión entre grapas y cadena de aisladores, como pernios, tuercas, argollas, chavetas, etc., son material de acero galvanizado, para evitar la corrosión de estos accesorios. Existen dos tipos de grapas:

Suspensión: Transmite fuerzas propias del conductor más sobrecargas eventuales en el sentido vertical al respectivo punto de apoyo



Figura 19.- Grampa tipo de suspensión con accesorios Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile

Anclaje: soporta los esfuerzos resultantes de la fase comprometida



Figura 20.- Grapa tipo de anclaje con accesorios. Obtenido de: Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile

Paleta

Corresponde al accesorio que trae la grapa de anclaje para conectar los puentes que darán la continuidad eléctrica en cada fase, en las distintas estructuras de anclaje.

Antivibradores o Amortiguadores

Los anti vibradores disipan las vibraciones en los conductores ocasionadas por el viento (Figura 17). Las vibraciones causan problemas en la línea de transmisión, los amortiguadores tienen por objeto evitar que al presentarse vibraciones estas sucedan ininterrumpidamente. El principio de casi todos los tipos es el de introducir un elemento diferente en una cuerda homogénea, con lo cual el movimiento armónico simple se rompe; también es posible utilizar el golpe directo en la onda vibratoria cuando la elasticidad del amortiguador lo permite, como es el caso de los del tipo *Stock bridge*, el cual está constituido por dos elementos cilíndricos unidos por un cable de acero el cual a su vez está dotado de un conector para unirlo al conductor. Este es el tipo más usado. (Longatt, 2007)

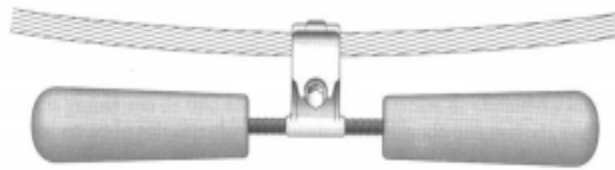


Figura 21.- Amortiguador Stock bridge

Poleas

Son usadas para el tendido previo a engrapar los conductores a los puntos de apoyo definitivos, estas poleas son afianzadas en forma temporal a la cadena de aisladores, esto con el fin de minimizar daños al conductor al momento de realizar el montaje y permite que las hebras logren acomodarse.



Figura 22.- Poleas.

Preformados

Se le llama de esta manera al acero galvanizado que es instalado para formar una malla protectora alrededor del conductor en los puntos donde existan grapas de suspensión, con esto se pueden evitar daños en el momento de colocar la grapa.



Figura 23.- Preformados.

Protecciones al herraje

Son el conjunto de elementos colocados al final de la construcción y tendido de la línea aérea de alta tensión. Las boyas son colocadas en medio de los claros del conductor y sirven como señalamiento para los pilotos de aviones y helicópteros que vuelen cerca de las líneas, esta señalización los ayudara a mantener su distancia. Dentro de las protecciones de herraje

también se coloca un tubo de PVC al herraje (amortiguadores, grapas, etc.) y se le coloca antiguano, con el fin de evitar que las heces de las aves y la humedad del ambiente llenen de sarro las protecciones de las torres.



Figura 24.- Boyas

2.9 Maquinaria de construcción

Para efectos prácticos de este proyecto, se llamara maquinaria de construcción a cada máquina que proporcionara apoyo durante la construcción de la línea de transmisión.

2.9.1 *piloteadora*

Las maquinas piloteadoras, también son conocidas como maquinas piloterías, estas permiten la ejecución de pilotes (cimentaciones profundas), los cuales proporcionan soporte a las cimentaciones de edificios y otros tipos de estructuras tales como puentes y viaductos. Es decir realizan perforaciones en el terreno que atraviesan las capas incompetentes del suelo hasta alcanzar un nivel capaz de transmitir adecuadamente las cargas de la estructura o hincar en el terreno pilotes prefabricados hasta alcanzar el rechazo también conocido como sustrato competente para soportar las cargas que gravitan sobre él.

2.9.2 *Retroexcavadora*

Estas máquinas ofrecen excelentes capacidades de excavación, apertura de zanjas, relleno y manipulación de materiales, y pueden utilizarse en numerosas aplicaciones, tales como construcción general, demoliciones y excavaciones, paisajismo, rotura de asfalto y pavimentación. Las retroexcavadoras proporcionan la potencia y la manipulación precisa que necesita cuando trabaja en zonas donde el uso de equipos más grandes no es práctico.

2.9.3 *Pipas de agua*

Estas son aquellas que transportan agua potable con el fin de ofrecer un control de polvos, debido al ambiente de trabajo.

2.9.4 Grúas

Es una máquina para levantar o transportar de un lugar a otro, cosas muy pesadas, en general está formada por una estructura de tipo metálica con un brazo móvil horizontal del que cuelga un cable con un gancho.

2.9.5 Traccionadora

Este equipo proporciona la fuerza de tiro necesaria para retirar el cable guía y jalar el OPGW para posicionarlo en toda su longitud en las torres (Condumex, 2020).

2.9.6 Devanadora

Esta máquina se utiliza a la salida del carrete para controlar la salida del cable que se instala. Su función consiste en mantener una tensión constante en el cable, frenándolo y alimentando sólo la cantidad requerida de cable al tendido, con tensión y velocidad controlada. También evita que se sobretensione el desenrollador, permitiendo un desenrollado de las espiras del cable en forma controlada (Condumex, 2020).

2.9.7 Camión revolvedor

También llamado camión mezclador es un vehículo equipado con un tambor mezclador, con este, se puede transportar hormigón o concreto premezclado, evitando que se endurezca. Una de las ventajas de los camiones mezcladores es que permite transportar la mezcla sin que se pierdan sus propiedades y la humedad.

Capítulo 3.- Construcción de una línea de transmisión de 400 KV área.

Recapitulando, la línea de transmisión es aquella que mediante sus conductores permite la transferencia de una señal desde una fuente hacia una carga, cuyo comportamiento vendría un ser complejo y dependerá de la frecuencia, el medio por el que se transmita y la distancia pudiendo ser tan corta (algunos metros) así como tan larga (extenderse varios kilómetros).

La construcción de esta línea de transmisión es realizada debido a la construcción del parque solar fotovoltaico Tuli-Helios, junto con su subestación elevadora. A fin de ilustrar lo dicho, la siguiente figura muestra un ejemplo de la línea de transmisión que se debe construir entre las subestaciones eléctricas.

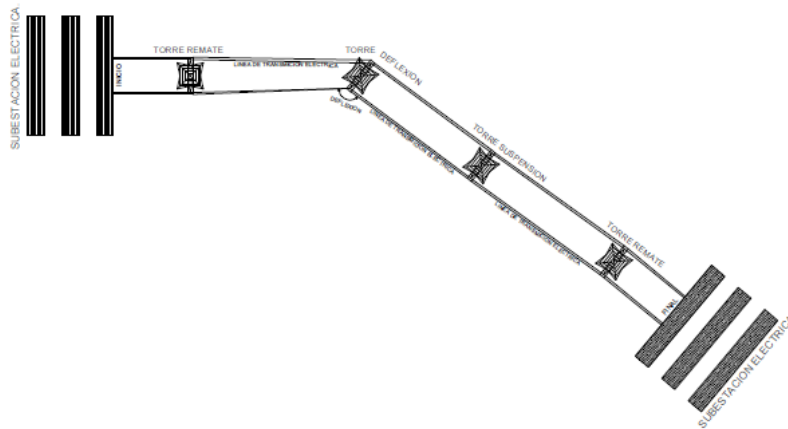


Figura 25.- Línea de transmisión

En el caso de la línea a construir solo se utilizaran torres de suspensión, puesto que ambas subestaciones se encuentran en línea recta. Además de 1 troncocónico para la conexión de la línea de transmisión a la subestación 1° de Mayo. Así en este capítulo se descubrirá el proceso de construcción de una línea de transmisión para el cual cada paso corresponde a un subtema, desde el replanteo topográfico hasta la regulación y tendido de cables.

3.1 Replanteo topográfico

De acuerdo a estudio de topografía y planos otorgados por CFE, el cliente solicito que se realizara la construcción de una línea de 11 torres y 1 troncocónico. Para ello CFE entrego a la contrata los planos de construcción de la línea, quien posteriormente se los proporciono a su equipo topográfico para dar comienzo a la obra.

La topografía puede definirse como un conjunto de técnicas de las cuales algunas pueden ser utilizadas para el replanteo de una obra de ingeniería, para esto se tiene que evaluar el área de trabajo e inspeccionar mientras que, por el replanteo, entendemos a la materialización en el terreno de los planos, es decir por medio del replanteo se plasma en el terreno todos los elementos contenidos en el plano, para llevar a cabo esta actividad es necesario contar con diversos instrumentos de medición como el taquímetro y la estación total de topografía.

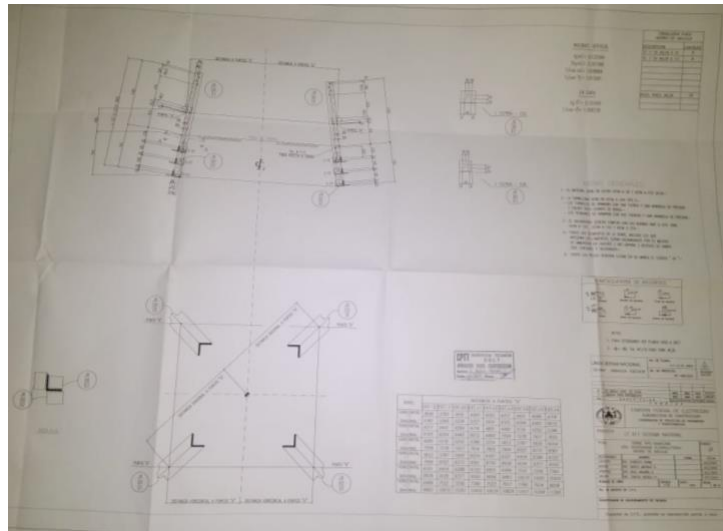


Figura 26.- Plano de distribución de las patas de una torre.

Podemos definir al taquímetro como un instrumento de medición. El cual es capaz de sacar valores angulares y horizontales permitiendo medir planos de referencia también dar lecturas sobre la mira, posiciones y direcciones de puntos a partir de un punto de referencia. Mientras que la estación medidora es un aparato conocido como teodolito que cuenta con un distanciometro, el cual es capaz de medir ángulos y distancias simultáneamente. Además se

caracteriza por contar con una pantalla alfanumérica (LCD), leds de aviso, calculadora y un seguidor de trayectoria (Tracker).



Figura 27.- Estación total.

Por lo cual para materializar los planos de la obra en el terreno, es decir realizar un replanteo topográfico se necesita de una estación total que nos permita acoplar el terreno a los planos. Cabe mencionar que dentro de este replanteo es considerado el impacto ambiental ejercido sobre el terreno en el cual está por llevarse a cabo la obra.



Figura 28.- Topógrafo realizando mediciones.

3.1.1 Delimitación del terreno

El topógrafo encargado del replanteo debe definir las medidas de control de los trabajos. Es decir individualizará cada estructura del plano, con la finalidad de acoplarlo a las medidas e inclemencias del terreno.

En esta individualización física definirá el tipo de estructura, las coordenadas, distancias, etc., que deberán encontrarse comparadas con las teóricas (encontradas en el plano), esto con la finalidad de que el contratista conozca las modificaciones que se harán al plano y contar con su aprobación.

Una vez teniendo la aprobación del dueño, se procede a realizar el siguiente paso de la construcción. Se delimita el terreno construyendo un tipo de cerco de manera provisional para las 4 patas de la torre, además de señalizar la zona con cinta delimitante, se pueden ocupar además conos y letreros de advertencia como indicación para los trabajadores. Es importante que dentro de este replanteo se tomó en consideración también los caminos de acceso a la obra tanto del personal, referente a caminos peatonales tanto de los vehículos que se encargan de transportar al personal de un punto a otro.



Figura 29.- Delimitación del terreno.

3.2 Excavación, cimentación y Colocación de Stub

Una vez realizado el trazo topográfico y marcado donde será el trabajo de excavación mediante la supervisión del jefe de obra encargado, se realizarán las actividades de inspección-verificación de la zona. Cabe mencionar que antes de realizar los trabajos de excavación, se deberá realizar en cada ubicación de cada torre una limpieza del terreno. La cual consistirá en la remoción de la capa de materia vegetal, tala y desentronque de árboles en caso de ser necesario, además de todos aquellos elementos que entorpezcan las actividades. Todo este material retirado, deberá ser colocado en el lugar indicado por el departamento forestal, ayudando así a disminuir el impacto ambiental por la reubicación de material.

3.2.1 Excavación

Para lograr un correcto proceso de excavación se deberá iniciar con las actividades por los bordes con ayuda de una maquina conocida como piloteadora. Se debe recordar utilizar las referencias y trazos delimitados que fueron proporcionados por el topógrafo.



Figura 30.- Piloteadora.

Una vez estando en perforación el supervisor debe llevar a cabo la actividad considerando taludes de acuerdo al ángulo natural de la tierra, todo esto con la finalidad de evitar desbordes de las paredes. La profundidad a perforar dependerá de las condiciones del terreno y las medidas de la torre, se debe ser minucioso en cuanto a las instrucciones dadas por el topógrafo y las actividades aceptadas por el encargado y supervisores de trabajo, puesto que al tener un plan de acción se evitan excavaciones extras que provoquen retrasos en la programación de todas las tareas. Puesto que retrasarse en alguna actividad, retrasara toda la obra.



Figura 31.- Excavaciones delimitadas.

Una vez terminado el trabajo de excavación, se debe retirar el material de excavación, el cual será depositado a una distancia específica con la finalidad de mantener la zona de trabajo libre de obstáculos. Ya que con esto se podrá tener un correcto acceso al área excavada permitiendo la posterior manipulación del stub, maquinaria y material de construcción necesario para poder trabajar de manera correcta.

El equipo a utilizar durante la excavación así como el método, dependerán del tipo de material que va a excavar y de las condiciones que den acceso al lugar de trabajo. Es decir el trabajo se puede llevar acabo de forma manual o mecanizada. Para el caso de la última, es necesario colocar los señalamientos adecuados para evitar accidentes dentro de la construcción.

Como ya se mencionó anteriormente es necesario que todas aquellas excavaciones queden señalizados con cinta de peligro y toda aquella señalética de seguridad necesaria para estos

trabajos. Se deben llevar acabado también otras medidas, como colocar tapas en las zonas de excavación que lleguen a exceder los 1 metros de profundidad, para evitar que los animales caigan dentro.

3.2.2 Cimentación

Una vez teniendo las 4 perforaciones, correspondientes a las patas de las torres, se colocan los churros y el sistema de tierras de cada pata correspondiente a la torre tal como se muestra en la figura



Figura 32.- Colocación de los churros.

Posteriormente, colocado el churro se sostiene mediante varillas para evitar que se mueva y quede recto, es decir se realiza una calibración y asentamiento de este.



Figura 33. Asentamiento.

Una vez asegurado, se procede a inmovilizar el churro mediante varillas y tablas de madera. Esto con la finalidad de evitar el movimiento del churro al depositar el cemento.



Figura 34.- Aseguramiento final.

3.2.3 Colocación de los Stubs

Una vez realizado todo lo anterior y siguiendo el plan de construcción se procede a colocar el stub dentro del chorro colocado en la excavación. El stub (el ángulo de anclaje en cimentación) es uno de los elementos de mayor importancia en las cimentaciones, debiendo ser diseñadas de acuerdo con las especificaciones del ASCE. El stub permite sujetar y fijar la Torre para evitar el colapso, siendo esta su mayor importancia dentro de la cimentación, además que el ángulo de abertura o inclinación determina la mayor resistencia a los esfuerzos provocados por una línea de transmisión eléctrica. (ALEJANDRO, 2019). Es importante seguir las indicaciones de los planos puesto que los Stub de las torres de suspensión son distintos a los usados en las estructuras de anclaje.



Figura 35.- Primeras alineaciones del stub.

Con la finalidad de obtener la altura debida y proporcionar el apoyo, se debe soldar en la parte inferior del stub unas tuercas, lugar donde se colocara un trozo de hilo corrido que ayudara a nivelar y obtener la cota. En caso de no obtener la medida correcta debe realizarse otra acción, la cual consiste en soldar un trozo de ángulo en la parte inferior del stub.

Además en caso de necesitar aumentar la adherencia del stub al chorro, se puede optar por soldar piezas en los bordes del inserto en forma de L.

En las siguientes figuras se observa la colocación del stub dentro de los churros, la diferencia entre ambas fotografías radica en el tipo de terreno donde se realizó la cimentación.



Figura 36.- Colocación de stub.

En la figura anterior se muestra un stub colocado en una excavación con terreno inestable que requiere de un churro de mayor longitud, mientras que en la siguiente figura podemos observar la excavación de un terreno estable que requiere de un tipo diferente de churro.



Figura 37.- Stub en terreno estable.

Los dos tensores que se observan en ambas imágenes, sirven como soportes y se colocan para sostener a los stubs en su lugar, estos se encuentran anclados al terreno mediante varillas, también sirven para mantener el stub en el ángulo de inclinación determinado por la forma

del terreno y la altura correspondiente de la torre. Para conseguir un mejor margen se debe controlar la distancia entre pernos de referencia y diagonales en los extremos superiores.



Figura 38.- Soportes del stub.

Para continuar, se coloca una media al final del canal de la revolvedora, esto con la finalidad de que la mezcla no salpique y quede asentada y/o compactada de manera correcta. Tal como se observa en la figura 39.



Figura 39.- Colocación de la media.

Después de rellenar el chorro se coloca un molde (figura 40). Estos son basados en placas, se colocan con la finalidad de los moldes es mantener las dimensiones y la forma geométrica de las fundaciones logrando así evitar el gasto excesivo de hormigón.



Figura 40.- Armado de un molde.

Antes de llenar los moldes, estos deberán ser limpiados y se les aplicara un desmoldante para lograr desprenderlos del hormigón sin dañar los bordes de la cimentación.



Figura 41.- Vaciado de hormigón terminado.

Cuando se tiene el molde relleno (figura 42) se debe realizar una reparación en la superficie del molde para dejar terminada la cimentación del Stub. Este paso es importante ya que el obrero se asegura de dejar en perfectas condiciones el cimentado, evitando burbujas de aire o defectos en ella.



Figura 42.- Reparación de defectos en superficie.

3.4 Procedimiento para el armado de las Torres

Antes de realizar cualquier tipo de armado correspondiente a las torres se debe realizar una medición de las ráfagas de viento existentes con la ayuda de un anemómetro (Figura 40). Un anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico. Para determinar la velocidad, un anemómetro detecta el cambio en alguna propiedad física del fluido o el efecto del fluido en un dispositivo mecánico insertado en el flujo. Un anemómetro puede medir la magnitud de la velocidad total, la magnitud de velocidad en un plano, o el componente de velocidad en una dirección específica. (INC., 2019)

Si este aparato arroja una lectura mayor a 25 km/h el trabajo se suspende, debido a que el montaje de la estructura se realiza mediante grúa, y con esa velocidad del viento la grúa puede volcarse, lo cual es un riesgo para los trabajadores y la empresa. La medida óptima para el armado se encuentra entre 10 y 20 km/h como se muestra en la figura 40.



Figura 43.- Anemómetro con medida excedente.

Cuando el anemómetro marque una medida dentro de los límites aceptables se dará bandera verde y podrán realizar las actividades. Este procedimiento es necesario por el tipo de armado

de estructuras elegido por el cliente, es cual consiste en un armado de partes de la torre en el suelo para posteriormente unir unas con otras con la ayuda de una grúa.

Algunos otros puntos a considerar antes de comenzar el armado de las estructuras son los siguientes.

- El supervisor debe asegurarse de que todo el personal tenga su EPP, conozca las actividades a realizar, firme la matriz de accidentes, en donde acepte conocer los riesgos de las actividades a realizar y las medidas preventivas y correctivas en caso de incidentes.
- Se tenga una lista de piezas a ocupar por cada torre, de preferencia separadas por montones para evitar pérdidas de tiempo y confusiones entre torres.
- Una vez separadas las piezas se debe comprobar que estas se encuentren en buen estado y que estén identificadas.
- Se establecerán los puntos en los que será apoyada la grúa
- Se realizaran monitoreo de viento constantemente
- Asegurarse de que cada trabajador tenga la herramienta necesaria para realizar el armado.



Figura 44.- Anemómetro con ráfaga óptima.

En cuanto al torque que se le dará a cada perno o tornillo utilizado durante el armado de las estructuras como lo son las torres y el troncocónico CFE proporciona en su Especificación CFE J1000-50 Torres para líneas de transmisión y subtransmisión de 69kV y mayores. La siguiente tabla:

Tabla 1.- Par de apriete de Tornillos A-394

Par de apriete para tornillos A-394 Tipo 0.	
Diámetro de Tornillo mm	N . m
12.70 (1/2")	49.05
15.88 (5/8")	98.1
19.05 (3/4")	166.77
25.40 (1")	382.59

3.4.1 Boton Panel

Para realizar el armado de las partes de la torre, se necesita que como ya se mencionó anteriormente, el trabajador conozca los riesgos a los cuales se enfrenta, además de conocer el equipo de protección personal que debe usar para estar seguro durante el desarrollo de esta actividad y debe saber cómo colocarse el equipo, esto con ayuda del supervisor a cargo. Una vez verificado el EPP en el personal como se muestra en la figura 45.

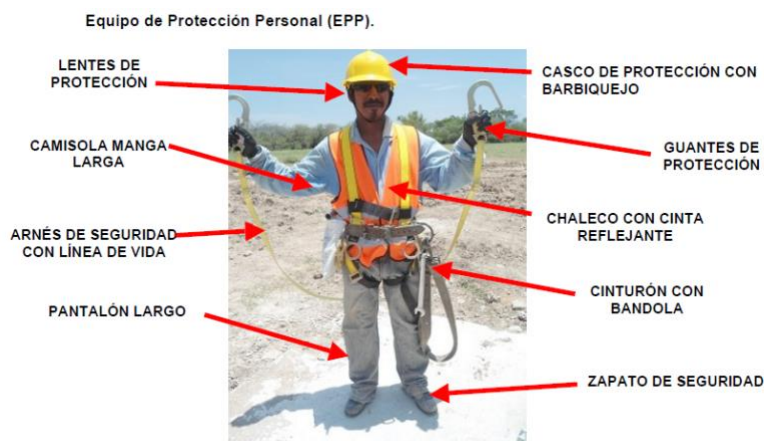


Figura 45.- Equipo de Protección Personal.

Poniendo énfasis en su línea de vida y arnés por los trabajos de altura a realizar (a partir de los 1.8m de altura) es importante conocer cada parte del arnés para así verificar que el equipo se encuentre en buen estado.



Figura 46.- Partes del Arnés y línea de vida (absorbedor de energía).

En este momento los linieros también conocidos como montadores, están listos para armar las estructuras en tierra que posteriormente ensamblaran de acuerdo a los planos con ayuda de una grúa. En la figura 47 se observa el levantamiento de una de las patas del boton panel.



Figura 47.- Armado y ensamblado del botón panel.

Cada una de las partes ensambladas es realizada de acuerdo a las especificaciones mostradas en los planos, dichos planos fueron proporcionados por CFE, el boton panel es montado sobre los stubs previamente cimentados.



Figura 48.- Colocación de piezas con apoyo de grúa.

Como se muestra en la figura 48, una vez que se realizó el armado de la estructura, se monta sobre los stubs con ayuda de una grúa. Al momento de realizar el montaje los linieros guían al operador para la correcta colocación, al final deben asegurar estas partes con los pernos necesarios para su fijación. Por ultimo tenemos la finalización del primer armado:



Figura 49.- Boton panel armado y montado

3.4.2 Cuerpo piramidal

Para continuar tenemos el armado del cuerpo piramidal, para realizar esta actividad respetaremos las indicaciones mencionadas anteriormente, es decir, se debe medir la velocidad del viento y se debe contar con el EPP apropiado, puesto que seguimos con trabajos en alturas.

De igual manera se realiza el armado a nivel de suelo, posteriormente se izan mediante grúa las partes armadas para después sujetarlas con pernos



Figura 50.- Izaje de piezas

En esta parte de la torre nos podemos encontrar con planos que indiquen aumentos tanto positivos como negativos, estos dependerán del tipo de torre, terreno y voltaje, es decir, dependerán únicamente de las condiciones de la obra y dichos aumentos serán aprobados por el cliente, para este caso CFE.



Figura 51.- Montaje del cuerpo piramidal.

3.4.3 Vestido de la armadura

El vestido de la torre se realiza de manera similar a las partes anteriores, es armado a nivel de suelo y es izado mediante grúa, este es colocado sobre el cuerpo piramidal tal como se observa en la figura 52



Figura 52.- Izaje del vestido de la armadura.

3.4.4 Cuerpo recto

Para realizar este tipo de armados se necesita ser en extremo preciso y cuidadoso, por lo que al subir las partes armadas a nivel del suelo las medidas precautorias son de suma importancia. El operador de la grúa cuenta con certificaciones de trabajos de alturas que aseguran a las contratas, que el trabajador cuenta con la experiencia y los requisitos suficientes para realizar este tipo de armados.



Figura 53.- Levantamiento del cuerpo recto.

Una vez izada la pieza, con precisión el operador de la grúa la comienza a ajustar.

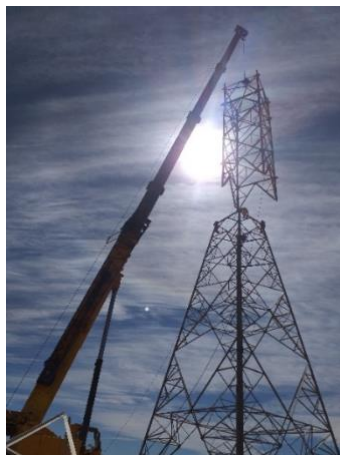


Figura 54.- Linieros arriba de botón panel esperando el cuerpo recto..

Como se observa en la figura 54, los montadores se encuentran arriba del vestido de la torre esperando a que el operador realice el izaje para colocar los pernos necesarios que ajusten el cuerpo recto.



Figura 55.- Ajuste del cuerpo recto.

3.4.5 Cruceta y cuernos de la torre

Dependiendo de las necesidades de cada torre algunas contarán con cuernos inferiores, medios y superiores. En la siguiente imagen se observa una torre que cuenta con cuernos a la altura del vestido de la torre. Los cuales también son armados en suelo e izados por la grúa. Para su posterior ajuste con pernos.



Figura 56.- Cuernos en el vestido de la torre.

Además se cuenta en la línea con torres que tienen los cuernos en el cuerpo recto de las torres.



Figura 57.- Cuernos en el cuerpo recto.

Por último, se muestra una torre de la línea con cuernos en el vestido, cuerpo recto y en la cruceta de la torre.



Figura 58.- Ultimo Izaje en torre.

Cabe mencionar que en caso de ser necesario y por indicación del cliente se le puede aplicar color a los cuernos de la torre, para el caso de estas torres se pidió que a ciertos cuernos de

la torre se les colocara una capa de pintura amarilla y a otros una capa roja, como se muestra en las figuras 59 y 60.



Figura 59.- Cuernos de la torre pintados de rojo.

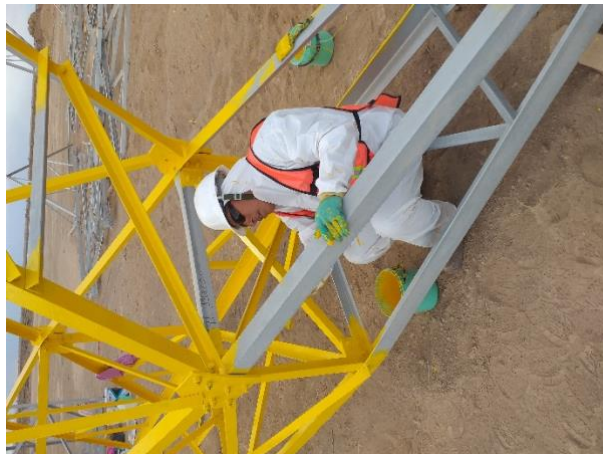


Figura 60.- Cuernos de torre pintados de amarillo.

3.4.6 Armado de troncocónicos

Para la construcción de esta línea fue necesario montar tanto torres como troncocónicos. Estos últimos ubicados al final de la línea de transmisión. Para realizar el armado de estos se necesitó del plano, excavación, cimentación, armado e izado por grúa tal como se realizó en cada torre.



Figura 61.- Colocación en cimentación.

Como se observa en la figura 61 una vez cimentada la base del troncocónico se procede a colocar la primera parte, la cual quedara fija mediante pernos. En la figura 62 se observa la perspectiva completa:



Figura 62.- Primera parte del troncocónico.

Para terminar con el armado de esta estructura se iza la última parte del troncocónico y se ajusta junto con sus crucetas.



Figura 63.- Izaje de parte del troncocónico.

3.5 Instalación de Aisladores

El trabajo de instalación de cadenas de aisladores, también conocido como vestido de estructuras, se realiza con la finalidad de evitar la inducción o arco eléctrico entre los conductores y la estructura.

Para realizar la actividad los linieros deben realizar un procedimiento similar al armado de la torre, puesto que, armaran las cadenas de aisladores a nivel de suelo, con la diferencia de que el izaje de la cadena será con ayuda de una traccionadora o huinche.



Figura 64.- Armado de la cadena de aisladores.

Para este tipo de torres CFE dictamino que los aisladores a utilizar serian de vidrio, por lo que el montaje de las cadenas de aisladores se hace sobre estructuras de madera y plástico para evitar que adquieran polvo. El izaje de la cadena debe realizarse no sin antes comprobar el ajuste de los pernos, la abertura de los pasadores y la limpieza de cada aislador.

El montaje de aisladores es realizado mediante poleas y traccionadora, esto debido al peso y los linieros son quienes aseguran estas cadenas de aisladores y con ayuda de una soga como viento mantienen los aisladores en posición vertical durante la subida, evitando daños por golpes. Esta cuerda auxiliar será maniobrada desde el suelo, el estrobo de la cadena se debe realizar en el tercer o cuarto aislador partiendo del extremo superior y colocando una protección de madera en los aisladores protegiéndolos contra el roce del estrobo. Esta atadura

deberá tener flexibilidad en la parte superior con la finalidad de facilitar el armado en la cruceta.



Figura 65.- Izaje de Aisladores.

Cabe mencionar que la maquina se anclara al suelo mediante cáncamos de izaje (Figura 63).



Figura 66.- Ejemplos de Cáncamos de izaje.

Para la maniobra de elevación se utilizaran un par de poleas de servicio en la torre, una superior supervisada por un trabajador en el lugar donde se colocaran los aisladores y otra en la parte inferior que será colocada cuando la cadena de aisladores se icle de 1 a 1.5 m del nivel del suelo, esta polea ayudara en el proceso de tendido de los conductores. Se debe atar un extremo de la soga en la cadena de aisladores haciéndolo pasar por las poleas y llegando a la traccionadora, esta debe tener mínimo 3 vueltas en su tambora por medidas de seguridad.

Durante el izaje se prohíbe el paso de cualquier trabajador por debajo de la carga suspendida por medidas de seguridad. Además el operador de la maquina debe tener un ayudante como apoyo para verificar que la cuerda no se suelte de la máquina y que la carga caiga al suelo.



Figura 67.- Fijación de cadena de aisladores.

Una vez arriba las cadenas de aisladores, el trabajador que se encuentra en la parte superior indicara al operador de la traccionadora o huinche como se debe proceder. Este liniero se encargara de realizar el montaje de estas sobre la torre, instalando el grillete en el casquillo de punta para el aseguramiento de las cadenas de aisladores, además indicara cuando se destensar el estrobo de elevación. Una vez colocado y destensado el estrobo se bajara con ayuda de las cuerdas auxiliares, por ningún motivo se debe dejar en caída libre. Debajo de cada cadena de aisladores se encuentra una polea que es por donde se realizara el tendido del cable conductor.



Figura 68.- Instalación de aisladores.

3.6 Tendido de Conductores y Cable de guarda OPGW

Antes de iniciar el tendido de los cables, es fundamental realizar un estudio del tramo de la línea que se va a tender. En este estudio, se deben considerar varios aspectos importantes:

1. Realizar un recorrido por el tramo involucrado para identificar posibles inconvenientes durante la ejecución del tendido. Esto permitirá tomar las medidas necesarias y evitar improvisaciones. Entre los posibles inconvenientes se encuentran cruces de caminos, líneas existentes, ferrocarriles y correas transportadoras, entre otros.
2. Definir los lugares adecuados en cada extremo del tramo para la ubicación del huinche y el freno también conocidos como traccionadora y devanadora. Es esencial que el lugar donde se instalará el freno cuente con suficiente espacio para llevar a cabo todas las maniobras, incluyendo la ubicación de carretes y las operaciones de carga y descarga. Además, se debe alejar de las estructuras de anclaje para evitar sobreesfuerzos en la cruceta donde se encuentra instalada la polea de la fase que se va a tender.
3. Es importante asegurarse de que los equipos, tanto el freno como el huinche, queden firmemente afianzados al terreno para evitar sobreesfuerzos en los conductores debido a desplazamientos accidentales de los equipos.
4. Se recomienda ubicar el freno y el equipo de tiro en el eje de la línea y fuera del tramo de tendido. Esto facilitará el corrimiento tanto del cable guía como de los conductores o el cable de guarda. La distancia adecuada para estos equipos es al menos 2 veces la altura de la cruceta involucrada, medida al nivel del terreno natural.

Al considerar estos aspectos y realizar un estudio exhaustivo del tramo de la línea antes de comenzar el tendido de los cables, se podrá llevar a cabo el proceso de manera más segura, eficiente y sin contratiempos.

En situaciones donde las condiciones del terreno impidan instalar los equipos en la posición previamente indicada, es posible considerar otra solución, siempre y cuando se justifique

técnicamente y se asegure que no habrá riesgos de atascamiento del conductor en dicho punto. Es recomendable seleccionar los tramos a tender de manera que el freno pueda ser útil en el mismo punto para tender dos tramos, simplemente girándolo 180 grados.

Es importante tener una clara comprensión de la longitud del tramo en el que se realizará el tendido para optimizar el uso de los carretes porta conductores y el cable de guardia. Para lograr esto, se debe realizar previamente una programación de tendido, con el fin de minimizar uniones innecesarias de conductores.

El equipo de topografía debe revisar las tablas de templado de conductores antes de iniciar el tendido y tener en cuenta los vanos de control indicados por ingeniería, verificando los valores de flechas mencionados en dichas tablas.

3.6.1 Análisis del tramo a tender

Para comenzar con este trabajo se debe realizar el análisis del tramo a tender como se menciona anteriormente, en este caso se cuenta con un cruce federal por lo que se tomaron medidas precautorias, las cuales consisten en la colocación de líneas auxiliares conocidas como violines, usadas como protección en caso de que el cable llegase a tener rupturas, evitando así la caída abrupta sobre la carretera.

Los violines desempeñan un papel crucial en la salvaguardia de los cables conductores (fases) en situaciones de posibles accidentes en el tendido eléctrico. Estos elementos de protección se emplean para prevenir el colapso de los cables sobre los conductores, evitando daños significativos.

Consistiendo en cuerdas estratégicamente dispuestas sobre los conductores, los violines son implementados en áreas específicas como cruces de media tensión, cruces de carretera y tramos largos. En el caso de cruces de media tensión, se requiere una licencia de CFE Distribución, que debe ser en vivo. Esta licencia se solicita para permitir la supervisión de la línea eléctrica de media tensión por parte del personal de distribución. En situaciones que

demanden protección adicional, dicho departamento facilitará los recursos necesarios, como, por ejemplo, el uso de una grúa para la colocación precisa de los violines.

Los violines representan un componente esencial en la prevención de incidentes y en el mantenimiento de la integridad de la infraestructura eléctrica, asegurando así la continuidad del suministro de energía de manera segura y eficiente.



Figura 69.- Violín en cruce de media tensión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.



Figura 70.- Violín en cruce de carretera. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

Tabla 2.- Especificaciones de distancias proporcionadas por CFE, en metros.

LIBRAMIENTOS MÍNIMOS	115 kV	138 kV	230 kV	400 kV
Áreas de acceso a peatones	7.00	7.50	8.50	10.65
Vías férreas	15.00	15.00	16.00	18.00
Carreteras-calles-caminos	9.00	9.20	10.00	12.20
Campos de cultivo (cereales, leguminosas, hortalizas, entre otros.)	7.00	7.55	9.00	11.00
Zonas de huertos (cítricos, manzanos, ciruelos, guayabos)	11.00	11.50	12.00	15.00
Zonas cafetaleras y cercos "vivos"	11.00	11.50	12.00	15.00
Cultivo de caña	13.00	13.20	14.00	16.00
Aguas navegables	13.00	13.20	14.00	16.00
Zonas inundables	7.00 + TIME	7.50 + TIME	8.50 + TIME	10.65 + TIME
CRUZAMIENTOS CON LÍNEAS ELÉCTRICAS Y DE COMUNICACIÓN				
	115 kV	138 kV	230 kV	400 kV
LT HASTA 50 kV	2.74	2.95	3.65	6.10
LT 69 kV	2.93	3.15	3.85	6.29
LT 115 kV	3.39	3.60	4.31	6.75
LT 138 kV	3.62	3.80	4.54	6.98
LT 161 kV	3.85	4.05	4.77	7.21
LT 230 kV			5.46	7.90
LT 400 kV				9.60
Líneas de comunicación, líneas de tranvías, trolebuses o trenes con vía aérea eléctrica	5.00	5.50	7.00	8.00

[illegible]

Figura 71.- Ejemplo grafico de protecciones a carreteras proporcionados por CFE.

En este proyecto se realizaron los siguientes arreglos para cumplir con las medidas de protección a la carretera.



Figura 72.- Cruce carretero de 1° de Mayo.

3.6.2 Colocación de poleas

La realización de la actividad requiere una planificación de trabajo en colaboración entre el residente de obra y el sobrestante. Se ha dividido el trabajo en cuadrillas, con cada supervisor encabezando un equipo que consta de dos linieros y un ayudante. Cada supervisor tiene asignada una camioneta para transportar al personal y facilitar el acceso a las torres.

Antes de iniciar el proceso, se debe obtener una licencia de acceso a la torre, que es otorgada por el supervisor de CFE encargado del grupo y tiene un tiempo de vencimiento específico. El residente debe entregar la licencia al supervisor a diario, antes de su vencimiento, para evitar sanciones monetarias.

El proceso de instalación de poleas en las torres incluye varios pasos:

1. Llegada a la torre y verificación del área por el supervisor.
2. Ascenso del primer liniero a la torre utilizando ganchos y anclajes, llevando consigo la polea Sherman para colocar la mandadera.

3. Ascenso del segundo liniero llevando la cuerda.
4. Colocación de la mandadera en el cuerno de la torre.
5. Subida de la polea
6. Amarre de la polea y herramientas para su montaje.
7. Uso de herramientas específicas para instalar la polea.
8. Utilización de la mandadera para regresar la herramienta a nivel suelo.
9. Descenso seguro de los linieros.



Figura 73.- Linieros subiendo el material. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

Se debe destacar la importancia de la hidratación y el cuidado del personal, especialmente en condiciones climáticas adversas. Cada cuadrilla debe tener acceso a agua y seguir precauciones en climas cálidos, como reducción de exposición solar, uso de sueros y disponibilidad de atención médica.

Las poleas utilizadas para la instalación de OPGW deben cumplir con ciertas especificaciones, como tener un diámetro mínimo de 600 mm y estar recubiertas de neopreno. El recubrimiento de neopreno debe estar en buenas condiciones para garantizar la seguridad.



Figura 74.- Ejemplo de daños en poleas. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

En resumen, la actividad involucra la colaboración entre el residente de obra, el sobrestante y las cuadrillas de trabajadores para instalar poleas en torres de transmisión eléctrica. Se enfatiza la importancia de la seguridad, la planificación y el cumplimiento de especificaciones para evitar accidentes y asegurar un proceso exitoso.

3.6.3 Instalación de maquinaria e izaje del carrete

El izaje de maquinaria se realiza en los días más ligeros del trabajo, para agilizar el acomodo y ahorrar tiempo en los días de tendido, mientras que por motivos de seguridad, el carrete se ubica en el día del tendido. En este caso no se encontraron inconvenientes ya que solo se tendió de un solo tirón. Durante el proceso de izaje, se siguen medidas de seguridad, como no estar debajo del objeto en elevación, evitar pararse sobre la plataforma de la grúa y acordonar el área.

El operador de la grúa maneja la pluma, mientras un ayudante engancha la máquina y otro sostiene una cuerda como medida de seguridad. El operador eleva la máquina y la coloca en la grúa. En caso de obstáculos, se detiene la maniobra para resolverlos. Una vez en la grúa, se asegura la máquina con frenos y montacargas para prevenir movimientos no deseados.

En el caso del izaje del carrete y sus partes para el tendido del cable, se sigue un procedimiento similar:

- Colocación del gancho en la máquina, ajuste del viento y retiro del freno y montacargas.
- Elevación de la máquina siguiendo las indicaciones del residente de obra, supervisor de seguridad y operador.
- Aseguramiento de la máquina con freno y retirada del gatillo.
- Colocación de dos tierras físicas mediante montacargas para drenar descargas eléctricas y completar el posicionamiento de la máquina.

Es esencial seguir estas medidas de seguridad y procedimientos para garantizar un izaje seguro y eficiente de la maquinaria, contribuyendo así a la prevención de accidentes durante las operaciones.



Figura 75.- Izaje de la máquina. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

Recomendaciones para el manejo del carrete de cables durante la Instalación

Durante la instalación de cables, es común enfrentar desafíos en su manejo, como giros cruzados, espiras enterradas en capas inferiores del carrete y deterioro de la estructura del carrete durante el desenrollado. Estos problemas a menudo se originan en un manejo inadecuado durante el transporte del carrete. Para prevenir inconvenientes durante las maniobras de tendido, COELMEX proporciona las siguientes pautas:

1. Inspección al recibir el carrete en el sitio:

- El carrete no debe tener duelas rotas.
- Al retirar las duelas, no deben notarse golpes ni deformaciones en el cable.
- El embobinado de las espiras debe ser uniforme.
- Verificar que las etiquetas de identificación estén legibles y en buen estado.
- Etiquetar cada carrete para trazabilidad adecuada.

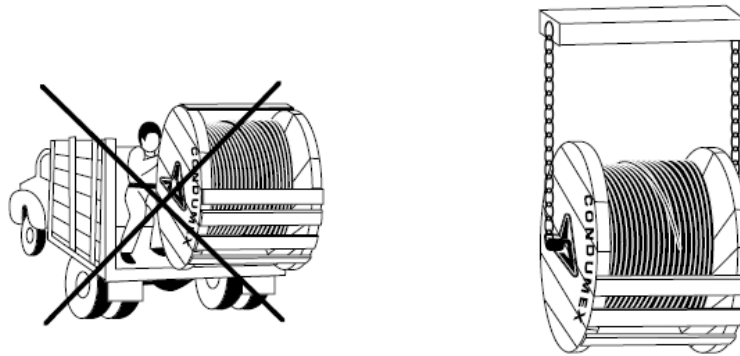


Figura 76.- Descanso del carrete.

2. Descenso cuidadoso del carrete desde el transporte:

- Evitar impactos al bajar el carrete del transporte.
- Utilizar una flecha con cadenas o eslingas para manejarlo, evitando comprimir las bridas del carrete.

3. Traslado del carrete:

- Rodar el carrete siguiendo la dirección indicada en las bridas.
- Evitar rodar sobre superficies irregulares o con obstáculos que puedan dañar el cable.

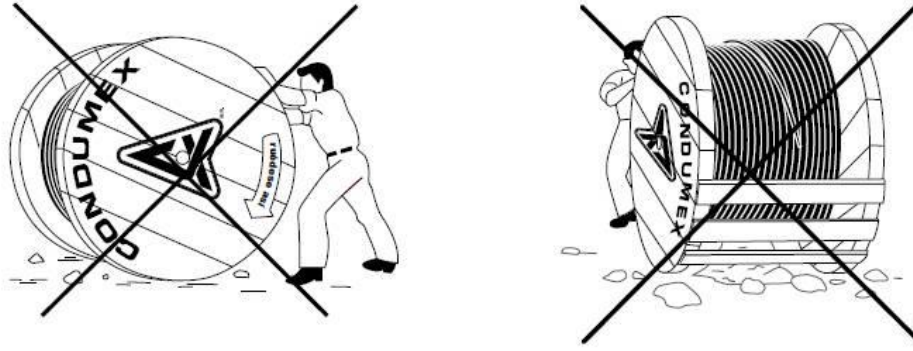


Figura 77.- Traslado del carrete.

4. Remoción de las duelas de madera:

- Las duelas protegen el cable y están sujetas a las bridas del carrete con clavos de seguridad y flejes.
- Para retirar las duelas y acceder al cable, usar guantes de carnaza y una cizalla del 16.
- Quitar las duelas y desclavarlas una por una con una barreta pequeña apoyada en las bridas.
- Cuidado al no dañar las duelas ni doblar los clavos, ya que serán reutilizados para proteger el cable durante el traslado.

Estas medidas aseguran un manejo adecuado de los carretes y cables, minimizando posibles daños y garantizando un proceso de instalación exitoso.

3.6.4 Tendido de cable conductor y cable de guarda

Una vez obtenida la licencia por CFE (permiso para realizar el trabajo), esta fue recibida a las 8:15 am, como siguiente paso se dieron las indicaciones a seguir al personal y el tendido comenzó a las 9 am. Como ya se mencionó anteriormente, días previos se colocan las maquinas (traccionadora y devanadora) en los extremos del tramo a tender, una se dedicara a impulsar el cable mientras que la otra realizara la acción de jalar.

Lo primero que se jala es el pilotillo (cuerda auxiliar) al que va conectado:

1. Preformado
2. Pengolín (destorcedor)
3. Alacrán

Tal como se muestra en la siguiente figura:

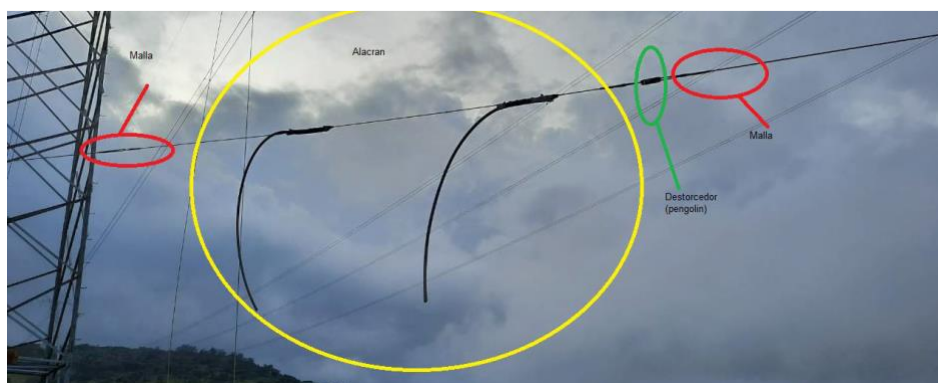


Figura 78.- Colocación de herraje para tendido de cable conductor y OPGW. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

La recuperación del cable guía se ve de la siguiente forma:



Figura 79.- Recuperación de cable guía. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

Durante el tendido las maquinas deben de respetar las velocidades y las fuerzas de tracción especificadas en el tipo de cable conductor y de guarda (OPGW) para así evitar posibles daños durante el tendido. En este caso se encuentran trabajadores arriba de cada torre para poder vigilar el paso del cable por cada polea, esto con la finalidad de obtener un tendido correcto, evitando así posibles daños o rupturas por el paso en las poleas.



Figura 80.- Velocidad de la devanadora.

Cabe mencionar que el tipo de polea que se utiliza debe ser el mismo tipo que el alacrán y ser compatibles con el cable guía, evitando así los daños gráficamente vistos en la figura 74. Cuando se termina el tendido, se procede a realizar el flechado y remate de los cables, esto para que el cable tenga la medida de la catenaria correspondiente proporcionada por el dueño de la línea, en este caso las especificaciones las proporciona CFE.



Figura 81.- Cable guía colocado en la máquina.



Figura 82.- Colocación del conductor en la máquina y vista grafica del carrete.

Por lo tanto el Ingeniero civil se encarga de realizar los ajustes es decir pedir al operador de la maquinaria que traccione o suelte el cable dependiendo de la necesidad y se realizan los remates del cable al inicio y final de la línea con la finalidad de que quede fijo el tramo de cable correspondiente.



Figura 83.- Ingeniero civil midiendo la catenaria.

3.6.5 Colocación del herraje

Esta etapa se centra en el acomodo y preparación de conductores y cable de guarda OPGW en poleas, manteniéndolos en una orientación cercana al diseño (catenaria) durante al menos 24 horas. Este período permite que los hilos internos de los conductores se ajusten y liberen sus tensiones. Estas maniobras se realizan entre dos estructuras de anclaje consecutivas, ya sea en esquinas o para evitar esfuerzos excesivos en tramos rectos largos.

En el proceso de instalación del cable conductor y el OPGW (Optical Ground Wire), se aplican varillas de refuerzo a las estructuras, formando una corona de protección alrededor de los cables. Condumex presenta dos métodos de retiro de poleas:

1. Técnica del balancín:

- Se coloca el balancín en la cruceta de la estructura.
- El cable se levanta y se sostiene en los soportes del balancín, siendo cautelosos si las varillas de refuerzo están presentes.
- Se retira la polea teniendo en cuenta la protección adecuada de los soportes.
- Si no hay varillas en la clema, se apoya el cable directamente en el balancín, con atención a las varillas externas.

2. Técnica de amarres con soga o cincho (sin balancín):

- Se aplican varillas de refuerzo sobre el cable.
- Se amarra el cable en dos puntos cerca de la polea.
- Se levanta el cable para liberar la polea y se asegura la soga.
- Se colocan varillas externas formando una jaula con suficiente espacio entre ellas.
- Se realiza un segundo amarre por fuera de la jaula y se asegura.
- Se finaliza el armado de la clema de acuerdo a las indicaciones del proveedor.

Los amortiguadores de vibración se instalan siguiendo las especificaciones del proyecto o del cliente, con la cantidad y distancia adecuadas. La ingeniería del proyecto o las normativas del dueño de la línea determinarán la cantidad de amortiguadores necesarios, basándose en

factores como el largo del claro y las especificaciones del proveedor de herrajes. La cantidad de amortiguadores puede encontrarse en documentos proporcionados por CFE (Comisión Federal de Electricidad), entidad responsable de la línea.

En la siguiente figura se puede ver un ejemplo del herraje utilizado en torres de suspensión:



Figura 84.- Herraje para torre de suspensión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

Capítulo 4.- Resultados

4.1 Fusión de Fibra Óptica y colocación de gabinete

Después de completar el tendido y fijar el herraje, se sigue el siguiente proceso:

1.- Llegada y preparación:

- El personal llega al punto de trabajo, que coincide con el inicio o fin de cada sección tendida (bajantes).
- Se forman equipos para las fusiones y pruebas OTDR debido a las 2 secciones (inicio y fin)

2.- Preparación de la fibra:

- Se baja la bobina del bajante desde la torre y se desenreda.
- Se mide el tramo necesario y se corta utilizando una segueta, considerando que es el cable de guarda.
- Se retira el aluminio de protección de la fibra usando un cortatubo.
- Cada fibra se limpia para remover el gel protector con alcohol isopropílico.
- Se pelan las fibras y se inspeccionan para asegurar su integridad, colocándolas en la bobina de lanzamiento del OTDR para verificar posibles daños durante el tendido.
- Se repite este proceso para el tramo de la siguiente sección.



Figura 85.- Bajada del cable OPGW para su fusión. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

3.- Fusión de fibras:

- Se fusionan las fibras individualmente, colocando las fusiones en cajas designadas.
- Cada caja se etiqueta con la entrada y salida correspondiente (Tuli- Helios a 1° de Mayo).



Figura 86.- Ejemplo de Fusión de fibra óptica. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.

4.- Pruebas generales:

- Se realiza una prueba general del tramo completo utilizando la bobina de lanzamiento del OTDR.
- La prueba de pulso verifica la continuidad y la calidad de las fusiones en las 48 fibras.

- Si se identifica una ruptura, se localiza su posición y se corrige mediante un nuevo empalme.



Figura 87.- Ejemplo de Prueba OTDR. Obtenido de: García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II

5.- Finalización:

- Confirmada la comunicación exitosa, se cierran las cajas de empalme y se protegen con plástico y cinta para evitar la humedad.
- El cable se rebobina y se fija nuevamente en la torre con sujetadores.

Este proceso garantiza la correcta instalación de las fibras ópticas, incluyendo su preparación, fusión y pruebas exhaustivas para asegurar la calidad y continuidad de la comunicación. Cualquier ruptura es identificada y corregida para lograr un funcionamiento óptimo del sistema.

4.2 Conexión de las torres a tierra

En estas estructuras, las descargas que inciden sobre sus elementos son dirigidas mediante el sistema de pararrayos y la propia configuración de la estructura. Como medida precautoria, las torres cuentan con un sistema de toma de tierra específico. El punto de inicio de este sistema es una placa de cobre (220 x 100 x 10 mm) que se encuentra unida de manera mecánica y eléctrica a la estructura de la torre. Dicha placa se sitúa en la pata más distante de la pared más cercana a la torre.

De esta placa parte un fleje de cobre de dimensiones 30 x 2 mm, el cual se conecta mediante soldadura cuproaluminotérmica a una jabalina compuesta de acero-cobre. Esta jabalina se introduce en el suelo a la base de la torre. Además, las demás patas de la torre se enlazan perimetralmente mediante un fleje de cobre de las mismas dimensiones (30 x 2 mm), soldado a cada una de ellas. Estos enlaces equipotenciales subterráneos se realizan a una profundidad mínima de 0,20 m.

En el contexto de nuevas construcciones, se agrega la conexión eléctrica del hormigón armado a las patas de la torre, reforzando aún más la integridad del sistema de toma de tierra.



Figura 88.- Unión de tierras.

4.3 Pruebas y puesta en servicio

Se debe llevar a cabo una inspección visual inicial de la línea para garantizar la instalación adecuada de puentes eléctricos en las estructuras de anclaje, verificar la cantidad de aislamiento conforme al proyecto y asegurarse de la ausencia de elementos no autorizados como poleas, pértigas de puesta a tierra y tecles. También se evaluarán los abatimientos y transposiciones de la línea, si son parte del diseño.

Posteriormente, se requerirá la colaboración de una empresa especializada en pruebas para realizar evaluaciones más específicas. Las pruebas clave incluyen:

1. Correspondencia de fases: Mediante esta prueba, se confirma que las fases en la subestación de salida coinciden con las fases en la subestación de llegada. Se aplica voltaje generado a 380 V en corriente alterna al inicio de una fase y se verifica su llegada al final de la misma. Este proceso se repite para todas las fases de uno o varios circuitos del proyecto.
2. Prueba de aislación o Hi-Pot: Esta prueba se ejecuta con un equipo especializado. Consiste en aplicar voltaje de forma gradual y continua a cada fase en corriente continua. Por lo general, se inicia con 5kV y se incrementa en múltiplos de 5 cada minuto, hasta alcanzar 2,5 veces la tensión nominal de la línea. Los resultados de la prueba revelarán las pérdidas de corriente en los aisladores de cada estructura de la línea. Estos resultados deben ser comparados con los valores teóricos y permitidos para el proyecto.

En resumen, se inicia con una inspección visual para verificar la instalación y condiciones generales de la línea. Posteriormente, se llevan a cabo pruebas más específicas, como la correspondencia de fases y la prueba de aislación, para asegurar el correcto funcionamiento y la seguridad de la línea eléctrica de acuerdo con los estándares y valores admisibles del proyecto, para finalmente realizar la energización del transformador de la .



Figura 89.- Conexión del transformador (Imagen de referencia).

Capítulo 5.- Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Para desarrollar una línea de transmisión aérea de 400 kV, se emplearon procesos de ingeniería electromecánica, dado que una obra de esta magnitud requiere análisis detallados de la resistencia de materiales, selección de conductores, cálculo de cargas, entre otros aspectos. Además, es fundamental trabajar en equipo para asegurar una comunicación efectiva y lograr un desarrollo armonioso del proyecto.

En este proyecto, llegar a un acuerdo común con las empresas encargadas de los servicios mecánicos y eléctricos resultó crucial para obtener beneficios. Las recomendaciones fueron escuchadas y, con el apoyo de la experiencia y la ingeniería de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se logró completar la construcción de la línea de manera eficiente y sin contratiempos.

Aplicar mis conocimientos de ingeniería electromecánica en esta obra fue un desafío. A menudo, los estudiantes creen que los cálculos teóricos son suficientes en la vida laboral. Sin embargo, es necesario considerar conocimientos empíricos aportados por el personal experimentado en la obra para comprender por qué, en algunos casos, el torque cambia, la catenaria es más profunda o los antivibradores requieren ajustes específicos. Estas consideraciones prácticas son esenciales y no pueden ser comprendidas solo a partir de la teoría.

Por lo tanto, el trabajo en equipo y una comunicación efectiva entre todos los involucrados en un proyecto de esta envergadura son aspectos vitales para su éxito.

5.2 Recomendaciones

1. Comunicación y Cumplimiento

- Establecer una comunicación efectiva con el cliente para cumplir con los requisitos solicitados.
- Capacitar e informar al personal administrativo, supervisores y residentes de obra sobre la metodología de trabajo y objetivos del proyecto.

2. Capacitación y Seguridad

- Los supervisores deben capacitar a los trabajadores para prevenir actos inseguros y daños a la flora y fauna.
- Cumplir con las indicaciones de los supervisores de EHS para garantizar la salud y estabilidad física y mental del personal.

3. Comunicación y Coordinación

- Mantener una comunicación constante entre coordinadores y supervisores para lograr los objetivos y evitar desacuerdos.
- Reportar cualquier inconformidad de inmediato al supervisor encargado o residente de obra.

4. Seguridad y Prevención

- Cumplir con las señalizaciones y asistir a las reuniones de información y calistenia diaria para conocer los riesgos y peligros.
- Utilizar el Equipo de Protección Personal (EPP) y anclarse a las torres en todo momento.

5. Gestión de Calidad y Seguridad

- Aplicar el procedimiento de gestión de calidad, seguridad e higiene.
- Realizar auditorías internas para verificar el plan y modificarlo si es necesario.

6. Análisis de Riesgos y Accidentes

- Realizar un análisis exhaustivo de los riesgos laborales, la higiene y accidentes ocurridos en la obra.

Referencias.

1. Alvarez Egoavil, D. R. (2018). Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica aplicado en el Proyecto de Condorcocha–Tarma–Junín.
2. Amraoui Maiss, M. (2020). Proyecto de la subestación elevadora de una central fotovoltaica (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
3. Arango Noguera, E. (2013). Diseño metodológico y guía de laboratorio para el estudio de los principios básicos en la implementación de sistemas de puesta a tierra (Doctoral dissertation).
4. Atmosféricas, D., & Jiménez, A. B. Determinación de alturas del cable de guarda para minimizar el número de salidas de una línea de alta tensión de 230kV POR.
5. Baque, A., & Antonio, X. (2017). Análisis comparativo de las líneas de transmisión eléctrica de 230 KV-500KV y diagnóstico de las pérdidas eléctricas generadas en las líneas de transmisión eléctrica entre la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y S/E. Chorrillos del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.
6. Barboza, O., & Echauri, V. (2018). Proceso de Implementación de infraestructura de transmisión eléctrica en Paraguay. Revista Científica de la UCSA, 5(1).
7. Bonell Torres, A. C. (2018). Prácticas de manejo implementadas en líneas de alta tensión para contrarrestar los impactos negativos sobre la fauna y flora: análisis del caso colombiano y de algunos países en Latinoamérica.
8. Campos Cobián, E. M., & Obregón Flores, J. A. (2014). Análisis y diseño de aisladores en líneas aéreas de alta tensión.
9. Canal Pando, L. A., Miranda Urco, J. C. M., Sanchez Cabrera, M. M., Sanchez Vicente, R. M., & Vargas Cirilo, H. R. Aplicación del Practice Standard for Project Risk Management en la construcción de líneas de transmisión de alta tensión.

10. Casas Arias, F. N. (2009). Evaluación de las sobretensiones transitorias en líneas de transmisión.
11. Chávez Valdiviezo, F. F., & Paz Solano, A. M. (2021). Metodología del diseño geotécnico de las cimentaciones en líneas de transmisión.
12. Clavaguera López-Puigcerver, J. M. (2018). Diseño e ingeniería de una línea de alta tensión.
13. Coca Erquinio, J. A. (2018). Influencia de Calidad del Concreto, Acero y Compactación en Construcción de Cimientos en Torres de Alta Tensión.
14. Corpora, A., & Julio, R. C. Título: Plan de Gestión del proyecto para la construcción de la línea de transmisión Cariblanco Trapiche. Tutor: Coto Hernández Marvin. Maestría: Administración de proyectos. P. imprenta: San José, Costa Rica. Setiembre 2009. 108p. Notas: Proyecto final de graduación para optar por el título de Master en Administración de Proyectos.
15. Cruz Lathrop, C. I. J. (2018). Operación y planificación resiliente de redes de transmisión eléctrica.
16. Cuellar Ramos, J. E. (2009). Diseño e instalación de estructuras metálicas de acero galvanizado en celosía de la línea de transmisión de 60 KV–Chacapunte.
17. Deras-Campos, J. G., & Angeles-Camacho, C. Integración de fuentes de energía renovable a la red eléctrica de Baja California Sur.
18. Detke, F. R., Duarte, J. A., Pizzutti, H. D., Gruber, A. S., Morales, V. R., Vivanco, C. B.,... & Möller, O. (2013). Optimización de Postes de Hormigón Pretensado para Líneas de Transmisión Eléctrica. *Mecánica Computacional*, 32(24), 2097-2114.
19. Díaz, S. L. B., Luna, C. V. M., Bernal, I. F. M., & Rodríguez, C. A. P. (2020). Inspección de aisladores en líneas de transmisión eléctrica usando inteligencia artificial. *Revista Colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, 2(36), 89-96.
20. Espinoza Ortega, M. R., Espinoza Rivera, J. E., & Hernández Zeledón, S. J. (2018). Manual de aplicación para la construcción de líneas de transmisión eléctrica (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Ingeniería).
21. Galetovic, A., & Inostroza, J. R. (2004). Transmisión eléctrica y la "ley corta": por qué licitar es (mucho) mejor que regular. Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.

22. García-Colon, V. R., Rasgado, J. P., Lara, H., Meléndez, C., & Juarez, N. (2013). First multivendor scheme in CFE to protection of 400 kV transmission line, using optical TC's, digital relays and bus IEC 61850-9-2; Primer esquema multivendedor en CFE para protección de línea de transmisión de 400 kV, utilizando TC's ópticos, relevadores digitales y bus IEC 61850-9-2.
23. García Sedas A. J., (2021). Reinstalación de cable de guarda en línea de transmisión de 400kV de Pachamama II.
24. González, C. M., Castro, S. A. Z., Estrada, R. S., Olalde, M. D., & Vega, M. E. A. D. (2020). Revisión de cimentaciones en torres de transmisión: Métodos innovadores de análisis y diseño. RINDERESU, 4(1-2), 27-35.
25. Gonzales Urquiza, R. J. (2016). Planeamiento y control en construcción de líneas de transmisión eléctrica de alta y muy alta tensión en la actividad de relleno y compactación.
26. Guerrero González, D. (2016). Planeación y expansión óptima de la red de transmisión eléctrica: aplicación a México.
27. Harper, G. E. (2006). Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión/Fundamentals of Electrical Installations of Medium and High Tension. Editorial Limusa.
28. Harper, G. E. (2002). Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. Editorial Limusa.
29. Ibáñez, J. (1925). Puntos de vista generales que debe tener presente el Ingeniero que proyecta una línea de transmisión eléctrica. In Anales del Instituto de Ingenieros de Chile (No. 8, pp. 409).
30. Idarraga Agudelo, J. F. (2017). Estudio del sistema actual de puesta a tierra en las líneas de transmisión.
31. Jaramillo, H. (1987). Conductores y elementos de conexión en subestaciones de energía.
32. Lama de la Iglesia, P. D. L. (2019). Diseño de un parque fotovoltaico de 30MW con conexión a red de distribución (Bachelor's thesis).
33. López, M., Loureiro, A., Gutiérrez, R., & Reinoso, J. M. (2019). E-stub stiffness evaluation by metamodels.

34. Manayalle, A., & Ramos, E. (2014). Aspectos especiales del sistema de transmisión eléctrica. *Advocatus*, (030), 51-63.
35. Mejía Muñoz, F. N. (2018). Apoyo a residente en obra y de ingeniería en la construcción de la línea de transmisión de energía eléctrica en el Municipio de Aguachica Cesar.
36. Montero, J. P., & Valdés, S. (2004). Notas para una regulación eficiente de la transmisión eléctrica. *Cuadernos de economía*, 41(123), 255-283.
37. Montúfar Padilla, J. (1984). Seguridad industrial en la construcción de líneas de transmisión eléctrica y subestaciones de alta tensión (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/1984).
38. Moreno Mohino, J., Garnacho Vecino, F. E. R. N. A. N. D. O., Comín, P. S., & Rodríguez Herrerías, J. O. S. É. (2009). Reglamento de líneas de alta tensión y sus fundamentos técnicos. Editorial Paraninfo.
39. Muela Llanga, B. A., & Robalino Masache, D. C. (2020). Guía para el diseño de torres de transmisión de alto voltaje, utilizando el código ASCE/SEI 10-15 (Bachelor's thesis, Quito, 2020.).
40. Muñoz Huaracha, B. A. Análisis y propuesta de un modelo de gestión para reducir el índice de accidentes en una empresa ejecutora de proyectos de construcción de líneas de transmisión de alto voltaje, Arequipa 2015.
41. Noreña, J. E. O., & Tapias, Á. D. J. L. (2005). Tratamiento estadístico para indicadores cuantitativos de impactos, aplicados a líneas de transmisión eléctrica. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 2945-2961.
42. Pérez-Aracil, J., Pereira, E., Díaz, I. M., & Reynolds, P. (2019). Study of active vibration isolation systems considering isolator–structure interaction.
43. Porto Aliaga, W. (2018). Diseño simulación de una torre de transmisión eléctrica suspensión autosoportada liviana (ASL) de una línea de 500 kv.
44. Puerto Santana, C. E. (2017). Diseño de conexión de granja fotovoltaica a sistema de transmisión (Bachelor's thesis, Uniandes).
45. Quezada, J. (2005). Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. Valdivia, Chile.

46. Ramírez, C. M. (2007). Propuesta de esquema de protección para fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional).
47. Rangel Mendoza, A. (2013). Uso de las cimentaciones de las estructuras de las líneas de transmisión como sistema de puesta a tierra (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
48. Rodríguez, A. P., & Gil, D. C. (2016). Impactos de tendidos eléctricos de alta tensión: análisis, evaluación y restauración. *Revista Digital del Cedex*, (182), 79-79.
49. Rojas Molinares, L. F. Comportamiento del sistema de transmisión eléctrica de líneas aéreas de alta tensión conformado por torres metálicas en celosía ante solicitaciones sísmicas y de viento (Master's thesis, Uniandes).
50. Romero Herrera, J. P. (2010). Guía práctica para el diseño y proyecto de líneas de transmisión de alta tensión en Chile.
51. Rosas, A. N. H., & Padilla, F. M. (2005). Diseño de torres de Transmisión Eléctrica. Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Politécnico Nacional, México DF.
52. Semblantes Vélez, M. L. (2010). Diseño de una torre de transmisión eléctrica auto soportada para una línea de 69 Kv (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
53. TRIPAILAF, R. A. V. (2013). Optimización ambiental del diseño de líneas de transmisión eléctrica (Doctoral dissertation, Universidad de Santiago de Chile).
54. Toledo Torres, E. R. (2005). Diseño y construcción de banco de pruebas para torres de transmisión eléctrica (Bachelor's thesis).
55. Valdiviezo Sarmiento, H. (2010). Aplicación del planeamiento y control de costos por procesos en la obra línea de transmisión 60KV Chacapunte–Explorador.
56. Vargas, M., Torres, H., Montaña, J., Herrera, J., Cajamarca, G., & Pérez, E. (2003, January). Influencia del sistema de puesta a tierra en la tasa de fallas de líneas de transmisión a causa de rayos. In *Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica-SICEL* (Vol. 2).
57. Velasco, L. M. (2014). Estudio y modelado energético de proyectos de construcción de líneas eléctricas de alta tensión (Doctoral dissertation, Universidad de La Rioja).
58. Vélez, M. L. S. Facultad de Ingeniería Mecánica.

59. Villalobos Albornoz, O. A., & Mena Frau, C. (2013). Propuesta de generación de un índice de accesibilidad en la construcción de líneas de transmisión eléctrica (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Forestal).
60. Walle, M. A. D., Tristán, V. V., Morales, A. P., Maldonado, S. N., Carreón, J. T., & Herrera, J. R. H. (2016). Evaluación multicriterio y least-cost path: Alternativas en la toma de decisiones para proyectos de líneas de transmisión eléctrica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (18), 191-209.

Anexos.



Anexo 1.- Daños a una torre



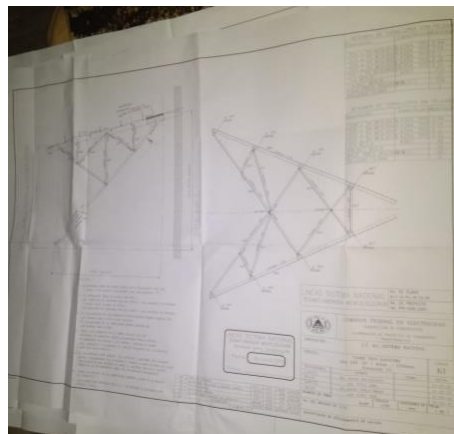
Anexo 2.- Daños a una torre



Anexo 3.- Patas de la torre.



Anexo 4.- Baño móvil con un boton panel al fondo.



Anexo 5.- Plano de cuernos de la torre.



Anexo 6.- Traccionadora TEMA X4054-14_2.

POSICIÓN DE TRANSPORTE

El órgano puede adoptar dos posiciones; de transporte y de trabajo.

Para llevar la máquina desde la posición de trabajo a la de transporte, para efectuar pequeños desplazamientos en obras mediante vehículo de remolque, actuar como sigue:

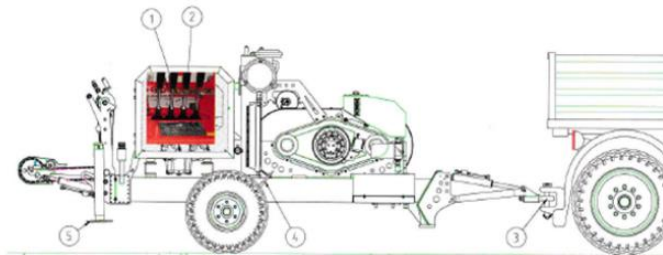
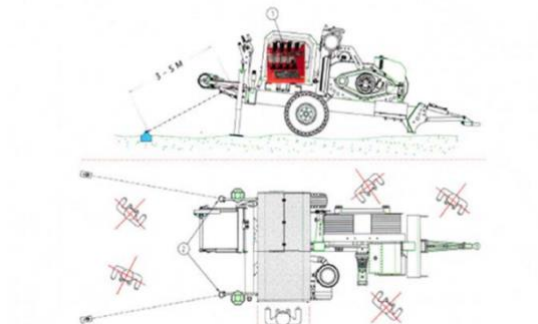


Figura 90.- Diagrama de traccionadora.

COLOCACIÓN DE LA MÁQUINA

Después de haber colocado la máquina lo más alineada posible con la dirección de tiro es necesario:

- Bajar el estabilizador en posición de labor mediante la palanca
- Fijar la máquina al terreno con cuerdas y tensores adecuados, que dan una longitud total de 3-5 m, uniéndolos a los cierres de los anclajes.



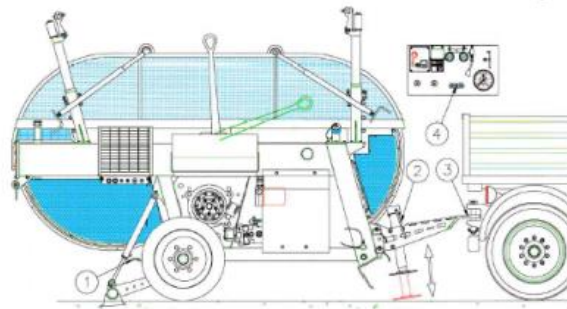
Anexo 7.- Colocación de la máquina.



Anexo 8.- Devanadora X3904-14.

POSICIÓN DE TRANSPORTE / MOVILIZACIÓN EN LA OBRA

Para llevar la máquina a la posición de transporte para realizar pequeños traslados en la obra, intervenir como se indica a continuación:

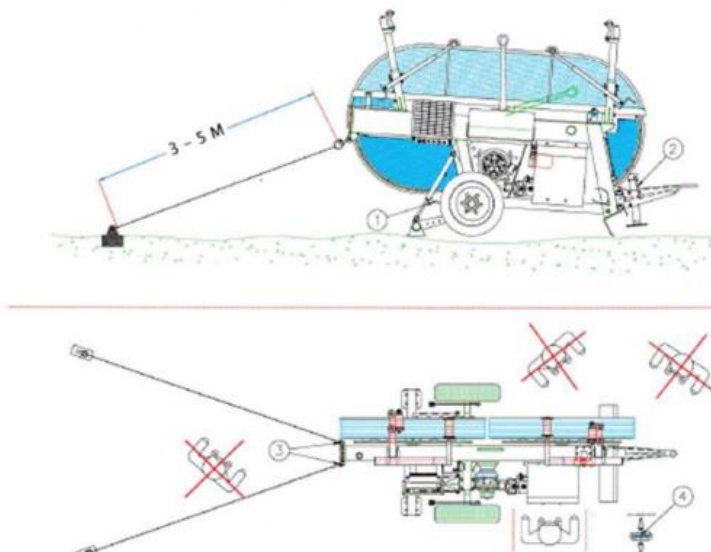


Anexo 9.- Posición de transporte.

EMPLAZAMIENTO DE LA MÁQUINA

Después de haber colocado la máquina, en lo posible alineada con la dirección de arrastre, es necesario:

- Desbloquear los frenos de estacionamiento
- Bajar el estabilizador en posición de labor mediante la palanca y llevar lo cric a manivela
- Fijar la máquina al terreno con cuerdas y tensores adecuados, que dan una longitud total de 3 m, uniendo los amarres a los cierres de los anclajes.



Anexo 10.- Emplazamiento de la máquina.